



8^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας • Τόμος 2



8^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ

της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας
8TH PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE
of the Greek Geographical Society



Διοργάνωση - Host
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος
Faculty of Geology and Geoenvironment

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
National and Kapodistrian University of Athens

Οκτωβρίου

Αθήνα, 2007



Τόμος 2

Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
Τηλεπισκόπηση
Χαρτογραφία

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΕΚΠΑ, ΖΩΓΡΑΦΟΥ, 157 84, ΑΘΗΝΑ



designed by Zeta Konstantopoulou





**ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

NATIONAL & KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF GEOLOGY & GEOENVIRONMENT



**8^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας**

8TH PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE
of the Greek Geographical Society

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ / ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ

Πρόεδρος: Αθηνά Παπαπέτρου-Ζαμάνη, Ομ. Καθηγήτρια, Παν/μιο Αθηνών

Β' Αντιπρόεδρος: Νικόλαος Συμεωνίδης, Ομ. Καθηγητής, Παν/μιο Αθηνών

Γ' Αντιπρόεδρος: Σπυρίδων Φασούλας, Δικηγόρος

Γεν. Γραμματέας: Γεώργιος Λειβαδίτης, Καθηγητής, Παν/μιο Αθηνών

Ειδ. Γραμματέας: Ευθύμιος Καρύμπαλης, Επ. Καθηγητής, Χαροκόπειο Παν/μιο

Ταμίας: Κοσμάς Παυλόπουλος, Επ. Καθηγητής, Χαροκόπειο Παν/μιο

Μέλος Δ.Σ.: Αλίκη Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Καθηγήτρια, Ε.Μ.Π.

Μέλος Δ.Σ.: Κωνσταντίνος Κουτσόπουλος, Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

Μέλος Δ.Σ.: Χαμπίκ Μαρουκιάν, Αν. Καθηγητής, Παν/μιο Αθηνών

Μέλος Δ.Σ.: Καλλιόπη Γάκη-Παπαναστασίου, Αν. Καθηγήτρια, Παν/μιο Αθηνών

Μέλος Δ.Σ.: Ευθυμία Βερυκίου-Παπασπυριδάκου, Επικ. Καθηγήτρια, Παν/μιο Αθηνών

Μέλος Δ.Σ.: Γεώργιος Δουζίνας, Υποστράτηγος ε.α., τ. Καθηγητής Σ.Σ.Ε.

Μέλος Δ.Σ.: Δημήτριος Παπαγιαννάκης, Γεωλόγος, Παν/μιο Αθηνών

Μέλος Δ.Σ.: Χαρίκλεια Σκυλοδήμου, Δρ. Γεωλόγος, Παν/μιο Αθηνών

ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ / ORGANISING COMMITTEE

Πρόεδρος: Λειβαδίτης Γ., Καθηγητής, ΕΚΠΑ

President: Livaditis G., Professor, UoA

Αντιπρόεδρος: Μαρουκιάν Χ., Αναπλ. Καθηγητής, ΕΚΠΑ

Vice-president: Maroukian H., Associate Professor, UoA

Γενικός Γραμματέας: Παυλόπουλος Κ., Επ. Καθηγητής, ΧΠΑ

General Secretary: Pavlopoulos K., Assistant Professor, HUA

Ταμίας: Καρύμπαλης Ευθ., Επ. Καθηγητής, ΧΠΑ

Treasurer: Karymbalis E., Lecturer, HUA

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

ΕΙΔΙΚΟΙ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΣ / SPECIAL SECRETERIAT

Κουτσόπουλος Κ., Καθηγητής, ΕΜΠ

Koutsopoulos K., Professor, NTUA

Λειβαδίτη - Αλεξούλη Α., Καθηγήτρια, ΕΜΠ

Livaditi - Alexouli A., Professor, NTUA

Χατζημιχάλης Κ., Καθηγητής, ΧΠΑ

Hadjimichalis K., Professor, HUA

Πούλος Σ., Επ. Καθηγητής, ΕΚΠΑ

Poulos S., Assistant Professor, UoA

Σκιάνης Γ., Λέκτορας, ΕΚΠΑ

Skianis G., Lecturer, UoA

Ευελπίδου Ν., Λέκτορας, ΕΚΠΑ

Evelpidou N., Lecturer, UoA

ΜΕΛΗ / MEMBERS

Βαϊόπουλος Δ., Καθηγητής, ΕΚΠΑ

Vaiopoulos D., Professor, UoA

Γάκη – Παπαναστασίου Κ., Αναπλ. Καθηγήτρια, ΕΚΠΑ

Gaki – Papanastasiou K., Assistant Professor, UoA

Βερικίου – Παπασπυριδάκου Ευθ., Επ. Καθηγήτρια, ΕΚΠΑ

Verikiou – Papaspiridakou Efth., Assistant Professor, UoA

Μπαθρέλλος Γ., Διδάκτωρ, ΕΚΠΑ-ΓΕΩΤΕΕ

Bathrelos G., Doctor, UoA - Geot.C.G6

ΚΡΙΤΕΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Αργιολάς, Καθηγητής, Σχολή Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ

Αστάρας, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ

Βαϊόπουλος, Αν. Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ

Γαλανού, Σχολή Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ

Καραθανάση, Λέκτορας, Σχολή Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ

Καράντζαλος, Ερευνητής, Σχολή Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ

Καρτέρης, Καθηγητής, Τμήμα Δασολογίας και Φυτικού περιβάλλοντος, ΑΠΘ

Κοντόες, Ερευνητής, Ινστ. Διαστημικών Εφαρμογών & Τηλεπισκόπησης, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Μηλιαρέσης, Λέκτορας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών

Μιχάλης Παντελής, Σχολή Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ

Νικολακόπουλος, Λέκτορας, ΕΜΠ

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

Νούτσου, Ερευνήτρια, Σχολή Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ

Παραδείσης, Καθηγητής, Σχολή Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ

Παυλίδης, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ

Σκιάνης, Λέκτορας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ

Στεφούλη, Διδάκτωρ, Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών

Τζώτσος, Υπ. Διδάκτορας, Σχολή Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ

Χάρου, Ερευνήτρια, Ινστιτούτο Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος

Χρυσουλάκης, Καθηγητής, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, 4-7 Οκτωβρίου 2007, Αθήνα
Faculty of Geology & Geoenvironment, 4-7 October 2007, Athens

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Ερόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



**8^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας**

8TH PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE
of the Greek Geographical Society

Γ.Σ.Π.
Τηλεπισκόπηση
Χαρτογραφία

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΝΗΣΟΥ ΖΑΚΥΝΘΟΥ

Βασιλοπούλου Σ.¹, Χουσιανίτης Κ.¹, Σαραντίδης Α.¹, Οικονόμου Α.¹, Σακκάς Β.¹,
Damiata B.-N.², Λάγιος Ε.¹

¹Εθνικόν και Καποδιστριακόν Πανεπιστήμιον Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,
Τομέας Γεωφυσικής-Γεωθερμίας,

vassilopoulou@geol.uoa.gr, chousia@geol.uoa.gr, vsakkas@geol.uoa.gr, lagios@geol.uoa.gr

²Cotsen Institute of Archaeology, University of California, Los Angeles,
CA USA and EarthTech, Inc., Colton, CA USA, damiata@ucla.edu

Περίληψη

Πλήθος ετερογενών δεδομένων σχετικών με τοπογραφία, γεωλογία, τεκτονική, εδαφική παραμόρφωση, σεισμολογία και δορυφορικές εικόνες από την Νήσο Ζάκυνθο συνδυάστηκαν. Μια βάση δεδομένων σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών αναπτύχθηκε, θεματικά και συνθετικά επίπεδα καθώς και χάρτες παρήχθησαν, σε ένα κοινό χαρτογραφικό σύστημα (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς '87 / ΕΓΣΑ'87). Ένα Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (ΨΜΑ), ακριβείας 30m, δημιουργήθηκε από δορυφορικές εικόνες ASTER, το οποίο απετέλεσε βάση για την παραγωγή θεματικών και συνθετικών επιπέδων αναλύσεως αναγλύφου (μορφολογικές κλίσεις και προσανατολισμό κλίσεων, επιφάνειες επιπέδωσης, μορφολογικές ασυνέχειες κ.ά.). Χάρτες οριζόντιας και κατακόρυφης εδαφικής παραμόρφωσης δημιουργήθηκαν από διαφορικές μετρήσεις GPS. Η βάση δεδομένων είναι δυνατόν να ενημερώνεται με νέα πληροφορία, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες, με σκοπό την ευκολότερη διεξαγωγή συμπερασμάτων.

DEVELOPMENT OF A GIS SYSTEM TO ANALYZE GROUND AND SATELLITE DATA OF ZAKYNTHOS ISLAND

Vassilopoulou S.¹, Chousianitis K.¹, Sarantidis A.¹, Oikonomou A.¹, Sakkas V.¹,
Brian Neal Damiata², Lagios E.¹

¹ National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,
Department of Geophysics-Geothermics,

vassilopoulou@geol.uoa.gr, chousia@geol.uoa.gr, vsakkas@geol.uoa.gr, lagios@geol.uoa.gr

² Cotsen Institute of Archaeology, University of California, Los Angeles, CA USA and EarthTech,
Inc., Colton, CA USA, damiata@ucla.edu

Abstract

A large amount of heterogeneous data relating to topography, geology, tectonic, ground deformation, seismology, satellite images of Zakynthos Island were compiled. A GIS Data Base was organised, and thematic and synthetic layers and maps were produced in a common projection system (Hellenic Geodetic Reference System'87 / HGRS'87). A 30m resolution Digital Elevation Model (DEM) was created based on ASTER images, as well as thematic and synthetic layers and maps of terrain analysis (slope and aspect maps, planation surfaces, morphological discontinuities etc.) were extracted from the DEM. Vertical and horizontal ground deformation maps were created using differential GPS measurements. The Data Base can be updated with new data and used for easy conclusion-extraction, depending on the current needs.

Λέξεις κλειδιά: Βάση δεδομένων ΣΓΠ, ΨΜΑ, DGPS, ASTER δεδομένα, Ανάλυση Αναγλύφου.

Key words: GIS Data Base, DEM, DGPS, ASTER data, Terrain Analysis.

1. Introduction

The broader region of Zakynthos Island comprises a seismotectonically complex area which plays an important role in the tectonic processes of Western Greece. This area is one of the most seismically active regions not only in Greece, but also in the whole Mediterranean area. This high seismicity level which characterizes the broader area occurs due to its position, as it situated between a subduction zone to the south and a collision zone to the north (Le Pichon et al., 1995; Papazachos and Kiratzi, 1996). The Eastern Mediterranean lithosphere, which is the front part of the African lithosphere, is subducted beneath the Aegean lithosphere, which is the front part of the Eurasian lithosphere, along the Hellenic Arc – Trench system. This subduction zone terminates against a major strike slip fault, the Cephallonia transform fault, which links this subduction boundary to the continental collision between the Apulia microplate and the Hellenic foreland (Sachpazi et al., 2000). Seismological data for this fault indicate right-lateral strike-slip focal mechanisms (Jackson and McKenzie, 1988) in agreement with geodetic data that clearly shows that the slip motion has a NNE–SSW direction (Jenny et al., 2004).

Considering all the above mentioned phenomena it is concluded that the broader area of Zakynthos is a geologically and seismotectonically very complex region, which may be considered as a key area for a better understanding of the processes related with the collision of the African and Eurasian plates. The regional crustal deformation along the entire Ionian Sea and Western Greece has been studied through repeat Differential Global Positioning System (DGPS) measurements (Kahle et al., 1995; Peter et al., 1998; Cocard et al., 1999).

However, additional monitoring of dense GPS networks in such an active area may yield useful information regarding local ground deformation and kinematics. For that reason, a local GPS network was installed in the island of Zakynthos in August 2005 by the University of Athens (Lagios et al., 2007). This network has been remeasured at the end of July 2006, almost one year after its establishment and the results of the processing of the GPS data can be used by a Geographical Information System to produce ground deformation maps. These data will be compiled with other data and various synthetic maps relating to ground displacements, geology, tectonic, terrain analysis etc, will be produced aiming to easy conclusion extraction.

2. GIS Data Base Development

A large amount of data (topographic, geodetic, geological, tectonic, seismological and satellite images) in various formats (vector, raster, ascii etc.), map projections (Greek HATT, UTM) and Datums (European 1950 and WGS'84) with different ellipsoids (Bessel and WGS'84), were incorporated. A GIS Data Base was organized aiming to the production of thematic and synthetic layers and maps, in a common projection system (Hellenic Geodetic Reference System 1987 / HGRS'87) using ArcGIS software (ESRI, 2005). Input and output data with their descriptive information are given in the tables 1-4.

Table 1. Data Base Schema

Data Base		
Input Data	Output Thematic & Synthetic Layers (Coverages & Grids)	Output Maps
Topography / Morphology (coastline, contour lines, elevation points, drainage network, 1:50000 scale maps of Hellenic Military Geographical Service - HMGS, 1976)	coast (arcs) contours (arcs) elevpnt (points)	DEM
	dem30 (DEM produced from ASTER images) slope (morphological slopes % - polygons) aspect, aspnt (aspect of morphological slopes - polygons and point respectively) discontinuity (discontinuities of morphological slopes - arcs) surfplanation (surface planation - polygons)	Shaded relief Map of terrain analysis
Geology (geological formations from 1:50000 scale Geological Map of Greece (Zakynthos sheet)), Institute of Geology and Mineral Exploration - I.G.M.E, 1985)	formations (polygons)	Geological Map
Tectonic (faults from the 1:100.000 Neotectonic Map of Greece-Zakynthos, Univ. of Athens, 1995)	faults (arcs)	Tectonic Map
GPS measurements (Aug2005-July2006): <ul style="list-style-type: none"> • GPS stations • Horizontal Displacement from GPS receivers illustrated as an arrow • Vertical Displacement from GPS receivers (grid) • Error of Horizontal Displacement illustrated as a circle 	gpsp05a, gps06jscale (points) gps05a06j (arcs) v05a06j (grids)	Map of Horizontal & Vertical Deformation
Seismology (earthquake epicenters 1990-2007)	epicenter (points)	Seismological Map

Table 2. Descriptive Information of Thematic and Synthetic Layers related to Tectonic, Geology, Topography and Seismology.

Tectonic/Geology/ Topography/Seismology	Items	Description
tectonic	code	Unique number for each data
	name	The name of each fault or faulting zone
	zone	The name of each faulting zone in abbreviation
	activity	Characterization of each fault as active or possible active
	order	Classification of each fault as main or secondary
	visible	Characterization of each fault as visible or possible.
geology	formation	Classification of geological formation
	code	Unique number of each data
	zone	The name of each isopic zone
	age	The age of the formation
contours	elevation	elevation
elevpnt	elevation	elevation
epicenter	Year	the year of the earthquake
	Date	the date of the earthquake
	hr_min_sec	the time of the earthquake
	long_e, lat_n	the coordinates of the earthquake
	H	the depth of the earthquake
	M	the magnitude of the earthquake
	Codem	the epicenters are categorized related to M
Codemh	the epicenters are categorized related to M and H	

Table 3. Descriptive Information of GPS Layers

Specific Items of GPS Layers	Description
"easting_a", "northing_a", "easting_b", "northing_b"	Coordinates of GPS stations for each period (a: begin of vector/first measurement, b: end of vector/last measurement)
"ellip_h_a", "ellip_h_b"	Z coordinate of GPS station
"stdeast_a", "sd_east_b"	Standard deviation along easting coordinate
"sd_north_a", "sd_north_b"	Standard deviation along northing coordinate
"sd_h_a", "sd_h_b"	Standard deviation along height

Table 3.

Specific Items of GPS Layers	Description
"azimuth"	Horizontal displacement direction
"elldif_mm", "hightdif"	Horizontal and vertical deformation in mm
"stdevdifn" "stdevdife"	Standard deviation of horizontal displacement along X and Y axis
"stdevh_mm"	Standard deviation of horizontal displacement along Z axis
"xscale", "yscale"	"phseudo-coordinates" of the end of horizontal displacement arrow (they produced after real coordinates scaling for its representation on the map)
"stdevdifscale"	"phseudo-error" of horizontal displacement along X axis for its representation on the map (the error after scaling)
"value"	vertical displacement

Table 4. Descriptive Information of Morphological Layers

Morphological Layers	Specific Items	Description
dem30	value	elevation
slope	percent_slope	Classification of morphological slopes in categories
	slope-code	Unique number for each category of morphological slope
	code2	Unique number for specific categories of morphological slopes
aspect	aspect	Categories of angles for the calculation of the aspect of slopes
	aspect-code	Unique number for each category of aspect
discontinuity	lcode, rcode	Codes related to the right and left polygons that discontinuity is boundary
	lmedh, rmedh	The height of the right and left polygons
	newID	New ID of each discontinuity
	code	Unique number for each discontinuity
range	code	Unique number for each category of elevation zones
plansurf	percent_slope	Categories of slopes %
	slope-code	Unique number for each category of slope

3. Maps Creation

3.1. DGPS Measurements and Ground Deformation Maps

The Zakynthos network consists of 14 stations that were installed in August 2005 (Lagios et al., 2007). These stations are located on the main tectonic blocks and fault zones that could be recognized in the island and they are distributed accordingly for the study of the

tectonic deformation. Generally, the stations are located at about the centre of the main tectonic blocks and are separated by 10 km or less. This spacing is sufficient for detailed monitoring of local and regional tectonic movements. The Zakynthos network was remeasured in July 2006 after the seismic activity that occurred offshore to the south of the island in April 2006.

Ground deformation map (Fig. 1) was created after combination of vertical and horizontal deformation layers (Table 1). Data Base organization with descriptive information in specific items is capable of helping the representation of the data (Table 3).

Horizontal deformation (in vector format), from GPS receivers, illustrated as arrows which indicate the direction of the displacement. The error of horizontal displacement illustrated as circle at the end of each arrow.

Vertical displacement (in grid format, applied IDW algorithm of ArcGIS) from GPS receivers, illustrated as a colour scale from blue (small deformation) to red (high deformation). At figure1, the ground deformation of Zakynthos during 2005-2006 can be observed. The ground deformation is overlaid on the shaded relief of the island for more realistic representation. The layer of faulting zones as well as other geological data can be combined with GPS data to produce synthetic maps and make the results extraction easier.

It is evident that a horizontal extension of the southern part of the island had occurred in the area around Laganas Bay (Fig. 1), which seems to be "opening": Its western part showed generally a westerly motion ranging from 15-20 mm, while its eastern part had magnitude of 26 mm towards the NNE. The central part of the island appears stable. The northern part, however, presents an inconsistent pattern with two stations (No 60 and 62) having directions to the SW, while the most northerly ones, No 61 and 63, have orientations to the NW and N with magnitudes of 24 mm and 5 mm, respectively.

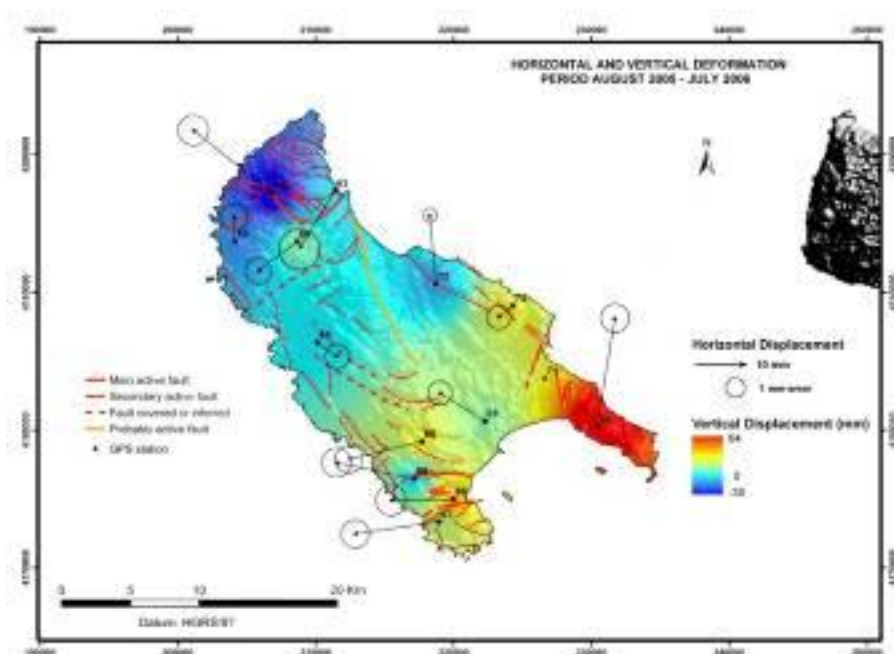


Figure 1. Horizontal and vertical deformation of Zakynthos Island (August 2005 to July 2006).

The vertical deformation is expressed with uplift mostly in the southern part bounding the area of Laganas Bay (Fig. 1), with values of 40 mm and 60 mm in the western and eastern parts, respectively. More than 60 mm occurred at station No 70. The extreme northern part (No 61 and 63) had subsided by 12-30 mm, while the section to its SE (No 60 and 62) was unchanged.

3.2. Geological and Tectonic Map

Geological and tectonic data were included in the GIS Data Base (Table 1&2). Geological and tectonic layers as well as maps were produced (Fig. 2). These layers were also used for synthetic maps and Data Base analysis.

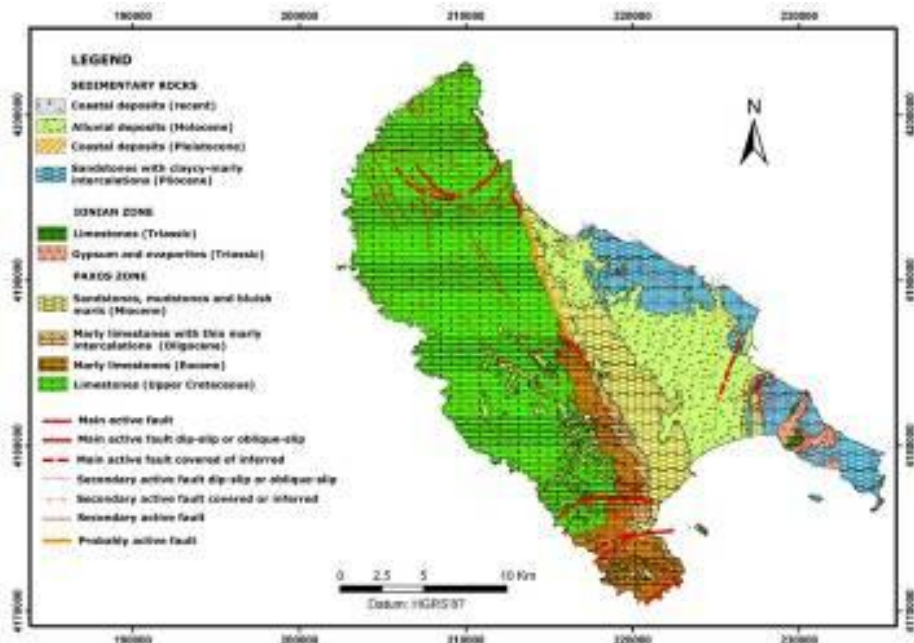


Figure 2. Geological map of Zakynthos Island. Alpine formation of Ionian zone (limestones, gypsum and evaporites of Triassic), Paxos Zone (sandstones, mudstones and bluish marls of Miocene, limestones of Upper Cretaceous to Miocene) covered the island.

3.3. Generation of Digital Elevation Model

ASTER is a high-resolution, multispectral/hyperspectral instrument onboard the TERRA spacecraft (<http://asterweb.jpl.nasa.gov>). It takes data in 14 spectral bands in a variety of ground resolutions. (visible and near infrared (VNIR) at 15m, shortwave infrared (SWIR) at 30m and thermal infrared (TIR) at 90m.). For our purposes in DEM extraction the band 3 of the VNIR subsystem of an ASTER image (17/07/2001) will be used (Fig. 3). The band 3 includes two channels: a nadir (straight down) looking scene (3N) and a backward (aft-viewing along orbit, 27.60 off-nadir) looking scene (3B). These scenes consist of a stereo pair of images which a DEM can be extracted using specific software.

3.3.1. Data Processing

Georeference of Topographical Maps: At first, two topographical maps of Zakynthos Island (Zakynthos & Volimai sheet, Topographical Map of Greece scale 1:50000 HMGS,

1976) were scanned and saved in tag image format (tif). The scanned maps were geo-referenced in the "Hellenic Geodetic Reference System'87" using ArcGIS software (ESRI, 2005). These maps will be used for GCPs selection.

Collection of TPs and GCPs: The DEM was produced using Geomatica OrthoEngine of PCI software. Tie points (TPs) are used to register the two images together (Fig. 3). A minimum of 9 points, evenly spaced around the image are required. Ground control points (GCPs) are used to bind the two images to a coordinate system and provide elevation data. The GCPs were collected using the geo-referenced topographical maps. Usually 6-8 GCPs are required for each image. After the GCPs and TPs collection, the two images are correlated together and the DEM can be extracted. A number of 14 TPs was collected with RMS error from 0.034 to 0.38 pixels. A number of 12 GCPs was also collected. Three of them were assigned as CPs (check points) and they were not used during processing. The RMS error was 0.76 and 0.83 pixels for 3N and 3B image respectively. For a 30m resolution DEM the maximum acceptable RMS error is 2 pixels, thus the above RMS errors are considered satisfactory.

Epipolar Creation and DEM Extraction: After the collection of the TPs and GCPs the epipolar images (stereo pair) were created. These images were used for the DEM extraction during processing.

Dem Editing and Geo-coding: Generally the extracted Dem is acceptable, but requires further editing to correct holes of failed values (usually because of clouds and their shadows), that were created after automatic DEM extraction. Areas with failed values and the shoreline were corrected appropriately. Finally a DEM of 30m resolution was produced (Fig. 4) This DEM was evaluated using topographical maps and GPS measurements.

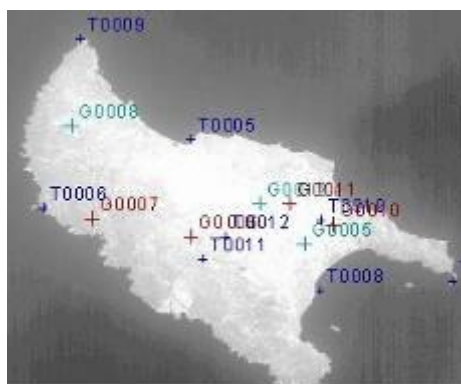


Figure 3. The 3B band of ASTER image of Zakynthos Island that was used for DEM extraction together with 3N band. The GCPs, TPs and CPs are overlaid to the image.

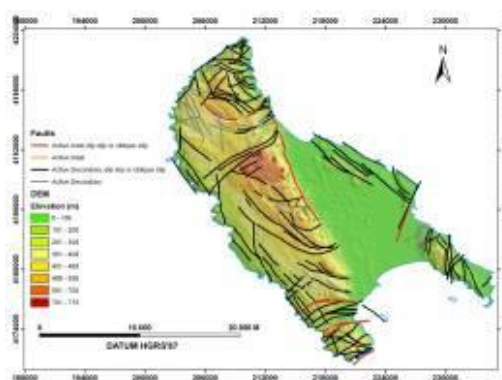


Figure 4. Shaded relief of Zakynthos Island (azimuth 45^ο, altitude 45^ο) based on 30m resolution DEM extracted from ASTER images. Faults are overlaid to the shaded relief.

3.4. Terrain Analysis Maps

Terrain analysis of a region is the base feature for each geo-environmental study (management of geo-environmental problems-natural hazards, large public constructions, waste-disposal areas, land use, studies regarding geodynamics, hydrogeology, geophysics etc.). At the present study, the specific software "PROANA" (Vassilopoulou, 1999; Vassilopoulou, 2001) was used and the following maps were created based on the above DEM.

Shaded Relief: These models are useful for our work. Draping thematic maps (geological, tectonic, ground deformation etc.) over the DEM, were produced more realistic images (Fig. 1, 4). These images were important for field work (DGPS measurements identification), as well as in the laboratory relating to other data.

Map of Morphological Slopes: It represents the slopes of the terrain classified in regions, together with the aspect of the slopes (Fig. 5). This map was compiled of slope and aspect layers after further processing. The slopes at the region of Zakynthos Island were classified in categories: 0-5%, 5-15%, 15-30%, 30-45%, 45-60%, slopes >60%. The angles of aspect were categorized by 450 and were transformed in to ArcGIS format.

Range Map: The study area was divided in categories of 30 meters elevation zones. These zones were contained in the range-polygon layer. The range-layer is useful for morphological discontinuities creation.

Map of Planation Surfaces: The planation surfaces are regions of the terrain where their slope take values from 0-15%. At the present study, the planation surfaces are classified in: 0-1%, 1-5%, 5-10%, 10-15%. Various parameters must be calculated and analyzed. The final layer of the planation surfaces is a compilation of the thematic layers of range, geology, and aspect. The planation surfaces are classified as depositional and erosional function of their slope direction and categorized with respect to their slope.

Map of Morphological Discontinuities of Slopes: It represents the differences in slope more than 10%. The morphological discontinuities are boundaries of polygons with specific characteristics in the layer of the slopes. This layer is a compilation of thematic layers of aspect, slope and range. Further processing conduct to the final thematic layer of the morphological discontinuities.

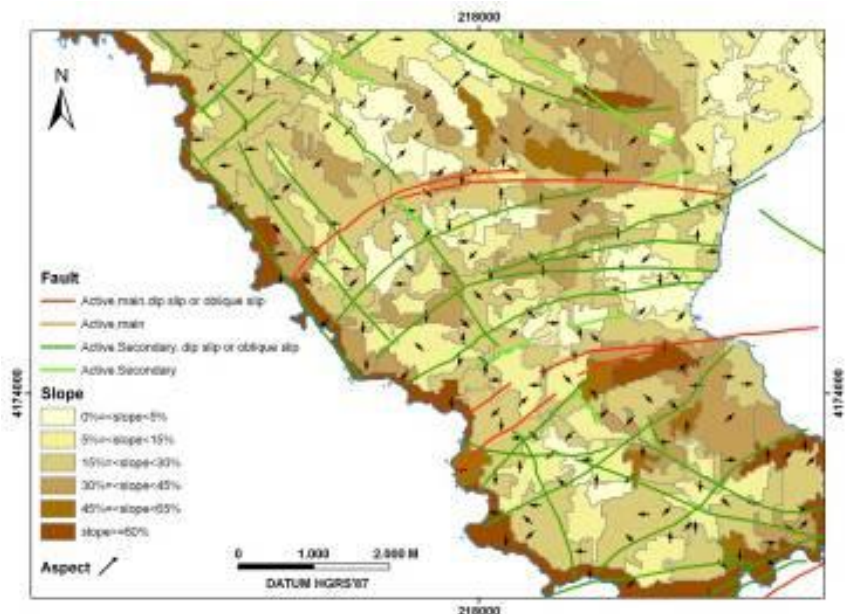


Figure 5. Morphological slopes of the NW part of Zakynthos Island. The slopes are represented in a color scale from light yellow (small slopes) to dark brown (high slopes). The aspect of slopes is illustrated as arrows. The layer of faults is overlaid to the morphological slopes.

4. Conclusion

A large amount of different type of data was processed, a GIS Data Base was organised and the following aspects were accomplished:

A 30m resolution Digital Elevation Model from ASTER images was created.

Various thematic and synthetic layers and maps related to the geology, tectonics, topography (DEM), geomorphology (slope and aspect maps, maps of morphological discontinuities, planation surfaces etc.), seismology and ground deformation using differential GPS measurements were produced in a common projection system.

The Data Base management and analysis solved particular problems related to the study.

The GIS Data Base can be constantly updated, and a decision making system can be created in the future for regional planning, management of geo-environmental problems and natural hazards, large public constructions, waste-disposal areas, land use, studies regarding geodynamics, geophysics etc.

Acknowledgements

This study was financed by (i) The European Union (75%), (ii) The General Secretariat for Research & Technology of The Ministry of Development of The Hellenic Republic (25%), and (iii) The private sector Terramentor EOOS, within the framework of action 8.3 of the EU "Competitiveness"- 3rd Community Support Program.

References

- Cocard, M., Kahle, H.-G., Peter Y., Geiger, A., Veis, G., Felekis, S., Paradissis, D., Billiris, H., 1999. New constraints on the rapid crustal motion of the Aegean region: recent results inferred from GPS measurements (1993-1998) across the West Hellenic Arc, Greece. *Earth and Planetary Science Letters* 172, 39-47.
- ESRI, 2005. ArcDoc for ArcGIS, version 9 Help on CDROM.
- IGME, 1985. Geological Map of Greece (Zakynthos sheet), scale 1:50000.
- HMGS, 1976. Topographical Map of Greece (Zakynthos & Volimai sheet), scale 1:50000
- Jackson, J. and McKenzie, D., 1988. The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. *Geophysical Journal - Royal Astronomical Society*, 93, 45-73.
- Jenny, S., Goes, S., Giardini, D. & Kahle, H.-G., 2004. Earthquake recurrence parameters from seismic and geodetic strain rates in the eastern Mediterranean. *Geophys. J. Int.*, 157, 1331-1347.
- Kahle, H.-G., Muller, M.-V., Geiger, A., Danuser, G., Mueller, S., Veis, G., Billiris, H., Partadissis, D., 1995. The strain field in Northwestern Greece and the Ionian Islands: results inferred from GPS measurements. *Tectonophysics*, 249, 41-52.
- Lagios E., Sakkas V., Papadimitriou P., Damiata B.N., Parcharidis I., Chousianitis K. and Vassilopoulou S., 2006. Crustal deformation in the Central Ionian Islands (Greece): Results from DGPS and DInSar analyses (1995-2006). *Tectonophysics* (submitted).
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Lallemand, S., Noomen, R., and Veis, G., 1995. Geodetic determination of the kinematics of Central Greece with respect to Europe: implications for Eastern Mediterranean tectonics. *J. Geophys. Res.*, 100, 12 675-12 690.

Lekkas, E. and research group of the University of Athens, 1995. Neotectonic map of Greece (Zakynthos sheet). Scale 1:100.000.

Papazachos, C. and A. Kiratzi, 1996. A detailed study of the active crustal deformation in the Aegean and surrounding area. *Tectonophysics*, 253, 129 – 153.

Peter, Y., Kahle, H. G., Cocard, M., Veis, G., Felekis, S., Paradissis, D., 1998. Establishment of a continuous GPS network across the Kefhalonia Fault Zone, Ionian islands, Greece. *Tectonophysics*, 294, 253–260.

Sachpazi, M., Hirn, A., Clement, C., Haslinger, F., Laigle, M., Kissling, E., Charvis, P., Hello, Y., Lepine, J.-C., Sapin, M., and Ansorge, J., 2000. Western Hellenic subduction and Cephalonia Transform: local earthquakes and plate transport and strain. *Tectonophysics*, 319, 301-319.

Vassilopoulou, S., 1999. Geodynamics of the Argolis Peninsula with GIS development and the use of Remote Sensing Data. PhD Thesis, University of Athens, Faculty of Geology, 194 pp.

Vassilopoulou, S., 2001. "PROANA"-A useful software for terrain analysis and geoenvironmental applications—study case on the geodynamic evolution of Argolis Peninsula, Greece, Proc. 20th International Cartographic Conference, Beijing, China. Chinese Society of Geodesy, Photogrammetry and Cartography, pp. 3432–3440.

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΛΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΟΥ ΠΑΚΙΣΤΑΝ (2004) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ASTER ΚΑΙ IKONOS

Γεωργακάς Δ., Κατσέλης Σ.

Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας

Περίληψη

Στόχος της εργασίας είναι ο εντοπισμός των κατολισθήσεων που προκλήθηκαν από το σεισμό στο Πακιστάν τον Οκτώβριο του 2004 και των επιπτώσεων στους οικισμούς και στο περιβάλλον. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν πολυφασματικά δεδομένα ASTER και Pansharpened εικόνες IKONOS πριν και μετά το σεισμικό γεγονός. Όσον αφορά τα δεδομένα ASTER, εφαρμόστηκε η τεχνική της ανάλυσης κύριων συνιστωσών χρησιμοποιώντας το σύνολο των εικόνων πριν και μετά το σεισμό. Από το σύνολο των εικόνων συνιστωσών που δημιουργήθηκαν, επιλέχθηκε η πλέον κατάλληλη για ερμηνεία με σκοπό την αναγνώριση των περιοχών με κατολίσθηση. Στην περίπτωση των εικόνων IKONOS, έγινε ερμηνεία με σκοπό την καταγραφή των επιπτώσεων σε οικισμούς, οδικό δίκτυο, υδρογραφικό δίκτυο κλπ. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων έδειξε ότι αρκετές μεγάλες κατολισθήσεις συνέβησαν κατά μήκος του ρήγματος που προκάλεσε το σεισμό. Ορισμένοι οικισμοί καλύφθηκαν τελείως από υλικό των κατολισθήσεων. Επίσης, σημαντικές μεταβολές εντοπίστηκαν και στη μορφολογία της περιοχής και στο υδρογραφικό.

MAPPING OF LANDSLIDES TRIGGERED BY THE EARTHQUAKE IN PAKISTAN (2004) USING ASTER AND IKONOS SATELLITE IMAGES

Georgakas D., Katselis S.

Harokopio University, Department of Geography

Abstract

The main goal of this project is to locate and map the landslides triggered by the earthquake in Pakistan in October 2004 and to determine the effects on nearby settlements and the environment. For that purpose, multispectral data taken from ASTER and Pansharpened images taken from IKONOS were used. Regarding the data taken from ASTER, we used the technique of Principal Components Analysis on the images before and after the earthquake and from all the derived images the most appropriate one was selected for interpretation. For the IKONOS images, there was interpretation in order to examine the damage on the settlements, the road network, hydrographic network, etc. The result of the processing of the satellite images showed many big landslides along the fault that caused the earthquake. Some settlements were completely covered by landslide material. Also, significant changes were detected in the morphology of the area and in the hydrographic network.

Λέξεις κλειδιά: κατολίσθηση, δορυφορικές εικόνες, χαρτογράφηση, σεισμός.

Key Words: landslide, satellite images, mapping, earthquake.

1. Εισαγωγή

Στις 5 Οκτωβρίου 2005, ένας ισχυρότατος σεισμός έπληξε το βόρειο τμήμα του Πακιστάν με επίκεντρο την περιοχή του Κασμίρ. Ο μεγέθους 7.6 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ σεισμός,

ισοπέδωσε γειτονικές στο επίκεντρο πόλεις, σκοτώνοντας και αφήνοντας άστεγους χιλιάδες ανθρώπους. Το σεισμό ακολούθησαν δεκάδες ισχυροί μετασεισμοί, που οι περισσότεροι κυμαίνονταν σε μέγεθος πάνω από 5.0. Μέχρι τις 8 Νοεμβρίου 2005, ο αριθμός των νεκρών σύμφωνα με την κυβέρνηση του Πακιστάν, ανερχόταν στους 73.276 ανθρώπους. Το Γεωλογικό Ινστιτούτο των Η.Π.Α., καθόρισε το μέγεθος του σεισμού στους 7.6 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ. Το επίκεντρό του σεισμού ήταν περίπου 19 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της πόλης Μουτζαφαραμπάτ και περίπου 100 χιλιόμετρα βόρεια – βορειοανατολικά από την πρωτεύουσα της χώρας, Ισλαμαμπάντ. Το υπόκεντρο του σεισμού βρισκόταν σε βάθος 26 χιλιομέτρων κάτω από το έδαφος. Σύμφωνα με την Μετεωρολογική Υπηρεσία της Ιαπωνίας, ο σεισμός ήταν μεγέθους 7.8 βαθμών.

Συνολικά, 147 μετασεισμοί χτύπησαν την περιοχή την πρώτη μέρα μετά τον κύριο σεισμό, ένας εκ των οποίων είχε μέγεθος 6,2 βαθμών. Στις 19 Οκτωβρίου 2005, δύο εβδομάδες μετά τον κύριο σεισμό, έγινε αισθητός ένας αρκετά ισχυρός μετασεισμός μεγέθους 5.8 βαθμών. Μέχρι τις 27 Οκτωβρίου 2005, είχαν συμβεί περισσότεροι από 978 μετασεισμοί με μεγέθους 4.0 βαθμών και πάνω.

2. Συνέπειες του σεισμού

Πίνακας 1. Ανθρώπινες απώλειες στο σεισμό του Πακιστάν (10/2004)

Περιοχή	Νεκροί	Τραυματίες	Άστεγοι
Κασμίρ, Πακιστάν	73.276	100.000	3.000.000

Οι περισσότεροι από τους πληγέντες, ζούσαν σε ορεινές περιοχές, όπου πλέον η πρόσβαση σε αυτές είχε αποκοπεί λόγω του ότι ολόκληρο το οδικό δίκτυο είχε μπλοκαριστεί από κατολισθήσεις που προκλήθηκαν από το σεισμό.

Καταστροφές

- Απογραφή που πραγματοποιήθηκε από το Πανεπιστήμιο Μηχανολογίας του Πακιστάν στην πόλη Μουτζαφαραμπάτ αλλά και στην ευρύτερη περιοχή αυτής, έδειξε ότι περίπου το 60 % των κτιρίων στις αστικές περιοχές ήταν κατασκευασμένα εξολοκλήρου από τσιμέντο χωρίς κάποια εσωτερική ενίσχυση. Η πλειοψηφία των ανθρώπινων απωλειών προήλθε από την κατάρρευση αυτών των κτιρίων.
- Τα πακιστανικά μέσα μαζικής ενημέρωσης, ανέφεραν εκτεταμένες καταστροφές στην πόλη Μπαλακότ, στο Χαμιμπουλάχ και στο Ραβακαλότ.
- Ο σεισμός προκάλεσε κατολισθήσεις, που οδήγησε στο να θαφτούν ολόκληρα χωριά και δρόμοι σε αρκετές περιοχές στο βόρειο Κασμίρ.
- Συνολικά, εκτιμήθηκε ότι εκατοντάδες χιλιάδες κτίρια κατέρρευσαν ή υπέστησαν ανεπανόρθωτες ζημιές.
- Ζημιές σε κτίρια και αρκετές ανθρώπινες απώλειες αναφέρθηκαν και στο Πουντζαμπ και στο Μπαλοχιστάν.

3. Δεδομένα και επεξεργασία

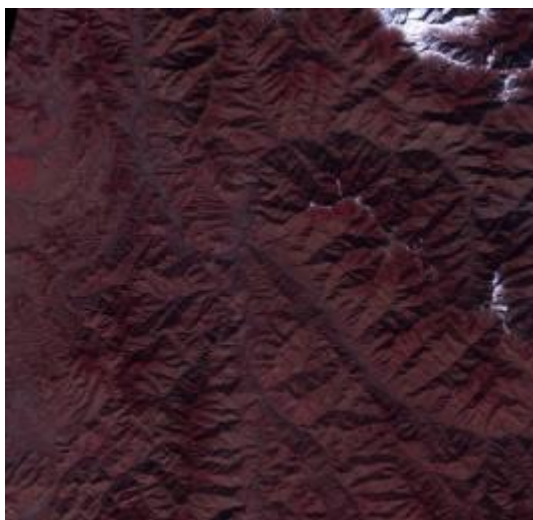
Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες ASTER και IKONOS οι οποίες και επεξεργάστηκαν με τη χρήση του λογισμικού ERDAS v 8.4.

Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για να εντοπιστούν οι κατολισθήσεις, είναι η ανάλυση κυρίων συνιστωσών.

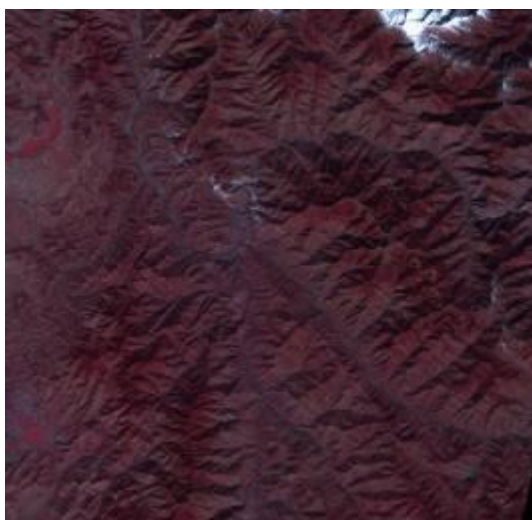
3.1 Επεξεργασία εικόνων ASTER

Για να γίνει η ανάλυση των κυρίων συνιστωσών, αρχικά οι δύο αρχικές εικόνες ASTER, χωρίστηκαν σε 3 φασματικά κανάλια η κάθε μία, έτσι ώστε να έχουμε τρεις εικόνες για κάθε

χρονική περίοδο, πριν και μετά το σεισμό. Στη συνέχεια, οι έξι αυτές εικόνες ενώθηκαν σε ένα επίπεδο με έξι φασματικά κανάλια, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση κυρίων συνιστωσών, όπου και πήραμε έξι εικόνες συνιστώσες. Παρατηρώντας των παρακάτω πίνακα, βλέπουμε ότι η εικόνα που περιέχει την πληροφορία που μας είναι χρήσιμη, είναι η εικόνα συνιστώσα τρία, παρ' όλο που περιέχει μόνο το 5.34 % της συνολικής πληροφορίας.



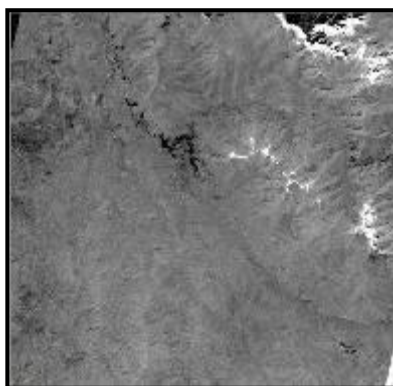
Εικόνα 1. Δορυφορική εικόνα ASTER της περιοχής μελέτης στο βόρειο βορειο ανατολικό τμήμα του Πακιστάν χωρικής διακριτικής ικανότητας 15 μέτρων (Μάρτιος 2000)(Πηγή: http://veimages.gsfc.nasa.gov/20357/npakistan_AST_2005300_15m.jpg).



Εικόνα 1. Δορυφορική εικόνα ASTER της περιοχής μελέτης στο βόρειο βορειο ανατολικό τμήμα του Πακιστάν χωρικής διακριτικής ικανότητας 15 μέτρων (Οκτώβριος 2005)(Πηγή: http://veimages.gsfc.nasa.gov/20357/npakistan_AST_2005300_15m.jpg).

Πίνακας 2. Πίνακας ιδιοτιμών

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
AST1PRE	0.4896	- 0.5224	0.3453	- 0.5995	0.0890	0.0247
AST2PRE	0.3869	0.2665	0.3707	0.2353	- 0.5623	0.5197
AST3PRE	0.3941	0.3689	0.4508	0.3065	0.4426	- 0.4641
AST1POST	0.4189	- 0.5582	- 0.3681	0.6100	- 0.0255	- 0.0669
AST2POST	0.3674	0.3065	- 0.4219	- 0.3033	- 0.4841	- 0.5162
AST3POST	0.3803	0.3380	- 0.4758	- 0.1642	0.4948	0.4927
%	86.14	7.26	5.34	0.73	0.38	0.11
eigenvalue	3235.12	273.02	200.88	27.77	14.30	4.44



Εικόνα 3. Εικόνα συνιστώσα 3
(οι κατολισθήσεις απεικονίζονται με μαύρο χρώμα).

4. Ανάλυση των επεξεργασμένων στοιχείων

Η περιοχή αυτή, βρίσκεται περίπου τριάντα χιλιόμετρα νοτιοανατολικά από το επίκεντρο του σεισμού, ανάμεσα στο Μουτζαφαραμπάτ και στο Ούρι, στην οροσειρά Πιρ Πουντζάλ του Κασμίρ.

Η μεγάλη κατολίσηση είναι ορατή στο κέντρο της παραπάνω εικόνας. Είναι το μεγαλύτερο κατολισθητικό φαινόμενο που εντοπίστηκε στην ευρύτερη περιοχή που επηρεάστηκε από το σεισμό, καθώς έχει καταρρεύσει μια περιοχή περίπου 2km x 1.5km. με το συνολικό όγκο των βράχων να υπολογίζεται στα 200 εκατομμύρια m³. Η κατολίσηση αυτή, μπλόκαρε τη ροή δύο μικρών ποταμών που τελικά στους επόμενους μήνες κατέληξαν ενωμένοι και δημιούργησαν μικρές λίμνες στα όρια του φυσικού φράγματος που δημιουργήθηκε από τις κατολισθήσεις.

Στο σημείο αυτό, που βρίσκεται σχεδόν επάνω στο όριο των δύο τεκτονικών πλακών της Ινδίας και της Ευρασίας και πολύ κοντά στην πόλη Μουτζαφαραμπάτ, τα απότομα βουνά της περιοχής σχεδόν κατέρρευσαν ολοκληρωτικά. Στο κεντρικό τμήμα της εικόνας 10, το δυτικό τμήμα του βουνού έχει αποκοπεί εντελώς.

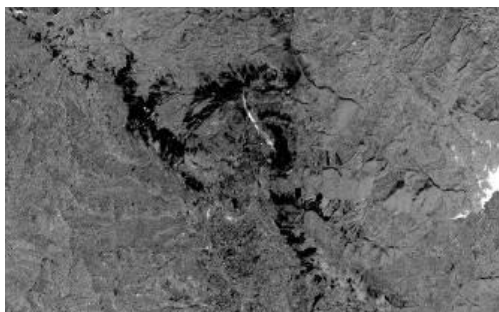
Σχεδόν σε ολόκληρη την πληγείσα περιοχή, εντοπίζονται σπασίματα στο έδαφος κατά μήκος των πρανών για αρκετές εκατοντάδες μέτρα. Οι κατολισθήσεις απομόνωσαν ήδη δύσκολα προσβάσιμα χωριά και πόλεις στο πακιστανικό Κασμίρ, καθώς τεράστια κομμάτια

βράχων κάλυψαν τους δρόμους.

Το Μουτζαφαραμπάτ, είναι η μεγαλύτερη πόλη στην περιοχή που επηρεάστηκε από το σεισμό. Πολλά κτίρια κατέρρευσαν, κυρίως εκείνα που βρίσκονταν σε μεγαλύτερο υψόμετρο και, πολλές κατολισθήσεις συνέβησαν κοντά στον ποταμό Νίλουμ.



Εικόνα 4. Κατολίσηση στο νότιο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης



Εικόνα 5. Κατολισθήσεις στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης

5. Ερμηνεία δορυφορικών εικόνων IKONOS

Το επίκεντρο του σεισμού, βρισκόταν πολύ κοντά στην πόλη Μουτζαφαραμπάτ και, στην ευρύτερη περιοχή, εντοπίστηκαν τα πιο εκτεταμένα κατολισθητικά φαινόμενα.

Ο μεγέθους 7.6 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ σεισμός, προκάλεσε την μεγαλύτερη καταστροφή από τις κατολισθήσεις στην περιοχή γύρω από το Μουτζαφαραμπάτ, περίπου δέκα χιλιόμετρα από το επίκεντρο του σεισμού. Η παρακάτω εικόνα, είναι από το δορυφορικό σύστημα IKONOS στις 9 Οκτωβρίου 2005, μόλις 4 ημέρες μετά το σεισμό. Στο κέντρο της εικόνας, φαίνεται καθαρά ότι η δυτική πλευρά του βουνού έχει καταρρεύσει ολοκληρωτικά, κάτι που είχε ως αποτέλεσμα τεράστιες ποσότητες βράχων και λάσπης να καταλήξουν στον ποταμό Νείλουμ. Ο ποταμός μετά το σεισμό, ήταν σχεδόν αγνώριστος καθώς η συγκεκριμένη κατολίσηση ήταν μόνο μία, αν και η μεγαλύτερη, από τις πολλές που συνέβησαν κατά μήκος του ποταμού. Στο κέντρο της εικόνας, δίπλα από τη μεγάλη κατολίσηση, βρίσκεται το χωριό Μάκχρι, το οποίο και ισοπεδώθηκε από την κατολίσηση.



Εικόνα 6. Η ευρύτερη περιοχή βόρεια του Μουτζαφαραμπάτ (Δορυφορική εικόνα IKONOS ανάλυσης 1 μέτρου)(Πηγή: http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/Images/neelum_iko_2005282.jpg).



Εικόνα 7. Δορυφορική εικόνα IKONOS ανάλυσης 1 μέτρου. Η περιοχή βόρεια του Μουτζαφαραμπάτ, στο χωριό Μάκχρι. Οκτώβριος 2005)(Πηγή: http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/Images/nelum_iko_2005282.jpg).

Τα καθαρά νερά του ποταμού Νείλουμ έχουν γίνει καφέ λόγω της λάσπης και του χρώματος από τις κατολισθήσεις. Η κατολίσθηση αυτή, μπλόκαρε την κανονική ροή του ποταμού και είχε ως αποτέλεσμα ο ποταμός Νείλουμ να χάσει το χαρακτηριστικό σχήμα U και να ακολουθήσει μια πιο ομαλή πορεία προς τα νότια. Η καταστροφή, δεν σταμάτησε στα όρια του ποταμού, καθώς όλοι οι γύρω δρόμοι αποκλείστηκαν από την κατολίσθηση.

Βιβλιογραφία

Peiris, L. M. N., Rossetto, T, Burton, P. W. and Mahmood, S (2006) – “EEFIT Mission: October 8, 2005 Kashmir Earthquake”, Preliminary Reconnaissance Report, Earthquake Engineering Field Investigation Team (EEFIT), Web Report, February 2006,

Center for the Observation and Modeling of Earthquakes and Tectonics (COMET), 2005. Locating the Kashmir Fault, http://comet.nerc.ac.uk/news_kashmir.html

Πηγές από το διαδύκτιο

[Http://earthobservatory.nasa.gov](http://earthobservatory.nasa.gov)

[Http://veimages.gsfc.nasa.gov](http://veimages.gsfc.nasa.gov)

[Http://en.wikipedia.org/wiki/Pakistan_earthquake](http://en.wikipedia.org/wiki/Pakistan_earthquake)

[Http://comet.nerc.ac.uk/news_kashmir_popup_1.html](http://comet.nerc.ac.uk/news_kashmir_popup_1.html)

ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ HURGHADA, ΣΤΗΝ ΑΙΓΥΠΤΟ

Kamh S.¹, Kiliias A.², Christaras B.², Ashmawy M.¹

¹Πανεπιστήμιο Τάντα, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, 31527 Τάντα, Αίγυπτος

²Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, 54124 Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

Abstract

The tourist activities in Egypt are, in some cases, associated with unplanned and uncontrolled expanding in urban areas. Such expanding has added around 12000 km² as a new urban area during the last twenty years in Egypt. Hurghada is one of these tourist areas at the Red Sea coast of Egypt. Data of Landsat 5 TM of 1987, Landsat 7 ETM+ of 2000 and ASTER of 2005 were used to examine the scope and speed of urban expansion over 18 years before and after tourist development of Hurghada. In this context, five change detection techniques (qualitative and quantitative) were tested to detect areas of change. Three land use/land cover maps with 10 classes are produced. The results showed that urban area expanded from 7.93 km² in 1987 to 28.65 km² in 2000 with an average rate of 1.6 km²/year, and to 39.60 km² in 2005 with an average rate of 2.2 km²/year. The study also, subjected to detect changes in the position and nature of coastline as a result of land filling which threatens the coral reefs and biodiversity in shallow shore water. The landfill areas formed from 1987 to 2000 are 3.2 km² with an average rate of 0.25 km²/year and from 2000 to 2005 are 1.3 km² with an average rate of 0.3 km²/year.

USING SATELLITE IMAGERY FOR MONITORING URBAN EXPANSION OF HURGHADA AREA, RED SEA COAST, EGYPT

Kamh S.¹, Kiliias A.², Christaras B.², Ashmawy M.¹

¹Tanta University, Faculty of Science, Geology Department, 31527 Tanta, Egypt

²Aristotle University of Thessaloniki, School of Geology, 54124 Thessaloniki, Greece

Περίληψη

Οι τουριστικές δραστηριότητες στην Αίγυπτο συνοδεύονται συνήθως από μια μη σχεδιασμένη και ανεξέλεγκτη επέκταση στις αστικές περιοχές. Αυτή η επέκταση έχει προσθέσει περίπου 12000 τετ. χλμ. ως μια νέα αστική περιοχή κατά τη διάρκεια των τελευταίων είκοσι ετών στην Αίγυπτο. Η Hurghada είναι μια από αυτές τις τουριστικές περιοχές στις ακτές της Ερυθράς Θάλασσας στην Αίγυπτο. Στοιχεία από τους δορυφόρους Landsat 5 TM του 1987, Landsat 7 ETM+ του 2000 και ASTER του 2005 χρησιμοποιήθηκαν για να εξετάσουν το πεδίο και την ταχύτητα της αστικής επέκτασης για περισσότερο από 18 έτη πριν και μετά την τουριστική ανάπτυξη της Hurghada. Σε αυτό το πλαίσιο, πέντε τεχνικές ανίχνευσης αλλαγής εξετάστηκαν για να ανιχνεύσουν τους τομείς της αλλαγής. Τρεις χάρτες του land use/land cover με 10 κατηγορίες κατασκευάστηκαν. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αστική περιοχή επεκτάθηκε από 7,93 τετ. χλμ. το 1987 σε 28,65 τετ. χλμ. το 2000 με μέσο όρο 1,6 τετ. χλμ./έτος και σε 39,60 τετ. χλμ. το 2005 με μέσο όρο 2,2 τετ. χλμ./έτος. Η μελέτη επίσης, έχει αντικείμενο να ανιχνεύσει τις αλλαγές της θέσης και της φύσης της ακτής ως αποτέλεσμα επέκτασης της ξηράς που απειλεί τους κοραλλιογενείς υφάλους και τη βιοποικιλότητα στα ρηχά ύδατα των ακτών. Οι περιοχές επέκτασης της ξηράς που διαμορφώθηκαν από το 1987 ως το 2000 είναι 3,2 τετ. χλμ. με μέσο όρο 0,25 τετ. χλμ./έτος και από το 2000 ως το 2005 είναι 1,3 τετ. χλμ. με μέσο όρο 0,3 τετ. χλμ./έτος.

Λέξεις κλειδιά: ανίχνευση αλλαγής, Hurghada, αστική επέκταση.

Key words: change detection, Hurghada, urban expansion.

1. Introduction

The study area is situated at the Eastern Desert of Egypt and at about 550 km from Cairo (Figure 1). It stretches for about 60 km along the western shoreline of the Red Sea between El-Gouna resort to the north and Sahl Hashish area to the south. It encompasses an area of about 750 km² and is bounded by latitudes 27° 03'-27° 25' N and longitudes 33° 35'-33° 55' E. Geologically, the study area comprises Precambrian basement rocks including metagabbros, Older Granites, Dokhan Volcanics, Hammamat sediments, Younger Granites and post-granite dykes as well as Cenozoic Tertiary and Quaternary deposits (EGSMA, 2005). The study area is considered now as a major tourism destination for international and local visitors as it hosts three tourist centers, El-Gouna, Hurghada and Sahl Hashish. Hurghada acts as a town and a tourist center and is characterized by special geographic, geologic and geomorphologic features and attracted the investors to construct various economic development activities. Indeed, these activities transformed Hurghada rapidly from primitive fishing village in 1920s to the first destination resort on the Egyptian Red Sea coast. As well as El-Gouna resort was constructed at the middle of 1990s at 20 km north of Hurghada over the old Graeco-Roman port called Myos Hormos.

No doubt, the increasing and booming of the coastal tourism in the study area are expected to lead to increase in urbanization. This reason initiates the objective of this work to detect and evaluate the urban expansion of Hurghada area, using multi-spectral, multi-temporal satellite data. In addition, discuss the pattern and the forces driving it.

Although land use and land cover changes can be monitored by traditional inventories and survey, satellite remote sensing provides greater amounts of information on the geographic distribution of land use and changes, along with advantages of the cost and time savings for regional size areas (Yuan et al., 2005). The timely and spatially explicit characteristics of remotely sensed data not only provide a means for exploring and testing hypotheses and models about urban areas, but also for constructing new theories that can help in the formation of policy in anticipation of the problems that accompany urbanization processes (Rashed et al., 2005).

Relevant growth processes in urban and suburban areas can be detected and analyzed by application of change detection techniques (Jürgens, 2001). Some researchers refer to change detection as monitoring process and defined monitoring as the regular examination and recording of a time-variant process of phenomena, such as land use changes (Shair and Nasr, 1999).

2. Change detection techniques

Numerous methods for change detection were discussed by several researchers for many years. Consequently, different approaches have been developed. Lu et al. (2004) reviewed previous studies about change detection techniques and summarized these techniques into two main types: 1) those detecting binary change/no-change information, and 2) those detecting detailed "from-to" change.

Moufaddal (2005) divided change detection techniques into two major groups: 1) qualitative techniques, which outline only area of changes, without giving any figures or estimates on the type and volume of change (e.g. image differencing, image ratioing, image overlay and PCA), and 2) quantitative techniques, which provide estimates on type, volume and rate of change such as post-classification comparison and direct multivariate classification.

*Corresponding author (e-mail: skamh2002@yahoo.com)

3. Data used

To start a remote sensing approach to determine urban growth, one need at least two images of different dates. One should be a very up-to-date image, showing the most recent situation, and one should be an older image showing a reference situation from which growth determined (Jürgens, 2001).

In the present study, Landsat Thematic Mapper (Landsat 5 TM), which acquired on 14 August 1987, Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (Landsat 7 ETM+), which acquired on 10 September 2000 and Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), which acquired on 27 November 2005, were selected as the basis for image analysis and land cover classification. The three images data cover a time period of 18 years, TM-1987 used as reference situation and ASTER-2005 used as up-to-date situation of Hurghada area. In addition to the remote sensing datasets, several data sources were utilized. These data sources include aerial photographs, topographic maps, administrative maps, tourist maps, land use maps and demographic data. These raster datasets were basically used as reference materials for determining the locations and densities for training and ground truth points.

4. Pre-classification processing

Of the various requirements of pre-processing for change detection, multi-temporal image registration and radiometric and atmospheric corrections are the most important (Lu et al., 2004). The major task of pre-processing of images is geometric registration (Ji et al., 2001), that is a critical pre-request for change detection (Moufaddal, 2005).

In the present study landsat 7 ETM+ was co-registered to the base topographic maps with scale 1:50,000 (i.e. image to map registration) using the Universal Transverse Mercator Projection (UTM) Zone 36 North with a world Geodetic System (WGS) 84 datum. Image to map registration was done using 25 ground control points (GCPs) at a root mean square (RMS) error of less than 0.7 pixels. Landsat 5 TM and ASTER images were co-registered to the corrected landsat 7 ETM+ at RMS errors of ~ 0.3 pixels and < 0.4 pixels, respectively. No clouds or haze are visible over the study area in any of images. Three subset scenes of 1111 by 1388 pixels covering the study area were extracted from the full scenes.

5. Data processing and identification of changes

In the present study, some selected approaches were applied to detect and monitoring Hurghada urban expansion. For qualitative techniques (Moufaddal, 2005), the image differencing, image ratioing, image overlay and multivariate principal component analysis (PCA) were used, whereas for quantitative techniques, the post-classification comparison was selected.

5.1 Image differencing

Image differencing is the most widely used change detection technique (Moufaddal, 2005). The process simply subtracts one digital image, pixel by pixel from another, to generate a third image composed of the numerical differences between pairs of pixels (Sunar, 1998; Dewidar, 2002; Moufaddal, 2005). The difference in the areas of no change will be very small, and areas of change will reveal larger positive or negative values (Lillesand and Kiefer, 2000).

In the present study, image differencing routine was carried out using ENVI software to extract difference map representing the differences between the initial state and final state images. Many tests were carried out on the different bands of the three images (TM, ETM+ and ASTER) and these tests showed that difference maps of band 7 of 1987 and 2000 and band 3N of 2005 displayed the urban growth and shoreline shifts.

5.2 Image ratioing

Image ratioing is a powerful technique for extracting spectral information from multi-spectral imagery (Dewidar and Frihy, 2003). When one spectral band divided by another, an image with relative intensities will produce (ENVI, 2004). Ratios for areas of no change tend toward one and areas of change will have higher or lower ratio values (Lillesand and Kiefer, 2000; Shair and Nasr, 1999).

In the present study, ratios of band 4 of 1987 and 2000 and band 2 of 2005 gave the best results and highlight the changes in urban growth, vegetation and seagrass.

5.3 Image overlay

Image overlay is the simplest way to produce a change map from comparison of a single band of data from two dates (Sunar, 1988). Moufaddal (2005) added that is straightforward way of comparing historical data and provides a qualitative changes between two dates. Lu et al. (2004) concluded that image overlay can be implemented by inserting one band from date 1 as red, the same band from date 2 as green and the same band from date 3 as blue, if available.

In this study, the change images were produced by inserting the older band in green display and the younger one, is to overlay it, in red display according to Howarth and Boasson (1983). Overlay trials of band 5 and band 7 of 1987 and 2000 and band 3N of 2005 highlight the urban growth and shoreline development.

5.4 Multidate principal component analysis (PCA)

Principal component analysis (also referred to as PCA) has proven to be significant value in the analysis of remotely sensed digital data (Jensen, 1986). The transformation of the raw remote sensor data using PCA can result in principal component images that are often more interpretable than the original data (Byrne et al., 1980). PCA may be used to compress the information content of a number of bands of imagery (e.g. seven thematic mapper bands) into just two or three transformed principal component images (Jensen, 1986).

In the present study, the three datasets were subjected to PCA to create a number of principal components (PCs). Visual inspection of the PCA color composites, which produced from these components, indicated that the composite containing the first three PCs were the most informative and produced more colorful color composite images than spectral color composites. Each composite was composed from the first three PCs of the file contains temporal change between two dates and highlight clearly the volume of urbanization in the study area.

5.5 Post-classification comparison

Remotely sensed datasets provide useful thematic information. Extracting this thematic information from the dataset is accomplished through image classification. Its overall objective is to automatically categorize all pixels in the multi-spectral dataset into land cover classes. Computer-based interpretation of this dataset is referred to as quantitative analysis because of its ability to identify pixels upon their numerical properties and owing to its ability for counting pixels for area estimated (Richards, 1999). Computer-assisted classification of remote sensing data can be partitioned into two general approaches: supervised and unsupervised. Supervised one will be discussed here.

Lillesand and Kiefer (2000) summarized that the typical supervised classification has three basic steps: 1) training stage, 2) classification stage, and 3) output stage. Importantly, training data must be representative, homogenous and complete for land cover

classes that will be mapped in the output map.

In the present study depending on the prior knowledge of the study area, which gathered through a combination of reference data and ground data collected during fieldwork, ten pre-defined cover classes were designed as basement rocks, Miocene rocks, sabkha deposits, alluvial deposits, wadi (dry valley) deposits, green land (mangroves, farmlands and golf courses), urban (built-up, tourist activities, roads, airport runways), reef flat, coral reef and sea water.

The three images of 1987, 2000 and 2005 were subjected to the maximum likelihood classifier independently using the training classes of each date. The early attempts of the classification process of each image showed that a considerable confusion occurs between some spectrally similar classes, e.g. confusions between urban area and other classes. Therefore, it was hypothesized that subdividing each multivariate dataset into two sections (land and water) by masking and then performing a maximum likelihood classifier on each section independently would resolve a major part of confusion and would improve accuracy of change maps.

After that, supervised classification using maximum likelihood classifier was performed independently on both sections (land and water) of the three datasets of 1987, 2000 and 2005. Six different land use/land cover maps of the three land sections and three water sections were created, indeed with satisfactory accuracy. The classified images of land and water sections were collected using GIS analysis function to produce the land use/land cover maps of the 1987 date, the 2000 date and the 2005 date.

6. Post-classification processing

Once classification process was completed, a post-classification filtering using majority function 3x3 pixel size, was performed to reduce the noise in the classified images. After that, the classified maps were carefully scrutinized to detect the obvious misclassification by comparing results with the source images, through a careful, section by section examination of satellite imageries. On-screen editing of regions of pixels obviously misclassified was performed. The post-classification manual editing stage requires labor-intensive work and most time-consuming.

Once post-processing manual editing stage was completed, accurate land use/land cover maps of the 1987 (Figure 1), of the 2000 (Figure 2) and of the 2005 (Figure 3) were obtained. In addition, urban areas and green land were extracted from each classified image and overlaid onto false color composite of 1987 to show the urban growth through 18-year period (Figure 4). The overall accuracies for the classification maps of 1987, 2000 and 2005 images were 94.89%, 95.96% and 91.29% respectively. Also, kappa coefficients for 1987, 2000 and 2005 were 0.92, 0.93 and 0.86, respectively. Finally, a comparison between the three classification maps was carried out on a pixel-by-pixel basis.

7. Hurghada urban growth and factors driving it

The outcomes of this study comprised two components: thematic maps and the statistical data. The thematic maps include 1) land use/land cover maps of the three dates and 2) change detection map. The results of the three classification maps are summarized in table (1) and the areas of all classes are represented in figure (5). From table (1) it could be concluded that the urban area of Hurghada area expanded from 7.93 km² (in 1987) to 28.65 km² (in 2000) with an average rate of 1.6 km²/year and to 39.6 km² (in 2005) with an average rate of 2.2 km²/year. The overall rate of the entire period (1987-2005) was 1.75 km²/year. The green land expanded from 0.38 km² (in 1987) to 3.63 (in 2000) with an average rate of 0.25 km²/year and to 4.3 km² (in 2005) with an average rate of 0.14 km²/year. The changes during the time periods 1987-2000, 2000-2005 and 1987-2005 are

represented in figure (6). Figure (6) demonstrates the greatest changes occurred in urban and green land classes and indicates the interference of the human in environment.

One of the principal aims of this study is to shed light on the forces that are affecting on the urban expansion. Ji et al. (2001) and Xiao et al. (2006) stated that urban expansion is governed by geographical and socio-economical factors, such as population growth, policy and economic development. The relationship between population growth and growth in urban area was examined. Table (2) shows the relative change and annual urban growth rate during the 18-year period from 1987 to 2005. The annual urban growth rate (AGR) was calculated according to the formula adopted by Xiao et al. (2006):

$$AGR = \frac{UAn+i - UAi}{nUAR} \quad (1)$$

where UAR is the reference urban area; $UAn+i$ and UAi the urban area or built-up area at time $i+n$ and i , respectively, and n is the interval of the calculating period (in years).

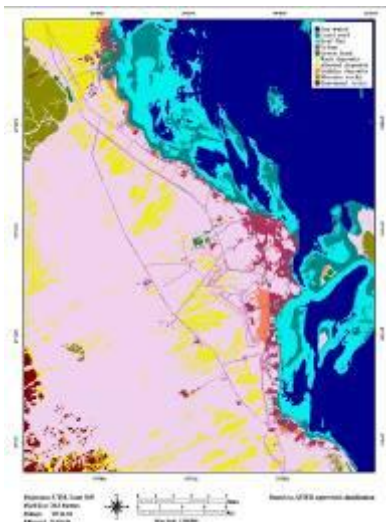
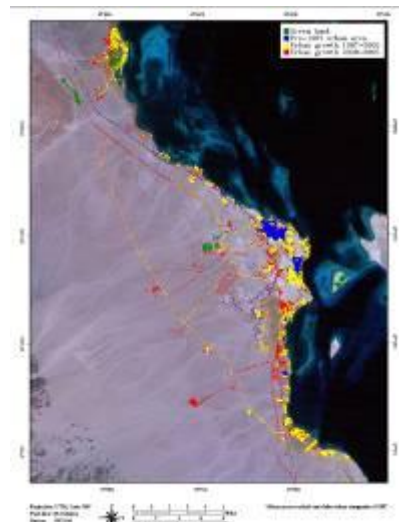


Figure 3. Land use/land cover map of 2005 of Hurghada area.



Hurghada area Figure 4. The urban growth of through 18-year period (1987-2005).

Table (2) shows that, relatively, the urban area increased ~ 400% from 1987 to 2005, with the greatest increase occurring from 1987 to 2000 about 261%. The annual urban growth rate was 20% from (1987 to 2000) and 27.5% (from 2000 to 2005) and 22.2% for the entire period (from 1987 to 2005). This comprises to an annual population growth rate of approximately 14.3% from 1987 to 2005.

The population data (Table 3) which collected from CAPMAS (1980-2005) about Hurghada during 25 years from 1980 to 2005 shows that the correlation between population growth and urban change appears strong (Figure 7). This is clearly appeared in figure (8) which demonstrates the strongly correlates with the population growth and urban area in a nearly linear form. So, it can be concluded that the population growth is the major dominant factor driving urbanization of Hurghada; therefore the urban area was increased ~ 5 times from 1987 to 2005 with corresponding growth of population more than 3.5 times.

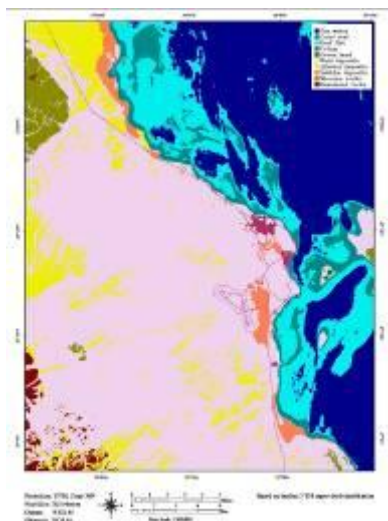


Figure 1. Land use/land cover map of 1987 of Hurghada area.

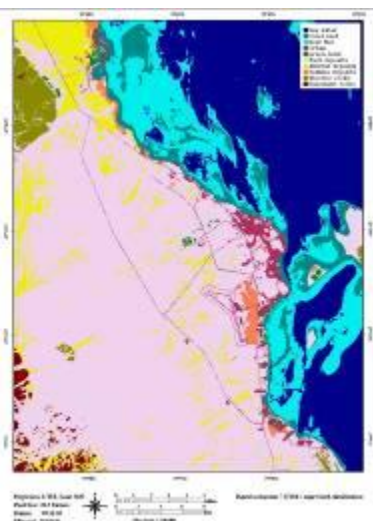


Figure 2. Land use/land cover map of 2000 of Hurghada area.

Table 1. Summary of results of the supervised classification for 1987, 2000 and 2005 images of Hurghada.

Year Class	LULC-1987		LULC-2000		LULC-2005		Area changed (Km ²)		
	Cover %	Area (Km ²)	Cover %	Area (Km ²)	Cover %	Area (Km ²)	1987-2000	2000-2005	1987-2005
Sea water	24.41	305.81	24.74	310.07	25.98	325.41	+4.26	+15.34	+19.6
Reef flat	4.79	59.94	4.71	59.00	5.04	63.11	-0.94	+4.11	+3.17
Coral reef	10.97	137.53	10.49	131.44	8.96	112.24	-6.09	-19.2	-25.29
Urban	0.63	7.93	2.29	28.65	3.16	39.60	+20.72	+10.95	+31.67
Green land	0.03	0.38	0.93	3.63	0.34	4.30	+3.25	+0.67	+3.92
Wadi deposits	47.26	591.90	47.75	598.61	45.89	574.80	+6.71	-23.81	-17.1
Alluvial deposits	7.34	91.93	5.97	74.42	6.93	86.76	-17.51	+12.34	-5.17
Sabkha deposits	1.71	21.46	0.93	11.53	0.68	8.55	-9.93	-2.98	-12.91
Miocene rocks	1.99	24.95	1.95	24.52	2.09	26.18	-0.43	+1.66	+1.23
Basement rocks	0.93	11.62	0.94	11.73	0.99	12.46	+0.11	+0.73	+0.84
Total	100	1253.5	100	1253.5	100	1253.5	* LULC = Land use/Land cover		

On the other hand, the intrinsic beauty and diversity of natural resources of Hurghada attract the foreign investments to this area. No doubt, these tourist activities play an important role in promoting the urban development. In addition, the government policy aims to improve roads network and infrastructure of Hurghada, such factors show a complex relationship with urban growth and increase the migration rate from all the territory to this area for the new employment opportunities.

Table 2. Relative change and annual urban growth rate of Hurghada from 1987 to 2005.

Period	Relative change of urban area	Annual urban growth rate
1987-2000	261%	20.0%
2000-2005	138%	27.6%
1987-2005	400%	22.2%

Table 3. Population and urban area of Hurghada from 1980 to 2005.

Year	Population*	Urban area (km ²)
1980	12472	3.10*
1987	23010	7.93
1990	25458	8.50*
2000	64363	28.65
2005	82050	39.60

* Population after CAPMAS (1980-2005)
• After El-Bana (2002)

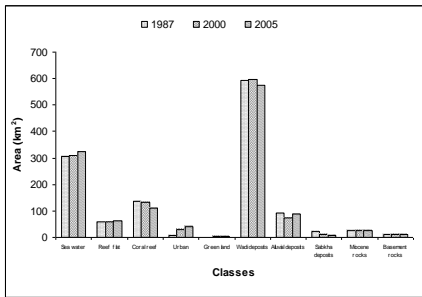


Figure 5. Showing the area of each class in the classified maps of 1987, 2000 and 2005 images.

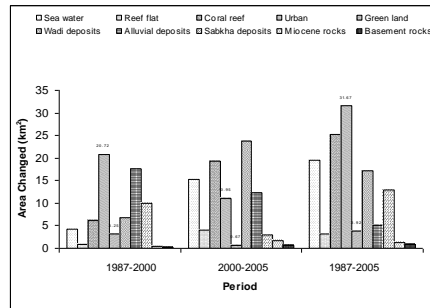


Figure 6. Representing the changed area in the three periods of study, 1987-2000, 2000-2005 and 1987-2005.

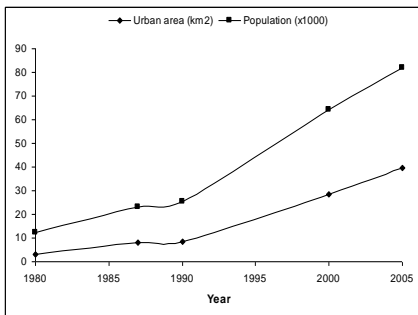


Figure 7. Graphical representation of the growth of population and urban area of Hurghada area from 1980 to 2005.

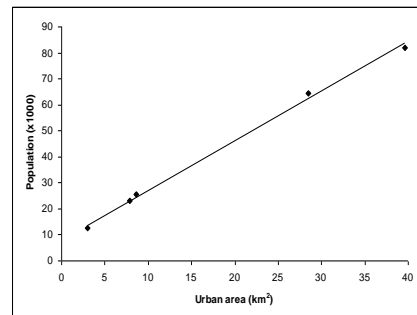


Figure 8. The correlation between population growth and urban expansion appears particularly strong for Hurghada area.

8. Change pattern analysis

Urban expansion takes places in substantially, different forms, it can be orderly-properly laid out in simple geometric forms or it can be disorderly (Angel et al., 2005). By reviewing the produced classification images and change detection map, it can be concluded that the urban region is largely broadened and the urban growth can be identified in one of three models; infill, expansion and outlying (Wilson et al., 2003).

Hurghada in 1987 comprised essentially from two areas: Ad-Dahhar area (old city) and the Harbor area (As-Saqqalah area), from these two nucleuses the town began to expand. In the first stage, the expansion model was the dominant, which characterized by a non-developed pixel being converted to developed and surrounded by no more than 40% existing developed pixels (Wilson et al., 2003). Expansion type development has called also urban fringe development (Heimlich and Anderson, 2001). The expansion occurred at fringe of the urbanized area of 1987, as well as, expanded along corridors (road networks) resulting an elongate city shape.

In the same time, outlying growth is represented, which characterized by a change from non-developed to developed land cover occurring beyond existing developed areas (Wilson et al., 2003). This type of growth has been called development beyond the urban fringe (Heimlich and Anderson, 2001). This type is divided into the following three classes: isolated, linear branch and clustered branch. The isolated growth is characterized by one or several non-developed pixels some distance from an existing developed area being developed. This type is represented in El-Ahhya area, which acts as a new community began during 1990's at the north of the main town, and El-Gouna resort is the obvious example for this model at 20 km north of Hurghada.

According to the dramatic increase of the tourist and recreational activities during 1990's at Hurghada area, the urban area expanded in a linear fashion parallel to the Red Sea coast from the most north area (El-Gouna) until the most south area (Sahl Hashish area). It is clearly appeared to see how the pristine coastline of Hurghada area in 1987 transformed into concrete strip of tourist hotels and recreational facilities during the 18-year period until the year 2005. In addition, Hurghada airport, sewage station, recycling factory and El-Gouna's farmlands are examples of clustered branch growth in the west direction of the town.

As a result of the improvement of the infrastructures in the Hurghada town, the infill growth was developed. The infill growth is characterized by a non-developed pixels being converted to urban use and surrounded at least by 40% existing developed pixels (Wilson et al., 2003). The presence of facilities such as sewer, water, and roads helped in developing areas of As-Salam and Al-Hadabah within the town, and some of the inner-urban areas during the 18 years from 1987 to 2005.

9. Landfill detection

Dredging and land-filling of backshore and fringing reef areas are considered as one of the most negative activity accompanying the urbanization process. The shoreline was pristine in the 1987 image and since that time uncontrolled tourist development has already caused damage in shore reefs. Investors tend to fill out parts of the reef flat in order to **create inexpensive land to be exploited for establishing artificial beaches, marinas, ...etc.** According to the estimates of Medio et al. (1997), 64 of 75 resorts surveyed in Hurghada had carried out some forms of land-filling. Dewidar (2002) estimated the total area subjected to land-filling in the vicinity of Hurghada over 13-year period from 1984 to 1997 is 2 km².

Moufaddal (2005) estimated the total area which subjected to either land-filling and

dredging in the coastal strip from north of Hurghada to south of Safaga over 16-year period from 1984 to 2000 is about 6.55 km². Of this area, 3.65 km² as landfill and 2.9 km² as dredging area.

The present study estimated the landfill along the coastline from El-Gouna at the north of Hurghada to Sahl Hashish area at the south by comparing the three classification maps (Figures 1, 2 and 3). The results illustrated that the extra land gained during the 18-year period from 1987 to 2005 was 4.5 km² with an average rate 0.25 km²/year. The greatest increase occurring from 1987 to 2000 was about 3.2 km² with an average rate 0.25 km²/year and the new land gained from 2000 to 2005 was 1.5 km² with an average rate 0.3 km²/year.

10. Conclusions

From the above mentioned analysis, the use of remote sensing technology for urban expansion monitoring in Hurghada area has been a success in terms of achieving its original goals, because the changes with time are very well documented in remote sensing imagery data. The obtained results reflected the rapid development of urbanization of Hurghada area during the last 18 years. Ministry of Housing, Utilities and Urban Development expected that the area of Hurghada will be 150 km² and its population will be 175000 in the year 2020. Really, this continuous urban expansion needs up-to-date and accurate monitoring at regular intervals of time. In addition, legislative measures are needed to be adopted to regulate this expansion.

Bibliography

Angel S., S. C. Sheppard and D. L. Civco, 2005: The dynamics of global urban expansion. Transport and Urban Development Depart., The World Bank, Washington DC, USA.

Byrne G. F., P. F. Crapper, and K. K. Mayo, 1980: Monitoring land-cover change by principal component analysis of multitemporal landsat data. Remote Sensing of Environment, 10, 175-184.

CAPMAS (Central Agency for Public Mobilization and Statistics), 1980-2005: Official censuses -for different years (1980-2005)- of Population, Housing and Buildings, Cairo, Egypt.

Dewidar Kh. M., 2002: Landfill detection in Hurghada, North Red Sea, Egypt, using Thematic Mapper images. Int. J. of Remote Sensing, 23, 939-948.

Dewidar Kh. M. and O. E. Frihy, 2003: Thematic Mapper analysis to identify geomorphologic and sediment texture of El Tineh plain, north-western coast of Sinai, Egypt. Int. J. of Remote Sensing, 24, 2377-2385.

EGSMA (Egyptian Geological Survey and Mining Authority), 2005: Geologic map of Hurghada quadrangle, Egypt, Scale 1:250,000.

El-Bana A. F., 2002: The urban change in Hurghada city in the quartet of the 20th century. M. Sc. Thesis, Fac. Art, Tanta Univ., Tanta, Egypt. (In Arabic).

ENVI, 2004: ENVI user's guide. Software package ver. 4.1. Research Systems Inc., USA.

Heimlich R. E. and W. D. Anderson, 2001: Development at the urban fringe and beyond: Impacts on agriculture and rural land. ERS Agricultural Economic Report No. 803, 88.

Howarth P. J. and E. Boasson, 1983: Landsat digital enhancements for change detection in urban environments. Remote Sensing of Environment, 13, 149-160.

Jensen J. R., 1986: Introductory digital image processing. Prentice-Hall, New Jersey.

Ji C. Y., Q. Liu, D. Sun, S. Wang, P. Lin, and X. Li, 2001: Monitoring urban expansion with remote sensing in China. *Int. J. of Remote Sensing*, 22, 1441-1455.

Jürgens C., 2001: Urban and suburban growth assessment with remote sensing. OICC 7th International Seminar on G.I.S. Applications in Planning and Sustainable Development Cairo - Egypt 13-15 Feb. 2001.

Lillesand T. and R. Kiefer, 2000: Remote sensing and image interpretation, 4th ed. John Wiley and Sons Inc.

Lu D., P. Mausel, E. Brondizio, and E. Moran, 2004: Change detection techniques. *Int. J. Remote Sensing*, 25, 2365-2407.

Medio D. M., P. Pearson, and R. F. Ormond, 1997: Effect of briefings on rates of damage to corals by divers. *Biol. Conserv.*, 79, 91-95.

Moufaddal W. M. 2005: Use of satellite imagery as environmental impact assessment tool: A case study from the new Egyptian Red Sea coastal zone. *Environmental Monitoring and Assessment*, 107, 427-452.

Rashed T., J. R. Weeks, D. Stow and D. Fugate, 2005: Measuring temporal compositions of urban morphology through spectral mixture analysis: toward a soft approach to change analysis in crowded cities. *Int. J. of Remote Sensing*, 26, 699-718.

Richards J. A., 1999: Remote sensing digital image analysis. Springer-Verlag, Berlin.

Shair I. M. and A. H. Nasr, 1999: The use of satellite data to detect land-use change in Al Ain city, U.A.E. Egypt. *J. Remote Sensing & Space Sci.*, 2, 107-116.

Sunar F., 1998: An analysis of changes in a multi-date set: a case study in the Ikitelli area, Istanbul, Turkey. *Int. J. of Remote Sensing*, 19, 225-235.

Wilson E. H, J. D. Hurd, D. L. Civco, M. P. Prisloe and C. Arnold, 2003: Development of a geospatial model to quantify, describe and map urban growth. *Remote Sensing of Environment*, 86, 275-285.

Xiao J., Y. Shen, J. Ge, R. Tateishi, C. Tang, Y. Liang, and Z. Huang, 2006: Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 75, 69-80.

Yuan F., K. E. Sawaya, B. C. Loeffelholz, and M. E. Bauer, 2005: Land cover classification and change analysis of the twin cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 98, 317-328.

Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΟΡΕΙΝΗ ΖΑΚΥΝΘΟ

Μαρτίνης Α.¹, Χάρου Ε.^{1,2}, Στεφούλη Μ.^{1,3}, Μαρμαρινός Α.⁴

¹Τμήμα Οικολογίας και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Ιονίων Νήσων.

² Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών – ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος

³Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

⁴Ελληνικό Γυμνάσιο-Λύκειο Βρυξελλών

Περίληψη

Ο τουρισμός στην Ελλάδα, εδώ και πολλά χρόνια, είναι επικεντρωμένος στις παράλιες περιοχές, παρότι το 70% της έκτασης της χώρας είναι ορεινός και ημιορεινός φυσικός χώρος. Η ανάπτυξη του αειφόρου ορεινού τουρισμού ή του οικοτουρισμού θα μπορούσε να έχει θετικά αποτελέσματα σε πολλούς κοινωνικοοικονομικούς τομείς των περιοχών αυτών.

Οι παράλιες περιοχές της Ζακύνθου, στις οποίες τα τελευταία χρόνια είχαμε έντονη ανάπτυξη του μαζικού τουρισμού, θεωρούνται πλέον κορεσμένες με έντονα σημεία διατάραξης του κοινωνικοοικονομικού ιστού χωρίς τα αναμενόμενα ανταποδοτικά οφέλη, ενώ το φυσικό περιβάλλον υποβαθμίζεται συνεχώς και οι φυσικοί πόροι του νησιού εξαντλούνται.

Η προβολή και ανάδειξη της φυσικής και πολιτιστικής κληρονομιάς των ορεινών περιοχών μέσα από τον περιπατητικό τουρισμό θα μπορούσε να συμβάλει στην μείωση της τουριστικής πίεσης των παράκτιων περιοχών, οδηγώντας ένα μέρος των τουριστών προς τον ορεινό χώρο,

Στην εργασία αυτή περιγράφουμε τη μεθοδολογία για την λεπτομερειακή παραγωγή χαρτογραφικού υλικού για τις ορεινές περιοχές, με τα μονοπάτια, τις διαδρομές, τα σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος και κάθε άλλη πληροφορία χρήσιμη για τον ορεινό επισκέπτη.

Η μεθοδολογία είναι βασισμένη στις τεχνολογίες G.I.S, τηλεπισκόπησης και G.P.S και ασχολείται με την καταγραφή, τη χαρτογράφηση και το σήμανση των ορεινών μονοπατιών και των διαδρομών. Σε κάθε διαδρομή περιγράφεται επίσης ο τύπος του μονοπατιού, η δυσκολία για τον περιπατητή, η απαιτούμενη εμπειρία, η απόσταση, ο χρόνος, ο απαιτούμενος εξοπλισμός και ότι άλλο κρίνεται χρήσιμο.

Ένα εύχρηστο φυλλάδιο δημιουργείται επίσης και διανέμεται στους τουρίστες, καθώς και ένα CD-ROM με όλες τις σχετικές πληροφορίες, το οποίο κατανέμεται στις τοπικές αρχές και τα δημόσια τουριστικά γραφεία. Επίσης ο επισκέπτης θα μπορεί να βρει τις σχετικές πληροφορίες και στο Διαδίκτυο.

THE USE OF IT IN SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT OF ZAKYNTOS

A.Martinis¹, E. Charou^{1,2}, M. Stedefouli^{1,3}, A. Marmarinos⁴

¹Department of Ecology and Environment, TEI of Ionian Islands, Greece.

² Inst. Of Informatics and Telecommunications NCSR DEMOKRITOS, Greece.

³Institute of Geology and Mineral Exploration, Greece

⁴Hellenic High School of Brussels

Abstract

The tourism in Greece has for many years been focused on coastal areas although the

70% of the area of Greece is of mountainous or semi-mountainous nature. The development of sustainable mountainous tourism or eco tourism could have positive effects in many socioeconomic factors of these areas. A diversion of tourist pressure from coastal regions to mountain regions could be achieved by the promotion of mountainous natural and cultural heritage. In this work a methodology for the production of detailed cartographical material concerning the mountainous paths and routes is described. The methodology is based in GIS, Remote Sensing and GPS technologies and is focused on the recording, mapping and labelling of mountainous paths and routes. For each path a description of the type of the path, the terrain involved, experience needed, estimated time required and a classification of the paths according to the difficulty is attempted. An easy to use 3-page leaflet is also created and distributed to the tourists A CD-ROM with the relevant information is created and distributed to local authorities and Public Tourist Offices and over the Internet

Λέξεις κλειδιά: βιώσιμος τουρισμός, οικότουρισμός, G.I.S, τηλεπισκόπηση, G.P.S.

Keywords: sustainable tourism, ecotourism, GIS, Remote Sensing, GPS.

1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει διαμορφωθεί μια νέα μορφή ανάπτυξης και αξιοποίησης του ορεινού χώρου, αυτή της αειφορίας, η οποία αναγνωρίζει το δικαίωμα που έχει το άτομο για ένα υγιεινό και οικολογικά ισορροπημένο φυσικό περιβάλλον, όπου η ανάπτυξη συμβαδίζει με τη διατήρηση και προστασία του περιβάλλοντος. (Foo AH Fong, 1998)

Ο οικότουρισμός αποτελεί μια μορφή αειφόρου ανάπτυξης και αξιοποίησης του ορεινού χώρου και η διαφορά του από τον απλό τουρισμό έγκειται κυρίως στο στόχο του ο οποίος είναι η αναβάθμιση των τοπικών κοινοτήτων με παράλληλη προστασία του φυσικού και πολιτιστικού τους πλούτου. Στις οικότουριστικές δραστηριότητες όχι μόνο συνυπάρχουν οι έννοιες περιβάλλον, κοινωνική ζωή, πολιτιστική κληρονομιά και παράδοση, αλλά αποτελούν το βασικό μοχλό ανάπτυξης των τοπικών κοινοτήτων. (Κοκκώσης, και Τσάρτας, 2001).

Η ανάπτυξη ειδικών και εναλλακτικών μορφών τουρισμού στις ορεινές περιοχές, αποτελεί το κύριο στοιχείο ενός μοντέλου στηριζόμενο στην αρχή της πολυδραστηριότητας και μία πηγή εισοδήματος, κύρια ή δευτερεύουσα, για τους κατοίκους του ορεινού χώρου (Μαρτίνης, 2001).

Μια από τις δημοφιλέστερες δραστηριότητες που συνδέονται με τα βουνά είναι ο περπατητικός τουρισμός, μέσα από τα μονοπάτια και τις ορεινές διαδρομές.

Το περπάτημα σαν γενικότερη διαδικασία παρουσιάζει ενδιαφέρον από πλευράς ψυχογεωγραφίας καθώς η κίνηση μέσα στο χώρο, είναι ένας κώδικας, μία γλώσσα,, ένας διάλογος του ανθρώπου με το περιβάλλον (Amato, 2004) και επιδρά στα συναισθήματα, στο μυαλό και τον τρόπο σκέψης (περπατητική σχολή του Αριστοτέλη), στο σώμα (Vandevyvere, 2006). Έχει χαρακτηριστεί ως η γραμματική των ποδιών (Ingold, 2004). Με το τέλος του 19ου αιώνα είχε την μορφή του ρομαντικού περιπάτου ενώ αργότερα η περιπλάνηση (dérive) και η μεταστροφή (détournement) προτείνονται από τον Guy Debord για την ανατροπή των κοινωνικών συμβάσεων, της επικρατούσας πολιτικής αλλά και της κατάστασης της συνείδησης (Cargeri, 2005). Στη σύγχρονη κοινωνία το περπάτημα τείνει να συνδεθεί με συγκεκριμένο τρόπο ζωής (life style). Περπατάει κανείς όλο και λιγότερο από ανάγκη. Περπατάει κυρίως για άθληση και αναψυχή και λιγότερο για άλλους λόγους όπως ιδεολογικούς π.χ πολιτικές διαδηλώσεις και πορείες, πορείες ειρήνης, απεργιακές κινητοποιήσεις, παρελάσεις, ή για λόγους θρησκευτικούς π.χ. προσκυνήματα (via dolorosa) λιτανείες και τελετουργίες εντός και εκτός νών (Μαρμαρινός, 2004), σε τοπικές εθμικές τελετουργίες, περιαρώσεις, γκαινιάσματα, (Λαγόπουλος 2000), καρναβάλια βόλτες, περιπάτους και επισκέψεις σε πόλεις, πάρκα, μουσεία, εκθέσεις, τάρκες σε: ταβέρνες, μπουραρίες (pub-crawling) ή για ψώνια, (window shopping), σε εμπορικά κέντρα, λαϊκές

αγορές, ή παζάρια ανατολίτικα (suq) (Parsons, 2000) (Philips, 2005).

Η αξιοποίησή της διάθεσης και ανάγκης του σύγχρονου ανθρώπου για περπάτημα μπορεί να συμβάλει στην ανάδειξη του φυσικού και πολιτιστικού μας πλούτου καθώς θα έλξει νέους «τουρίστες», στον ορεινό χώρο, στα δάση και στους χώρους αναψυχής. Επισκέπτες, περιπατητές, πεζοπόρους και ορειβάτες οι οποίοι θα γνωρίσουν και θα χαρούν με σεβασμό τον ορεινό φυσικό και πολιτιστικό πλούτο της πατρίδας μας. (Μαρτίνης, 2003).

Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η ανάδειξη, βελτίωση και επαρκής σήμανση, του πυκνού δικτύου των μονοπατιών που διέσχίζουν επί αιώνες την ύπαιθρο και χρησιμοποιούνταν για τις μεταφορές και τη διακίνηση των ανθρώπων και των ζώων. Το δίκτυο των μονοπατιών ήταν πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με τους αμαξιτούς δρόμους, οι οποίοι διέσχίζαν τις πεδινές περιοχές ή περνούσαν από τους πρόποδες των ορεινών όγκων. Στην προσπάθεια ανάπτυξης του ορεινού τουρισμού, αυτό το εκτεταμένο δίκτυο, το οποίο έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί τις τελευταίες δεκαετίες, αποκτά ιδιαίτερη σημασία. (Κομίλης, 2001)

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης χαρτογράφησης αλλά και βαθμονόμησης των μονοπατιών με χρήση νέων τεχνολογιών που συμπεριλαμβάνουν τη συνδυαστική χρήση GPS, Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών αλλά και τεχνικών ανάλυσης δορυφορικών εικόνων.

2. Περιοχή μελέτης

Το Φυσικό περιβάλλον της Ζκύνθου παρουσιάζει διεθνές ενδιαφέρον λόγω της παρουσίας της θαλάσσιας χελώνας *Caretta-caretta*, η οποία αποτελεί είδος απειλούμενο με εξαφάνιση και προστατεύεται από τις διεθνείς συμβάσεις και από την ελληνική νομοθεσία. Οι νότιες παραλίες του νησιού οι οποίες αποτελούν χώρους ωστοκίας, έχουν κηρυχθεί ως προστατευόμενη περιοχή (Θαλάσσιο Πάρκο) και διαχειρίζεται από φορέα διαχείρισης εποπτευόμενο από το Υπουργείο Χωροταξίας και Περιβάλλοντος. Επίσης, στις απότομες δυτικές ακτές του νησιού αποτελούν βιότοπο της μεσογειακής φώκιας *Monachus-monachus*, ένα είδος που προστατεύεται επίσης από την ελληνική νομοθεσία (Martinis, 2003).

Ο τομέας του τουρισμού είναι από τις σημαντικότερες οικονομικές δραστηριότητες της τοπικής κοινωνίας ο οποίος όμως συγκεντρώνεται στις παραλίες. Το νησί προσφέρει επίσης ποικίλα πανέμορφα τοπία στην ενδοχώρα και στον ορεινό και ημιορεινό χώρο. Ο φυσικός και πολιτιστικός πλούτος με τις παραδοσιακές οικονομικές δραστηριότητες και τον ήπιο φυσικό, οικολογικό και αγροτικό τουρισμό, μπορούν με την κατάλληλη υποδομή να αποτελέσουν κινητήρια δύναμη αειφόρου ανάπτυξης και προόδου της περιοχής. (Richez, 1992, Cuveilier Gadrey et Torre, 1994). Η χαρτογράφηση και σήμανση των μονοπατιών της ορεινής και ημιορεινής Ζακύνθου είναι μια δραστηριότητα στην κατεύθυνση αυτή

3. Βαθμονόμηση μονοπατιών

Η βαθμονόμηση των μονοπατιών είναι μια υποκειμενική άσκηση που εξαρτάται από τα κριτήρια αξιολόγησης που έχουν τεθεί. Στη τρέχουσα εργασία χρησιμοποιούνται στοιχεία κριτηρίων που έχουν τεθεί στο Αγγλικό σύστημα βαθμονόμησης μονοπατιών go4awalk.com αλλά έχουν ενσωματωθεί και πρόσθετα έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες χαρτογράφησης των μονοπατιών της Ζακύνθου. (go4awalk.com and go4awalk.co.uk are registered trademarks of TMDH Limited).

Η βαθμονόμηση βασίζεται στον συνυπολογισμό της απόστασης και της κλίσης της διαδρομής που διανύεται – όπως επίσης και της ανάγκης για διαδοχικές στάσεις, για να θαυμάσει ο πεζοπόρος τη θέα και να ξεκουραστεί.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται είναι τα ακόλουθα:

1. Το ανάγλυφο της διαδρομής. Οι διαδρομές που γίνονται σε χαμηλό ανάγλυφο

θεωρούνται εύκολες ενώ αυτές που γίνονται σε «τραχύ» ανάγλυφο θεωρούνται δύσκολες.

2. Κάλυψη Υψομετρικών διαφορών της διαδρομής. Διαδρομή στην οποία απαιτείται η κάλυψη μεγάλης υψομετρικής διαφοράς διαβαθμίζεται σαν δύσκολη.

3. Ολική απόσταση διαδρομής. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μιας διαδρομής τόσο δυσκολότερη θεωρείται. Η κάλυψη μεγάλης διαδρομής έχει μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας.

4. Απαιτούμενος εξοπλισμός για την ασφαλή ολοκλήρωση της διαδρομής. Οι εύκολες διαδρομές συνήθως ολοκληρώνονται με ελάχιστο εξοπλισμό. Οποσδήποτε σε κάθε διαδρομή πρέπει να ελέγχεται ο εξοπλισμός για να καλύπτεται η ασφάλεια λαμβάνοντας υπόψη τις καιρικές συνθήκες και τη δυσκολία του μονοπατιού.

5. Ικανότητες πλοήγησης και χρήσης μέσων προσανατολισμού. Συνιστάται η χρήση ενός χάρτη, κατά προτίμηση σε κλίμακα 1:25.000 καθώς η δυνατότητα ανάγνωσης χάρτη μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις δύσκολου αναγλύφου και προβληματικών καιρικών συνθηκών.

6. Κάλυψη με βλάστηση. Η κάλυψη με βλάστηση παίζει ένα ρόλο στη βαθμονόμηση των μονοπατιών καθώς η διαδρομή μέσω ενός δάσους μπορεί να θεωρηθεί εύκολη γιατί γίνεται σε ιδιαίτερα ευχάριστες συνθήκες ιδιαίτερα κατά τους ζεστούς μήνες του καλοκαιριού.

Η βαθμονόμηση βασίζεται στην υπόθεση ότι η διαδρομή θα γίνει σε στοιχειωδώς καλές καιρικές συνθήκες. Μια δυνατή βροχή μπορεί να κάνει το πέρασμα από ποτάμια χειμάρους κτλ δύσκολο. Καταιγίδες θέτουν σε ιδιαίτερο κίνδυνο τους περιπατητές. Συνδυασμός αντίξων καιρικών συνθηκών μπορούν να θέσουν σε υψηλό κίνδυνο τους περιπατητές.

4. Δεδομένα και μεθοδολογία

Για την επίτευξη ποσοτικών δεικτών για το ανάγλυφο είναι απαραίτητη η χρήση εξειδικευμένης χαρτογραφικής πληροφορίας. Επίσης είναι πλέον διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες διαφορετικών τύπων που διαθέτουν διαφορετικές χωρικές πληροφορίες που είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για τη χαρτογράφηση των μονοπατιών. Τέλος τα Global Positioning Systems (GPS) αποτελούν ένα βασικό εργαλείο ικανό για την απόκτηση ψηφιακών συντεταγμένων και πληροφορίας για τα υψόμετρα οποιασδήποτε θέσης της Γης με τη χρήση συστήματος 24 δορυφόρων. Τα δεδομένα αυτά της θέσης και οι ιδιότητες της κάθε θέσης, μπορούν να εισαχθούν σ' ένα σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών για τη δημιουργία καταγραφής μιας διαδρομής, της ανάλυσης της και τη δημιουργία / διαχείριση μιας βάσης δεδομένων. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή έγινε συστηματική συλλογή δεδομένων με τη χρήση GPS. Τα συλλεχθέντα δεδομένα έχουν διορθωθεί και μετατραπεί σε ArcView.shp αρχεία και εισαχθεί στο ΓΣΠ σύστημα πληροφοριών.

Τα ΓΣΠ-GIS συνδυαζόμενα με τεχνικές μοντελοποίησης του αναγλύφου είναι η κατάλληλη προσέγγιση για την ανάλυση των χωρικών δεδομένων. Για τη συνδυαστική εφαρμογή Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, χαρτογράφησης με GPS, επεξεργασίας και ανάλυσης των δορυφορικών εικόνων καθώς και για την οπτικοποίηση των διαφορετικών τύπων δεδομένων, και την εφαρμογή διαφορετικού τύπου αναλύσεων και επερωτήσεων των χωρικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το TNTmips πακέτο λογισμικού

5. Ανάλυση δορυφορικής εικόνας

Τα δεδομένα των δορυφορικών εικόνων που έχουν χρησιμοποιηθεί στην μελέτη αναφέρονται σε εικόνες του Landsat 7 δορυφορικού συστήματος με ημερομηνία λήψης το καλοκαίρι του 2000.

Τεχνικές επεξεργασίας εικόνας έχουν εφαρμοσθεί για την ανάλυση της δορυφορικής εικόνας την γεωμετρική διόρθωση της, την μείωση του όγκου της πληροφορίας που

περιέχεται στην ανακλώμενη περιοχή του φάσματος, και την ταυτόχρονη συσχέτιση των διαφορετικής διακριτικότητας εικόνων. Η μίξη με το Παγχρωματικό δίδει βελτιωμένη ερμηνευτικότητα σε σχέση με τα διαφορετικά στοιχεία της εικόνας. Υπάρχει βελτίωση σε σχέση με την κλίμακα χαρτογράφησης και την χωρική διακριτικότητα με μικρό κόστος και άμεση αξιοποίησή της από το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφορίας. Οι δορυφορικές εικόνες δίδουν δυνατότητες όπως:

1. Δημιουργίας εποπτικής θέασης για τη περιοχή του μονοπατιού
2. Αποτύπωση της τρέχουσας κατάστασης που αφορά τη κάλυψη με βλάστηση / δρόμους /οδικό δίκτυο /οικισμούς..
3. Αναγνώριση γεωλογικών / γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών
4. Συνδυασμού με το ανάγλυφο και δημιουργία τρισδιάστατων απόψεων.

Το αποτέλεσμα της εργασίας δείχνει ότι τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης που έχουν χρησιμοποιηθεί μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην συμπλήρωση ή ενημέρωση χαρτών κλίμακας έως 1:50.000.

Με την αποστολή των νέων δορυφορικών συστημάτων οι ακρίβειες όσον αφορά τις κλίμακες έχουν βελτιωθούν σημαντικά και φθάνουν στο επίπεδο της εφαρμοσμένης έρευνας σε κλίμακες 1:5.000. Ο χρόνος που απαιτείται για την οριοθέτηση επιλεγμένων χαρακτηριστικών της διαδρομής του μονοπατιού και τον εντοπισμό θέσεων, διαφοροποιήσεων και αλλαγών π.χ. αλλαγών της κάλυψης γης, τον συνδυασμό με άλλα στοιχεία και την τελική ενημέρωση των χαρτών είναι ελάχιστος σε σχέση με αυτόν που απαιτείται με τη εφαρμογή κλασικών μεθόδων ανάλυσης.

6. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Κλειδί για τη πετυχημένη εφαρμογή της χαρτογράφησης με GPS αποτελεί ο χάρτης υποβάθρου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν χαρτογραφικά υπόβαθρα τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50.000 με λεπτομερή ψηφιοποίηση των διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας που περιλαμβάνει: Τις ισοϋψείς ανά 20 μέτρα, το υδρογραφικό δίκτυο, το οδικό δίκτυο, τις θέσεις οικισμών και τα οικιστικά πολύγωνα, τις απότομες αλλαγές του αναγλύφου, σημεία λήψης ύδατος (πηγές, πηγάδια), τριγωνομετρικά σημεία, όρια δημοτικών διαμερισμάτων κτλ Τα δεδομένα έχουν αποδοθεί στο Ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του 1987. Απο τις ψηφιοποιημένες ισοϋψείς δημιουργήθηκε το ψηφιακό ανάγλυφο εδάφους σε κλίμακα 20 μέτρων και επιπρόσθετα έγινε ο υπολογισμός των επιπέδων σκίασης και κλίσεων /προσανατολισμού κλιτύων για όλη τη Ζάκυνθο, που αναφέρονται στο μέγεθος και τη διεύθυνση αντίστοιχα της μέγιστης κλίσης προς τα κατάντι με βάση τα οποία συνυπολογίζεται ο βαθμός δυσκολίας της διαδρομής.

Η κάλυψη με βλάστηση επίσης αποτελεί σημαντικό στοιχείο για τον περιπατητή, αφού είναι δυνατόν να τον επηρεάσει στην επιλογή του μονοπατιού που θα περπατήσει και έτσι έχει ενσωματωθεί η λεπτομερής ανάλυση χαρτών που δείχνουν την κάλυψη με βλάστηση. Η δημιουργία θεματικών χαρτών είναι ιδιαίτερα σημαντική αφού από την αρχή ο πεζοπόρος θα ξέρει τα χαρακτηριστικά της περιοχής που θα διασχίσει. Τα διαφορετικά χρώματα των χαρτών απεικονίζουν τους τύπους βλάστησης...

Η χρήση των δημιουργημένων χαρτών με τα χωρικά δεδομένα επιτρέπει την εφαρμογή διαφορετικών λειτουργιών όπως:

1. Τη εύρεση ιδιοτήτων οποιουδήποτε χαρτογραφημένου χαρακτηριστικού.
2. Την επιλογή δεδομένων σύμφωνα με τις ιδιότητες τους

3. Την επιλογή χαρακτηριστικών με βάση τη γειτνίαση τους με άλλα χαρακτηριστικά
4. Τη εύρεση ειδικών χαρακτηριστικών ενδιαφέροντος
5. Την ομαδοποίηση και δημιουργία στατιστικών από τις χαρτογραφημένες ιδιότητες
6. Τη δημιουργία χαρτών /αφισών και την εκτύπωση τους

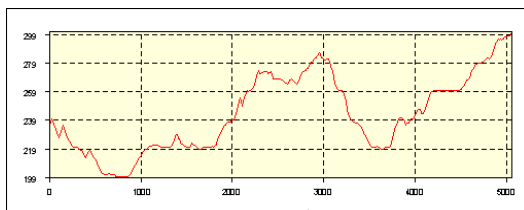
Ο πεζοπόρος έχει ήδη αποκτήσει μια πολύ καλή άποψη της περιοχής που θα επισκεφθεί!

7. Ανάλυση Διαδρομών

Για κάθε διαδρομή δίδονται ορισμένα βασικά στοιχεία που είναι τα ακόλουθα:

✓ **Χάρτης αναγλύφου** στον οποίο χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα σύμβολα για την απεικόνιση των σημείων ενδιαφέροντος αλλά και των στοιχείων χαρτογραφικού υποβάθρου.

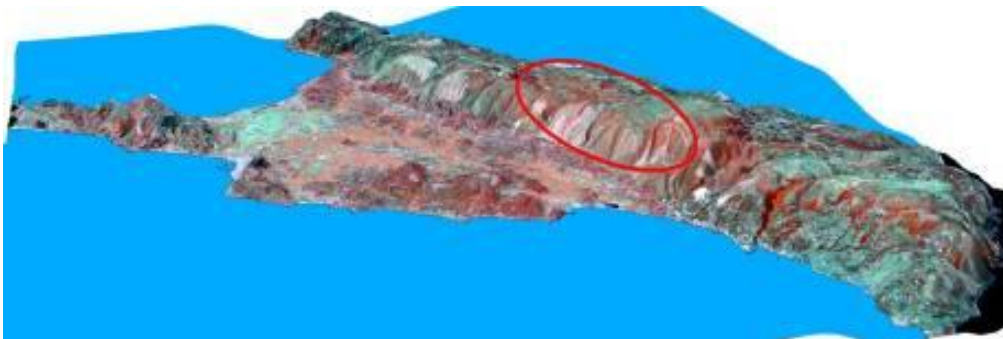
✓ **Σχέδιο κάτοψης / διατομής – προφίλ διαδρομής.** Το σχέδιο κάτοψης δίνει μια πρώτη ένδειξη του αριθμού των αναβάσεων / καταβάσεων που ο περιπατητής θα συναντήσει στη διαδρομή του. Στη οριζόντια στήλη δίδεται η απόσταση ενώ στη κατακόρυφη το υψόμετρο από την αρχή της διαδρομής μέχρι το τέλος. Σε μια δεύτερη απεικόνιση εσωματώνεται θεματική πληροφορία που αφορά τη κάλυψη με βλάστηση. Η απεικόνιση σε τομή δίνει τη δυνατότητα ο αναβάτης να έχει τη συνδυαστική άποψη του αναγλύφου / κλίσεων / μήκους της διαδρομής αλλά και θεματικής πληροφορίας που στη συγκεκριμένη περίπτωση αναφέρεται στη βλάστηση δηλαδή δασωμένες εκτάσεις / θαμνώδεις ή γυμνές εκτάσεις που θα διασχίσει. (Σχήμα 1)



Σχήμα 1. Σχέδιο κάτοψης / διατομής – προφίλ διαδρομής (Βολίμαι – Φάρος)

✓ **Χρονομέτρηση διαδρομής μονοπατιού.** Είναι μια ένδειξη του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαδρομής. Βασίζεται στη κάλυψη της απόστασης της περιοχής της ανάβασης που απαιτείται όπως και των στάσεων που μπορούν να γίνουν για να θαυμάσει κανένας τη θέα και να ξεκουραστεί για λίγο. Για κάθε ώρα υπολογίζεται η κάλυψη 4.5 χιλιομέτρων σε επίπεδο ανάγλυφο και προστίθεται ακόμη μιά ώρα για κάθε 300 μέτρα ανάβασης (στα οποία συνήθως χρειάζεται να σταματήσει κανένας για να θαυμάσει τη θέα). Αυτό σημαίνει ότι για 9 χιλιόμετρα διαδρομής με ανάβαση 450 μέτρων υπολογίζεται σαν χρόνος διαδρομής οι 3.5 ώρες (9 χλμ=2 ώρες +450 μέτρα ανάβασης = 1.5 ώρες). Στον υπολογισμό αυτό δεν συμπεριλαμβάνονται οι ιδιαιτερότητες ή οι δυσκολίες του αναγλύφου που όμως αναφέρονται στο κείμενο. Οπωσδήποτε το θέμα της χρονομέτρησης εξαρτάται άμεσα από τη φυσική κατάσταση και τις ικανότητες του κάθε ατόμου και έτσι ο υπολογισμός που έχει γίνει είναι μόνο ένας οδηγός της προτεινόμενης διαδρομής.

✓ **Οπτικοποίηση με χρήση δορυφορικής εικόνας.** Οι δορυφορικές εικόνες δίνουν διάφορες πληροφορίες σε σχέση με τη διαδρομή του μονοπατιού. Επιπλέον είναι δυνατή η δημιουργία τρισδιάστατων απεικονίσεων που δίνουν μιά εποπτική απεικόνιση της διαδρομής που θα ακολουθήσει ο περιπατητής. Στο επόμενο σχήμα δίδεται μία τέτοια απεικόνιση. (Σχήμα 2)



Σχήμα 2. Τρισδιάστατη απεικόνιση της επεξεργασμένης δορυφορικής εικόνας. Ο περιπατητής αποκτά μια καλή εικόνα της περιοχής που θα περπατήσει και του αναγλύφου της αφού είναι δυνατός ο εντοπισμός της θέσης, των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών και της κάλυψης με βλάστηση. Τα κόκκινα χρώματα δείχνουν περιοχές στις οποίες υπάρχει βλάστηση.

8. Οι περιπατητικές Διαδρομές

Στη συγκεκριμένη εργασία επιλέξαμε έξι (6) διαδρομές, έτσι ώστε να καλύπτονται αντιπροσωπευτικά όλες οι ορεινές περιοχές του νησιού. Οι διαδρομές είναι:

- Διαδρομή 1: Εξωχώρα – Ζήζου – Καμπί. Ξεκινάει από το χωριό Εξωχώρα και οδηγεί στη θέση Ζήζου και στις δυτικές απότομες πλευρές του νησιού, μέσα από πλούσια εναλλασσόμενα μεσογειακά οικοσυστήματα. Καταλήγει στο Καμπί. (Σχήμα 2)
- Διαδρομή 2: Κοιλιωμένος – Υπεράγαθος – Λούχα. Η διαδρομή οδηγεί στην «καρδιά» της ορεινής Ζακύνθου, στα καταπράσινα παραδοσιακά χωριά. Από Λούχα, προς Υπεράγαθο η διαδρομή περνάει από το οροπέδιο με τους υπέροχους αμπελώνες. Κοντά στη Λούχα συναντά τα «πέτρινα πηγάδια». Αποτελούν στοιχείο της πολιτιστικής κληρονομιάς της ορεινής Ζακύνθου, δεμένα αναπόσπαστα με τις δραστηριότητες του ορεινού πληθυσμού της νήσου. (Σχήμα 2)
- Διαδρομή 3: Βολίμες – Φάρος. Ο πεζοπόρος - επισκέπτης έχει την μοναδική ευκαιρία να διασχίσει ένα «εκπαιδευτικό βοτανικό μονοπάτι», και να γνωρίσει όλα τα αντιπροσωπευτικά είδη της θερμομεσογειακής βλάστησης και παράλληλα να απολαύσει την υπέροχη θέα προς το Ιόνιο πέλαγος.
- Διαδρομή 4: Από Μονή Ιωάννου Προδρόμου προς Ποταμάκι και Ξύγκια. Η φυσική ομορφιά με την υπέροχη θέα προς τα ανατολικά από τη μία και τα ιδιαίτερα γεωμορφολογικά φαινόμενα από την άλλη, σπήλαια και πηγές απ' όπου αναβλύζουν παγωμένα θειούχα νερά από τα έγκατα της γης, προκαλούν ένα ξεχωριστό δέος που αξίζει να βιώσει ο επισκέπτης.
- Διαδρομή 5: Αργάσι – Σκοπός – Παραλίες Βασιλικού. Πρόκειται για μια σημαντική η οποία ξεκινάει από το Αργάσι, από το πέτρινο γεφύρι που βρίσκεται στον κεντρικό δρόμο από Αργάσι προς Βασιλικό και οδηγεί στην κορυφή του Σκοπού. Στην κορυφή, μετά από διαδρομή τεσσάρων χιλιομέτρων και σε υψόμετρο 499 μέτρων βρίσκεται το μοναστήρι της Παναγίας της Σκοπιώτισσας, εκεί όπου υπήρχε το ιερό της Αρτέμιδος. Οι κρόκοι και τα κυκλάμινα στολίζουν τους βράχους και η θέα είναι υπέροχη προς τις πανέμορφες παραλίες της νότιας Ζακύνθου και το θαλάσσιο Πάρκο.
- Διαδρομή 6: Πέντε (5) χιλιόμετρα από τη Λίμνη Κερίου, σε καταπράσινο μεσογειακό τοπίο, μέσα στην αρμονία, βρίσκεται ο οικισμός του Κερίου. Τα πέτρινα και στενά σοκάκια θυμίζουν την παλιά Ζάκυνθο...



Σχήμα 2. Χάρτες στους οποίους απεικονίζονται οι πεζοπορικές διαδρομές, η βλάστηση και σημαντικές πληροφορίες για τον πεζοπόρο.

9. Συμπεράσματα

Από το πρόγραμμα έχουν προκύψει πολλά χρήσιμα στοιχεία που δημοσιεύονται στην παρούσα εργασία και σε ηλεκτρονική μορφή. Δημιουργείται επίσης μια σημαντική βάση δεδομένων ώστε οι τοπικές αρχές να μπορούν να αναβαθμίσουν μελλοντικά με νέες πληροφορίες τις διαδρομές και τα μονοπάτια. Στη βάση δεδομένων υπάρχουν σε ψηφιακή μορφή πολλές πληροφορίες για όλη το νησί της Ζακύνθου. Εκτυπώθηκε χάρτης για όλη την περιοχή συνολικά και ξεχωριστά για κάθε μονοπάτι με εξειδικευμένες πληροφορίες για τους ορεινούς επισκέπτες – περιπατητές. Δημιουργήθηκε επίσης ένα εύχρηστο φυλλάδιο για κάθε μονοπάτι (στα ελληνικά και αγγλικά), το οποίο διανέμεται στις τοπικές αρχές και τα γραφεία τουρισμού για την ενημέρωση των επισκεπτών και περιπατητών της ορεινής Ζακύνθου.

Όλα τα στοιχεία θα παρουσιαστούν σε μορφή ενός ενημερωτικού άτλαντα που έπειτα θα διανεμηθεί υπό μορφή CD και θα εισαχθούν στο διαδίκτυο, στην ιστοσελίδα του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Ιονίων Νήσων. Οι ενέργειες αυτές πιστεύεται θα βοηθήσουν στην ανάπτυξη εναλλακτικών μορφών τουρισμού και οικοτουρισμού στις ορεινές περιοχές της Ζακύνθου που μπορούν να ανακάμψουν και να αναζωογονηθούν οικονομικά, στηριζόμενες στο Φυσικό και πολιτιστικό τους «Κεφάλαιο». Οι περιπατητικές διαδρομές συμβάλλουν προς την κατεύθυνση αυτή και με τη βοήθεια της υπάρχουσας πλέον υποδομής θα αναδειχθεί ο σημαντικός φυσικός και πολιτιστικός τους πλούτος, ο οποίος θα αποτελέσει και κύριο μοχλό αειφόρου ανάπτυξης, με την τοπική κοινωνία εγγυητή της προστασίας του και τους φορείς αρωγούς στην προσπάθεια για ποιοτική αναβάθμιση.

Ευχαριστίες

Αυτή η εργασία χρηματοδοτήθηκε από το πρόγραμμα του LEADER+ σε συνεργασία με την Συνεταιριστική Αυτοδιοίκηση Ζακύνθου (ΣΑΖ) για την Χαρτογράφηση και Σήμανση των ορεινών διαδρομών της Ζακύνθου. Η επεξεργασία των δεδομένων και η δημιουργία των χαρτών έγινε στην «Ατλας Μελετητική ΕΠΕ».

Βιβλιογραφία

Κοκκώσης, Χ. και Τσάρτας, Π. (2001), Βιώσιμη Τουριστική Ανάπτυξη και Περιβάλλον, Αθήνα : Εκδόσεις Κριτική.

Κομίλης, Π. (2001), Οικοτουρισμός, Η εναλλακτική προοπτική αειφόρου τουριστικής

ανάπτυξης, Αθήνα: Εκδόσεις Προπομπός.

Λαγόπουλος Α.Φ. (2000), Τελετουργίες καθαγίασης του ελληνικού παραδοσιακού οικισμού, Εθνολογία, τομ.6-7, Αθήνα σελ 61-92

Μαρμαρινός Α. (2004) Ο Ιερός Χώρος στην πόλη», Διδακτορική διατριβή, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ

Μαρτίνης, Α. (2001), Διδακτορική Διατριβή, Διαχείριση, προστασία και χωροταξική οργάνωση των ορεινών περιοχών, η περίπτωση του Παρνασσού ένα όρος εθνικός δρυμός, Université Paul Valery

Μαρτίνης, Α (2003), Η Ορεινή Ζάκυνθος Κεφάλαιο Αναξιοποίητο, Διεπιστημονικό Συνέδριο, Ματασεισμική Ζάκυνθος, Οικονομία, Αρχιτεκτονική, Περιβάλλον της Εταιρείας Πλατύφορος, σελ. 147 – 167.

Amato. Joseph A. 2004, On Foot: A History of Walking, New York: New York University Press.

Careri, Francesco 2005 (2002), Walkscapes: Walking as an aesthetic practice, Land & Scape Series, Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Clarke, K., (2001), Getting Started with Geographic Information Systems. Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall,

DeMers, M. N. (2000), Fundamentals of Geographic Information Systems (2nd edition).: John Wiley & Sons, New York

Foo Ah Fong, (1998), Sustainable development as a strategy to protect the environment: The case of the city- state of Singapore, proceedings of an international conference: Protection and restoration of the environment IV, Sani, Jyli, Halkidiki, Greece volumell, p.879-886, 1998, Thessaloniki.

Ingold, Tim (2004), Culture on the ground: the world perceived through the feet, Journal of Material Culture, vol. 9(3):315-340.

Parsons, Deborah L. 2000, Streetwalking The Metropolis : Women, the City and Modernity, Oxford: Oxford University Press.

Philips, Andrea (2005), Cultural Geographies in Practice: Walking and looking, Cultural Geographies, 12:507-513.

Richez, G. (1992), *Parcs nationaux et tourisme en Europe*, 1992, Paris, l'Harmattan,

Tomlin D.C., (1991), Cartographic Modelling» in Maguire J. D. et al (eds.) Geographical Information Systems: Principles and Applications. London, Longman, Vol.1, pp. 361-374,

Vandevyvere, Andy, Daems, Amelie and Clette, Veronique 2006, "Walking through the city: from Practice to Method", in Making Sense in the City, A Prior Magazine - Extra Issue 01, Ghent.

http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html

FORESIGHT IN EUROPEAN SPACE AND GEOSPATIAL POLICIES: REPERCUSSIONS FOR THE GEOPOLITICAL SECURITY OF EUROPE

Papadimitriou F.

*Mailing address: 13^ο Aedonon street, Athens 11475, Greece. Tel. 0030-210-6445825, 8045265,
E-mail: geotopia@yahoo.fr, fivosgeo@mailbox.gr,*

Abstract

The decision of the European Space Agency to create its own Global Navigational Satellite System, the recent advances in space made by other space powers, notably the U.S.A., China and Russia, all prompt for a re-evaluation of Organisation for Economic Cooperation and Development's geopolitical scenarios for the Space Sector, which were drafted three years ago. The aim of this study is to provide answers to questions such as the following: What is the validity of this O.E.C.D. study today? Which ones of these scenarios and how would they change in view of the post- 2005 geopolitical changes in Europe and Asia? How and in what ways do these changes affect the Geopolitics of the European Union countries? Should the European Agencies set geostrategic goals? How should the E.U. (the ESA in particular) best respond to the growing geopolitical challenges? The method followed to provide answers to these questions is a critical re-evaluation of the OECD's geopolitical scenarios for the space Sector, by taking into account publications of the relevant space Agencies, along with assessments of possible impacts of Space Policies on certain geopolitical parameters affecting the civil and military security of the European countries. Among the results of this study are: a) A re-consideration of the OECD scenarios, b) The identification of four key areas of intervention for the European Space Policy to draft recommendations for the relevant European Agencies, in Technical-Institutional, Informational-Managerial, Institutional-Geopolitical, Geostrategic-Geopolitical fields and c) The creation of three scenarios for possible future developments of the European Space Policy. Following scenario A, named «Geo-Spatial Superpower», the European Space Policy attains global dominance in civilian space technologies. In scenario B, named «Geo-Political Custodian», the European Space Policies follow well behind the other major players, with unavoidable geostrategic downgrading of Europe. In scenario C, termed the «Geo-Strategic Pivot», the European Space Policies shift from civilian to military space technologies. It is concluded that scenario A at present appears more probable, although temporary shifts from one scenario to another may occasionally occur.

Key words: Space Policies, Geopolitics, Europe, Foresight

1. Introduction

Although it does not exist as an autonomous directory for policy-making, the European Space Policy (ESP) is mainly implemented by the European Space Agency (E.S.A.). Collateral to the work of the E.S.A., appear various ESP-related consortia, systems and societies, such as the Space Applications Institute at Ispra, the European Space Technology Master Plan and the European Cooperation for Space Standardisation (E.C.S.S.). Aside of these, the national Space Agencies of E.U. countries play rather minor roles compared to E.S.A., with the exception of the French C.N.E.S. (Centre National d' Etudes Spatiales).

These institutions however, albeit powerful, are now at the crossroads of either becoming even more influential, or gradually face unavoidable reductions in their importance, in view of the re-emergence of Russia, the rise of China and the growing turnover of the Japanese and Indian Space Agencies. The launching of the European

G.N.S.S. Galileo has been received with much hope as a basic constituent of the ESP, despite the fact that frictions with the agencies interested in continuing the supremacy of the American GNSS were expected right from the beginning of the project.

The opportunities, threats and challenges to the ESP were scrutinized in two landmark reports (O.E.C.D., 2004 and O.E.C.D., 2005). The Organisation for Economic Cooperation and Development (O.E.C.D.) had suggested three basic scenarios for the Space Sector: «smooth sailing», «back to the future» and «stormy weather». These were complemented by another nine scenarios: three geopolitical, three socio-economic (Globalisation, Regionalisation, Crisis), along with three scenarios related to energy-and-environment: «Dynamic but careless», «Bright skies», «Clean but not sparkling». All these scenarios are related to the geopolitical security of the European space, although the O.E.C.D. report did not proceed to establishing such correlations. Further, the O.E.C.D. has not produced Space Policy scenarios specific for the E.U. countries.

Yet, the geopolitical repercussions of unsettling relationships among space agencies are obvious. Consider, for instance, the inequalities among the E.U. countries participating in the ESP. Could the fact that a single European country, France, provides more than half of the total number of employees of all E.S.A. countries in E.S.A.'s most successful missile project (Ariane 5) perplex the already tricky politics of ESPs?

The European «Arianespace» is now a world leader in commercial satellite launching (followed by Russian agencies with significant difference). But, despite E.S.A.'s well known competition by American companies (Lockheed and Boeing notably), it is estimated that Russian companies will remain the most serious competitors of E.S.A.'s chief contractor, «EADS Astrium» (Le Figaro, 2007) in the near future. For instance, the launching of new Russian carriers, such as «Angara», is expected to reduce prices significantly.

Should the ESP stick to its «soft» approach to space technologies, which heavily relies on commercialisation of space products (Peeters,2000, Peeters,2002) and give emphasis on sound spending (Gaubert, 2002)? Or should it shift to security and defence policies as other researchers suggest (Kolvos, 2002)? Whatever the case may be, the literature (Salin, 2001) suggests, that the interplay between militarization and finance is the cornerstone of space business.

Thus, a series of questions arise: How should the ESP best respond to the oncoming challenges imposed by commercial and geostrategic competition? And what are the geopolitical repercussions of its possible responses? How could these challenges be met on the basis of O.E.C.D.'s Space Policy scenarios? What are the geostrategic challenges associated to the ESPs?

To these questions this paper aims at providing possible answers.

2. Data and Methods

The method followed to derive possible answers to such questions consists in three steps a) Making a critical re-consideration of the O.E.C.D.'s space sector and geopolitical scenarios. This task is carried out by taking into account other publications, along with assessments of possible impacts of space policies on certain geopolitical parameters affecting the civil and military security of the European countries), b) Identifying the key areas of intervention of ESP and c) Forming scenarios for future ESP.

The O.E.C.D. has created some geopolitical scenarios for the space sector (O.E.C.D.,2004, O.E.C.D.,2005), with time horizon the year 2030. Following the first scenario, titled «Beggars thy neighbour», growth for space research and space applications is inhibited by severe social and environmental stresses on countries and populations, so space research remains the benefit of a few privileged countries only, much as it is now. The

second scenario, named «Ad astra», foresees increasingly multilateral approaches to world growth, high level of technological innovation, development of alternative energy resources and the rise of India and China. The third scenario, named «Rising Eastern Star» is envisaging a strengthened China at the expense of the U.S.A., which, in turn, results in a fostering of U.S.-E.U. (and, possibly U.S.-India) alliances to counter China's influence.

An elaboration of these scenarios in view of the recent (post-2005) developments on the international geopolitical check board will shape the framework in which ESP should and might range today. Hence, recommendations will be made here on how the ESP should develop in the future. Consequently, scenarios will be drafted to show how it might develop.

3. Results

3.1. Elaboration of the O.E.C.D. scenarios for the ESP specifically for the E.U. and for the post-2005 period

As relates to the O.E.C.D. scenarios, the following observations can be made, which necessarily prompt for amendments to the basic O.E.C.D. scenarios:

- As for the United States, the establishment of the U.S. Geo-Spatial Intelligence Agency (with its very appropriate logo «We own the night») announces the implementation of remote sensing technologies hitherto unmatched by any other country or even group of countries. These developments (as well as those relating to ABL weapons) are not covered by the O.E.C.D. report. Both these observations point to the fact that the dominance of the U.S. in space affairs should by no means be underestimated in drafting recommendations and scenarios for the ESP.

- As concerns Russia, the recent (2006) successful tests of very long range missiles, reputedly capable of penetrating all known Antiballistic Missile Defences, in tandem with its enhanced space-based weapons, initiate a new era in geostrategic affairs. This is because the situation is now different than a few years ago, when the strategic space forces of that country were collapsing amid corruption and negligence as reported a few years earlier (Cimbala, 2001). This country, whose nuclear arsenal remains the world's largest (probably the best equipped also), re-emerges in world affairs with a fresh vigour since late 2005 and has been vastly under-estimated in the O.E.C.D. geopolitical scenarios.

- Although containing China's recent (in the year 2006) achievements in the space sector, reading carefully the supporting documentation to O.E.C.D.'s well-founded scenarios, it can be observed that these scenarios do not adequately consider, neither the far-reaching repercussions of U.S. military supremacy in space, nor Russia's (sooner than predicted) geostrategic advance to superpower status. It is interesting to notice however, that all three O.E.C.D. geopolitical scenarios for future Space Policies define future geostrategic balance only between the U.S.A. and China. This (outdated by now) approach diminishes the ever-increasing importance of the Europe and Russia in the Space Sectors.

The insecurity imposed by the deployment of advanced U.S. and Russian weapons systems may well end up with a new arms race, or even space race between the two countries. Concerns are legitimate, that a significant part of this race may fall upon the shoulders of governments of E.U. countries to accommodate. This has happened in the past and lasted as many as 45 years. Despite the fact that the 1967 Outer Space Treaty prohibits it, it seems sad but true that space weaponization is inevitable (Hardesty, 2002). Besides, the deployment of ASAT (Anti-Satellite) weapons (either ground-based, or space-based) presents a threat to space-based applications for civilian purposes (such as those, that the E.S.A. is pursuing) more than initially anticipated. China's recent ASAT test (in 2007) was perceived as a threat to many, as it makes a race to weaponise space more likely, despite the fact that such tests have been virtually abandoned by both Americans and

Russians at least twenty years ago (The Economist, 2007, Newsweek, 2007a). Further, given the proliferation of micro-satellites (weighting less than 100 kg), it is virtually impossible to verify the absence or presence of weapons in space (Newsweek, 2007a), until the time that they will be used.

Hence, a question rises as to how the ESP should respond to these challenges. Surely, any re-evaluation of the ESP can not only be geopolitical, but it would need to address technical, institutional, geostrategic, as well as managerial aspects of the ESP. Each one of these aspects will be examined hereafter.

3.2. Identification of Key-areas of concern or intervention for future ESPs

3.2.1. Technical - Institutional aspects

Certain steps towards increasing systems inter-operability may have a disproportionately significant impact on the overall geopolitical situation and the reverse: increased systems inter-operability may come out as a result from reduced geopolitical tensions. This is a fact that the ESP might seek to exploit in all possible manners. To date, we may notice the possibility for use of both G.P.S. and GLO.NA.S.S. in certain countries (i.e. Bulgaria) for civilian purposes, as well the availability in the market of G.N.S.S.-receivers capable of receiving both G.P.S. and GLO.NA.S.S. signals simultaneously. It can therefore be anticipated that future systems will allow triple receiving, including GALILEO. In this respect, the joint efforts of the American Institute of Aeronautics and Astronautics (A.I.A.A.) and the European Cooperation for Space Standardisation (E.C.S.S.) can be very useful. These institutions might work together with the Technical Committee TC20 of the I.S.O. (the International Standardisation Organisation) and the Consultative Committee for Space Data Systems (C.C.S.D.S.) with the aim of achieving global interoperability of space vehicles and systems.

The C.C.S.D.S. acts as the principal technical advisor for I.S.O.'s TC20 (Subcommittee 13) and its recommendations are in fact endorsed by the I.S.O. To date, more than 300 space missions have been carried out with C.C.S.D.S. protocols and the C.C.S.D.S. has succeeded in establishing a working and fully functional international forum for discussing and solving technical interoperability problems for space missions, involving more than 25 countries and in partnership with more than 100 commercial associates.

If the E.U. continues to aim at developing in non-militarised ways, the C.C.S.D.S. appears particularly suited as a field in which the ESP may pursue several of its aims peacefully and successfully. A more active participation of the ESPs in the C.C.S.D.S. process will thus further augment their leverage in international space-policy making.

3.2.2. Information-Managerial aspects

A major part of ESP should be devoted to raising public awareness and appreciation of space activities, by fostering not only the purely research-related scientific activities, but also infrastructures for the public benefit, particularly of disadvantaged social groups or regions. Consider, for instance, that the French postal services provide satellite-based communication kiosques at various villages of the country. An even more effective action in **raising public support for space activities could be India's EduSat, this being the first satellite worldwide fully dedicated to delivering education.**

3.2.3. Institutional-Geopolitical aspects

Institutional partnerships between the ESA and other countries may well develop into the establishment of an International Space Agency, following the model of E.S.A.. In fact, for this to become a reality, probably one of the first problems to be accommodated will be the interoperability of G.N.S.S.s. In this context, the European EGNOS should be seen as an important step in this direction, since it is intended to augment both the American G.P.S.

and the Russian GLO.NA.S.S. systems.

3.2.4. Geostrategic-Geopolitical aspects

To date, there is no foreseeable European military alliance as such, since most E.U. members are N.A.T.O. members also. Whilst third countries have already made advances in developing various ASAT (anti-satellite) weapons (the U.S. and Russia since the 1980s and China last year), the capability of the E.U. for ASAT systems remains negligible. It can be conjectured that this deficit will either force the E.U. to develop its own ASAT systems in the future (which, at present, seems rather unlikely, at least for the E.U. as a whole), or make **the E.U. countries' governments to over-invest** on civilian use of satellite technologies. The latter option will result in the E.U. to emerge as the prominent commercial and non-militarised pole in the space sector. The decision to develop (or not) its own military **capability in space will greatly influence E.U.'s geopolitical future.**

The competition in the international space-related strategic environment becomes increasingly fierce, whereby the number of countries that aspire to increase their space-based military capabilities is on the rise. Further, the U.S.A. have laid plans to develop a fully enabled, space-based, pre-emptive strike system by 2015 and continue being the **world's leading** military spender. However, a report of the Joint Doctrine and Concept Centre of the British Military of Defence (J.D.C.C., 2003) shows that whilst the biggest E.U. military spender now (France) ranks only 5th worldwide, the E.U. as a whole will have become the **world's second military spender by the year 2030.**

3.3. Foresight and scenarios for ESP

Given the O.E.C.D.'s scenarios for Space Policies and their re-evaluation in view of the four parameters explained above, the following scenarios can be shaped for the European Space Policies and their geopolitical repercussions for the E.U. countries.

Scenario A. "Geo-Spatial Superpower"

Following this scenario, the ESPs give such a clear prevalence on civilian and commercial use of space technologies that the **E.U. develops into what we might term as «Commercial Geo-Spatial Superpower»:**

Most countries (including the U.S.A., to a certain extent), will rely on European commercial satellites for their civilian uses (telemedicine, distance learning, e-commerce, earth observation/environmental monitoring etc). This success will be based on the continuing high appreciation that the European launching systems already enjoy worldwide. Hence, even smaller and less wealthy European countries will decide to increase part of their budgets to space technology investments under European schemes, thus further reinforcing the space economy of the E.U.

The rise of Europe as a provider of peaceful space technology fits squarely with its **international profile as the world's major economic powerhouse.** The rise of Europe as a Geo-Spatial Superpower however, may necessitate the establishment of successful partnerships with public and private aerospace companies from other countries.

The **endurance of E.U.'s status as a Geo-Spatial Superpower** is conditioned on: a) the E.U. countries' ability to converge in the long run (politically, economically, socially and technologically), b) the adoption of carefully designed policies by the relevant bodies (such as the ESA) and c) the maintenance of a peaceful world at global scale.

Scenario B. "Geo-Political Custodian"

Under this scenario, the ESP participates in various international cooperation schemes in the space sector, but keeps lagging behind other major players in terms of technology, economy and geostrategic power. Should the ESP in its entirety fail to compete successfully with other countries both technologically and economically, it would have virtually no geostrategic component of its own and would only be financially viable, if it established opportunistic cooperations within consortia of companies and non-European national space agencies.

In this case, ESP would mainly focus on civilian applications and, at times, it might be difficult to discern common ends among the varying baskets of the European countries' nationalised space policies.

Such a scenario may realise as a result of E.U.'s protracted inadequacy to withstand geoeconomic and geostrategic pressures imposed by other countries (or, at some later stage, by groups of countries), resulting with Europe as a geopolitical laggard in both civil and military space technologies. In this respect, the E.U. as whole (or each one European country separately) will inevitably associate themselves with non-European space powers, of which they will become simply followers (custodians).

Scenario C. "Geo-Strategic Pivot"

Under this scenario, the E.U. countries may develop political, technological and financial mechanisms to foster a geostrategically independent space policy, under the auspices of an overall (dual purpose: civil and military) ESP.

Such a development may either result from a possible prolonged failure of the NATO to fulfil its obligations to protect its E.U. country-members against an external threat or from a failure of the global geostrategic balance. Such failures may force initially one or two European countries (subsequently followed by other countries), to take lead and shape a dynamic military-and-civil ESP. Such a re-arrangement of the global system may, for whatever reason, appear if, for instance, the U.S.A. or Russia failed to keep up their geostrategic prevalence over Europe, thus leaving free room for Europe to play a pivot role within the greatest part of the continent.

In such a case, European countries will increase dramatically their financial contributions to the space sector, whilst giving priority to military space technologies. In fact, such a development could as well end up with the reverse: enhancing the European civilian space sector rather than its military. This is because the E.U., as a whole, may seem to remain far from potent enough to compete militarily with the ever more powerful U.S.A. and an always (disproportionately to the E.U.) powerful Russia.

4. Discussion

The OECD had developed scenarios for global space policy, but not for European Space Policy (ESP). **None of OECD's scenarios is fit to describe the ESP in the post-2005 geopolitical environment, which is marked (among other developments) by the steadily rise of Europe as the world's most successful economic block, the recuperation of Russia and the development of ASAT capabilities by China.**

For this reason, a re-consideration was necessary, which has identified certain parameters that could be taken into account by future E.U. policies. This study suggests that the European Space Agencies cease priority for intervention in four interlinking fields of space policy-making: technical-institutional, informational-managerial, institutional-geopolitical and geostrategic-geopolitical. On the basis of these key-areas, three scenarios

are drafted, shaping possible futures for the ESP.

So far, the E.U. countries' current inadequacy to match U.S.' or Russia's supremacy in space-based and space-related military capabilities has played a decisive role in keeping ESP oriented to civilian uses only. Thus, the current circumstances seem to favour scenario A. None can guarantee however, that the same conditions will prevail as they do now, fifteen to twenty years on. Were a new arms race to begin (as several analysts fear nowadays), the ESP would be trapped in between two competing giants. In such a situation, the E.U. might opt for scenario C, which, in unfavourable to the ESP circumstances, might well degrade into what scenario B describes (which, in the long run, may eventually appear more reasonable and feasible to European governments).

If there is no arms race to be unleashed anew, but only an ever harsher economic competition, then it is possible that the ESP may fare through scenario C to scenario A or, at best, straight to scenario A. Such marked shifts from intentions to reality can not be ruled out, if we considered, for instance, that N.A.S.A.'s refusal to incorporate MIR into the International Space Station ended up later with what the magazine Newsweek named a «Mir-rival-turned-Mir-replacement» (Newsweek, 2007).

5. Conclusion

In this study, a foresight of possible futures for the European Space Policy is attempted on the basis of OECD reports, by developing three scenarios. The geopolitical aspects of these scenarios are drawn on the basis of current and forecasted geopolitical conditions. These three scenarios should be accompanied by the delineation of four key-areas of intervention for the ESP, for maximising its positive geopolitical impacts. These are drawn in the present study, and relate to technical-institutional, information-managerial, geopolitical-institutional and geostrategic-geopolitical areas of ESPs. These recommendations are intended to enforce the ESP, particularly in the event that the ESP would head to developments described in **scenario A (or C) and eventually overcoming all obstacles and becoming the world's leading superpower in commercial and civilian space applications.** In view of these results, it is concluded that the three scenarios presented here can be useful for deriving foresights relating to the interplay between geopolitics and the space sector in Europe.

References

- Cimbala, S., 2001: The Russian Military into Twenty-first Century. London, Routledge.
- Gaubert,A., 2002: Public Funding of Space Activities: A case of Semantics and Misdirection. Space Policy, 18, 287-292.
- Hardesty,D., 2002: Space-Based Weapons. In Dolman,E.C. Astropolitik: Classical Geopolitics in the Space Age. London, Routledge.
- Joint Doctrine and Concepts Centre, 2003: Strategic Trends 2015. Ministry of Defence, United Kingdom.
- Kolvos,A., 2002: Why Europe needs Space as part of its Security and Defence Policy. Space Policy, 18, 257-261.
- Le Figaro, 2007: Ariane en impose aux Américains et aux Russes. 9-3-2007,p.18.
- Newsweek, 2007: Race to the Moon, 5-2- 2007, pp.24-29.
- Newsweek, 2007a: An intelligent test?, 5-2-2007, pp.22-23.
- OECD, 2004: Space 2030: Exploring the Future of Space Applications.

OECD, 2005: *Space 2030: Tackling Society's Challenges*.

Peeters,W., 2000: *Space Marketing: A European Perspective*. Dordrecht: Kluwer publs.

Peeters,W.,2002: *Effects of Commercialisation in the European Space Sector*. *Space Policy*, 18, 199-204.

Salin,P.,2001: *Privatization and Militarization in the Space Business Environment*. *Space Policy*, 17,19-26.

The Economist, 2007: *China's anti-satellite test: A new arms race in space?* 382 (8513), 10-11.

ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ (DEM) ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΓΕΩΜΟΡΦΩΝ. ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΙΝΑΧΟ ΠΟΤΑΜΟ, ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ

Παράσχου Θ., Βουβαλίδης Κ.

*Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας*

Περίληψη

Η ανάλυση των ψηφιακών υψομετρικών δεδομένων είναι μια σύγχρονη μέθοδος για την μελέτη των χαρακτηριστικών του μορφολογικού αναγλύφου, την αναγνώριση γεωμορφών και γενικότερα την κατανόηση της εξέλιξης της περιοχής. Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας ανάλυσης του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) επιλέχθηκε η υδρολογική λεκάνη του Ίναχου ποταμού, παραπόταμου του Σπερχειού. Οι μέθοδοι ανάλυσης του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) για την δημιουργία παραγώγων του χωρίστηκε σε δυο μέρη, στην ανάλυση των μονομεταβλητών και των διμεταβλητών μορφολογικών δεδομένων. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων έδειξε ότι η συσχέτιση συγκεκριμένων παραγώγων του DEM (κλίση- προσανατολισμού πρηνών) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τον εντοπισμό χαρακτηριστικών γεωμορφών.

DIGITAL ELEVATION MODEL COMPUTERIZED ANALYSIS FOR LOCALIZATION OF LINEAR GEOMORPHIC STRUCTURES. AN EXAMPLE OF INACHOS RIVER, TRIBUTARY OF SPERCHIOS RIVER

Parashou T., Vouvalidis K.

*Aristotle University of Thessaloniki, School of Geology,
Department of Physical and Environmental Geography*

Abstract

Digital Elevation Model analysis is a modern method for the geomorphological study of the landscape, for the recognition of specific geomorphic features, and generally for the understanding of the landscape evolution of an area. The application of this methodology adjusted on the drainage basin of the Inachos River, tributary of the Sperchios River of Fthiotida. Digital elevation models (DEMs) provide an opportunity to quantify land surface geometry in terms of elevation and its derivatives, with the use of univariate or bivariate data analysis. The interpretation of the results showed that the correlation of specific derivatives of DEM could be used as a useful tool for the localization of characteristic geomorphic features.

Λέξεις κλειδιά: ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων, γεωμορφολογία, Ίναχος ποταμός.

Key words: digital elevation model, geomorphology, Inachos River.

1. Εισαγωγή

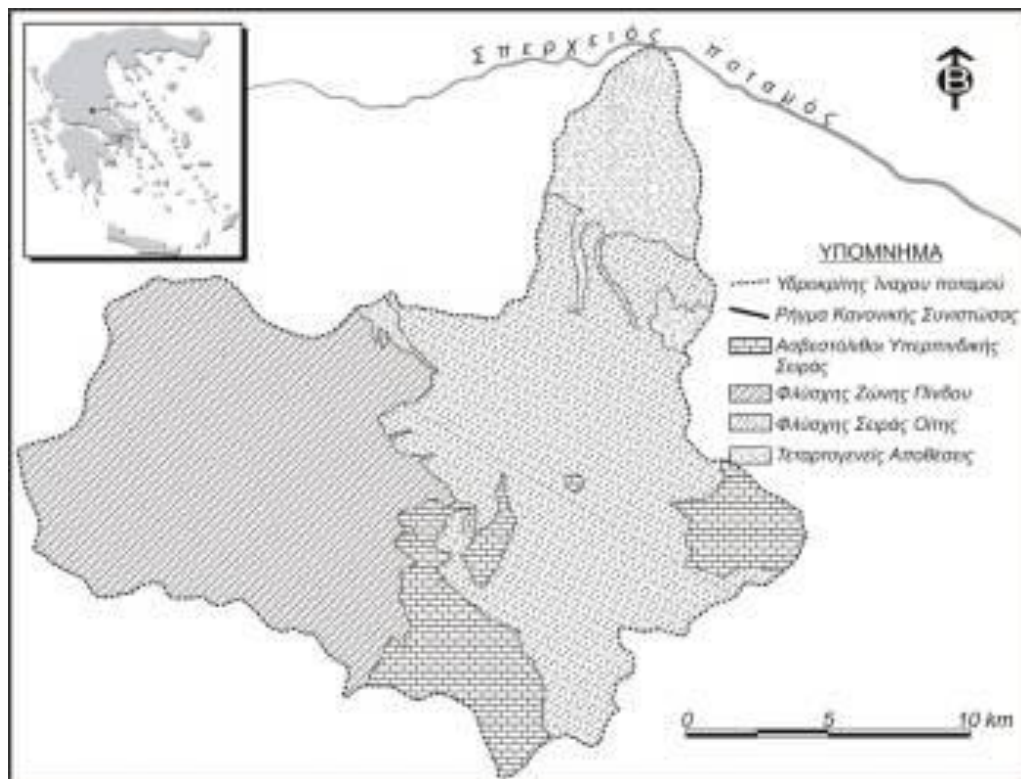
Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια εφαρμογής αυτοματοποιημένων μεθόδων ανάλυσης του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) ώστε να εντοπιστούν γραμμικές γεωμορφές. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε η περιοχή της λεκάνης απορροής του Ίναχου ποταμού. Η υδρολογική λεκάνη του Ίναχου ποταμού αποτελεί να οριοθετημένη

γεωμορφολογική ενότητα και επιλέχθηκε με βάση λιθολογικά μορφολογικά και γεωλογικά κριτήρια. Γεωγραφικά τοποθετείται στον κεντρικό ορεινό κορμό της Ελλάδας όπου επικρατούν έντονες συνθήκες διαμόρφωσης του επιφανειακού αναγλύφου.

Η εν λόγω λεκάνη είναι λιθολογικά ομοιόμορφη, αφού στο μεγαλύτερο μέρος της αποτελείται από φλύσχη. Έτσι το μορφολογικό ανάγλυφο διαμορφώνεται σχεδόν αποκλειστικά από την ποτάμια δράση χωρίς να επηρεάζεται από την λιθολογία. Επίσης, η μεγάλη επιδεκτικότητα στην διάβρωση των σχηματισμών του φλύσχη δημιουργεί συνθήκες έντονου αναγλύφου και αποτυπώνει στην επιφανειακή μορφολογία τον έλεγχο της τεκτονικής στην ποτάμια δράση. Τέλος η δράση της τεκτονικής στην περιοχή μελέτης είναι εντονότατη, όπως φαίνεται τόσο από τα χαρτογραφημένα ρήγματα όσο και από το γενικότερο τεκτονικό καθεστώς που επικρατεί στην κεντρική Ελλάδα (ρηξιγενής ζώνη λεκάνης Σπερχειού ποταμού).

1.1 Γεωγραφικά στοιχεία

Ο Ίναχος ποταμός βρίσκεται στην Στερεά Ελλάδα, στο Νομό Φθιώτιδας. Αποστραγγίζει το δυτικό τμήμα του όρους Οίτη και τη βόρεια πλευρά των Βαρδουσίων. Η υδροκριτική γραμμή του τοποθετείται στην κορυφογραμμή των Βαρδουσίων, όπου βρίσκονται και οι πηγές του ποταμού κοντά στα χωριά Νεοχώρι, Πλάτανο και Γαρδίκι. Ο Ίναχος ποταμός, αφού διαρρέυσει τις αλλουβιακές του προσχώσεις, εκβάλει στον ποταμό Σπερχειό. Η λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού έχει έκταση 338,3 km², ενώ η περιμέτρος της είναι 101,4km και καλύπτει το νοτιοδυτικό τμήμα του νομού Φθιώτιδας (σχήμα 1).



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου ποταμού.

1.2 Γεωλογικά στοιχεία

Η περιοχή μελέτης οριοθετείται από τρεις, κυρίως γεωλογικές δομές. Στα ανατολικά-νοτιοανατολικά βρίσκεται η Υπερπινδική σειρά που περιλαμβάνει μεταβατικά ιζήματα της ζώνης Πίνδου προς την Υποπελαγονική. Ο «δεύτερος φλύσχος της Πίνδου» είναι το πέτρωμα που επικρατεί στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού και αποτελείται, κυρίως, από φαμμιτοπηλιτικά στρώματα, με εναλλαγές κροκαλοπαγών στο ανατολικό τμήμα της ζώνης και ασβεστόλιθους. Το πάχος του κυμαίνεται από 1500 μέτρα μέχρι 4000 μέτρα, (Κατσιακάτσος, 1992). Στα δυτικά-νοτιοδυτικά υπάρχει η σειρά Οίτης-Γκιώνας, της Ζώνης Παρνασσού που στην υπό μελέτη λεκάνη απαντάται με την εμφάνιση του τελικού φλύσχη Παλαιοκαίνου-Πριαμπονίου (ανώτερο Ηωκαίνου), της ζώνης. Το πάχος του είναι περίπου 1500 μέτρα. Στα κατώτερα στρώματα είναι ασβεστομαργαϊκός και εξελίσσεται κυρίως σε φαμίτες και κροκαλοπαγή (Μουντράκης, 1985). Στα βόρεια η λεκάνη του Ίναχου ποταμού ορίζεται από το μεγάλο ρήγμα του Σπερχειού, που με διεύθυνση Ανατολή-Δύση τέμνει εγκάρσια το Ελληνικό τόξο με αποτέλεσμα τη δημιουργία της ομώνυμης λεκάνης. Το ρήγμα άρχισε να λειτουργεί από το Τριαδικό-Ιουραϊκό, είναι δεξιόστροφο με κανονική συνιστώσα και έχει βυθίσει σημαντικά το βόρειο ρηξιγενές τέμαχος του ως προς το νότιο (Κατσιακάτσος, 1992).

Η χωρική κατανομή των παραπάνω σχηματισμών φαίνεται στο σχήμα 1. Ο φλύσχος της Πίνδου καταλαμβάνει 131,8km², ο φλύσχος της Οίτης 133,3 km², οι ασβεστόλιθοι της Υπερπινδικής σειράς καταλαμβάνουν 41,1 km² και οι τεταρτογενείς αποθέσεις 32,1km².

2. Μέθοδοι ανάλυσης

Η ανάλυση των χαρακτηριστικών του εδάφους βοηθάει στην αναγνώριση διαφόρων γεωμορφών και στην κατανόηση της εξέλιξης της περιοχής. Για αυτό το σκοπό κατασκευάστηκε και αναλύθηκε το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM) της περιοχής μελέτης. Για την εξαγωγή των παραγόντων και των χαρακτηριστικών του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000, φύλλα Λαμία (Μαρίνος & Παπασταματίου, 1967), Σπερχειάδα (Καλλέργης et al., 1970), Καρπενήσιον (Καλλέργης et al., 1970) και Λιδορίκιον. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σε λογισμικό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).

Αρχικά, ψηφιοποιήθηκαν οι ισοϋψείς των 20m, στη συνέχεια, κατά προσέγγιση ψηφιοποιήθηκαν ισοϋψείς των 10m και τελικά χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος παρεμβολής φυσικής γειτονίας (natural neighbor interpolation) που διαιρεί το κάθε εικονοστοιχείο (pixel) σε τέσσερα με παρόμοιες ιδιότητες. Ο κάναβος (grid) που κατασκευάστηκε έχει μέγεθος κελιού 20m που είναι το καταλληλότερο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ψηφιοποίησης (χάρτες κλίμακας 1:50.000), την πολυπλοκότητα του ανάγλυφου και τις παραγώγους του εδάφους που αναλύθηκαν (Kienzie, 2004).

2.1 Ταξινόμηση υψομέτρων και κλίσεων ανάγλυφου

Η παραμετροποίηση και η ποσοτικοποίηση των ιδιοτήτων της υδρολογικής λεκάνης είναι θέματα με τα οποία έχουν ασχοληθεί πολλοί επιστήμονες. Ο Dikau, το 1989, πρότεινε μια ταξινόμηση των υψομέτρων των λεκανών ώστε να τις χαρακτηρίσει. Χρησιμοποιώντας το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM) κατασκευάστηκε ο χάρτης υψομέτρων, σύμφωνα με την ταξινόμηση του Dikau, 1989. Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται η κατανομή των υψομέτρων σε σχέση με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν.

Μια άλλη παράμετρος που μπορεί να υπολογιστεί και να ποσοτικοποιηθεί από την περαιτέρω ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) είναι η κλίση του ανάγλυφου. Ο Demek (1972) πρότεινε μια ταξινόμηση των κλίσεων κάθε λεκάνης με τη χρήση της οποίας χαρακτηρίζει τις περιοχές που εμφανίζουν την ίδια τιμή κλίσης. Η ταξινόμηση αυτή ακολουθείται επίσης από την International Geographical Union και χωρίζει τις τιμές της μέσης κλίσης του ανάγλυφου σε έξι ομάδες. Χρησιμοποιώντας ως παράγωγο

του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) την κλίση, κατασκευάστηκε ο χάρτης κλίσεων με περιοχές που έχουν εύρος κλίσεων ανάλογα με την ταξινόμηση του Demek. Στον πίνακα 2 φαίνεται η κατανομή των κλίσεων ανά επιφάνεια.

2.2 Ανάλυση μονομεταβλητών μορφολογικών δεδομένων

2.2.1 Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου

Παρατηρείται ότι μερικές φορές τα όρια των χρωματικών μεταβολών στο χάρτη του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου (DTM) είναι αρκετά έντονα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι τιμές που παίρνουν τα εικονοστοιχεία (pixel) που βρίσκονται το ένα κοντά στο άλλο, ή και δίπλα, μπορεί να διαφέρουν αρκετά (περισσότερο από 100m) σύμφωνα με την ανάλυση του μοντέλου. Η θέση τους στην εικόνα μπορεί να εντοπιστεί εύκολα, αφού ταιριάζει με έντονες μεταβολές στην κλίση, που θεωρείται δείκτης τοποθέτησης και εντοπισμού ρηγμάτων (Ganas et al., 2004).

Το DEM που κατασκευάστηκε διαμορφώθηκε με τέτοια χρωματική διαβάθμιση του μαύρου τόνου, ώστε θέσεις με χαμηλό υψόμετρο να αναπαριστώνται με σκούρο μαύρο και περιοχές με μεγάλο υψόμετρο με λευκό. Ο χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου (shaded relief) χρησιμοποιήθηκε για να αποτυπωθούν οι έντονες μεταβολές των χρωματικών τόνων, δηλαδή οι έντονες μεταβολές στις τιμές των υψομέτρων των εικονοστοιχείων. Έτσι κατέστη δυνατό να οπτικοποιηθούν και να αναπαρασταθούν διευθύνσεις ανάπτυξης ρηγμάτων, αφού όπως προτείνουν οι Ganas et al. (2004) θέσεις όπου γειτονικά εικονοστοιχεία έχουν μεγάλη διαφορά τιμών και εκτείνονται γραμμικά, ταιριάζουν με πρηνή ρηγμάτων.

2.2.2 Χάρτης κλίσεων

Μετά την επεξεργασία και την ανάλυση των υψομέτρων και των χαρτών που προκύπτουν από αυτά, θεωρείται απαραίτητο να αναλυθούν οι παράγωγοί του. Η πρώτη παράγωγος του υψομέτρου είναι η γωνία κλίσης. Απότομες αλλαγές της γωνίας κλίσης, μέσα σε μια περιοχή, είναι ένδειξη δράσης ρηγμάτων. Επίσης, χαρακτηριστική είναι η ταύτιση επιμηκών περιοχών με απότομη μεταβολή της κλίσης, στο χάρτη κλίσεων, με τοποθεσίες πρηνών ρηγμάτων (Ganas et al, 2004).

Η χωρική ανάλυση της κλίσης, καθώς και η κατασκευή της αθροιστικής καμπύλης κλίσεων μπορούν να δείξουν ποιες είναι οι κρίσιμες γωνίες κλίσης ώστε ένα πρηνές- επιφάνεια απόξυσης (scarp) να θεωρηθεί πρηνές ρήγματος (Jordan, 2003). Επίσης, όπως ήδη έχει αναλυθεί, ο χάρτης κλίσεων βοηθάει στην πρόβλεψη των διεργασιών διάβρωσης. Άλλωστε η τιμή της κλίσης είναι απαραίτητη και στην παγκόσμια εξίσωση διάβρωσης (Universal Soil Loss Equation) (Dunn and Hickey, 1998).

Όπως προτείνουν οι Dunn and Hickey, (1998), η πρόβλεψη της κλίσης, ως παράγωγος υψομέτρων ψηφιακού μοντέλου, μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους. Οι περισσότερες χρησιμοποιούμενες είναι η μέθοδος γειννίας (Neighborhood Method), η μέθοδος μέγιστης κλίσης (Maximum slope Method) και η μέθοδος κλίσης μέγιστης κατωφέρειας (Maximum Downhill slope Method). Για την κατασκευή του χάρτη κλίσεων της λεκάνης του Ίναχου ποταμού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος γειννίας.

Τέλος υπολογίστηκε η αθροιστική καμπύλη κλίσης για την λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Ο Jordan, 2003, προτείνει ότι από αυτό το διάγραμμα είναι δυνατό να εντοπιστούν οι κρίσιμες κλίσεις, δηλαδή τα σημεία εκείνα όπου η εφαιπόμενη της καμπύλης μεταβάλλεται, ώστε αυτές να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του χάρτη κλίσεων και την καλύτερη αναπαράσταση των μεταβολών.

2.2.3 Χάρτης προσανατολισμού

Ο προσανατολισμός (aspect) όλων των πρηνών της λεκάνης του Ίναχου ποταμού

υπολογίστηκε και χαρτογραφήθηκε ως πρώτη παράγωγος των παρατάξεων των μέγιστων κλίσεων. Για την κατασκευή του χάρτη αυτού χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο ο χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της περιοχής μελέτης ώστε να τονιστεί η θέση των κοιλάδων και των ραχών. Βέβαια από τον χάρτη προσανατολισμού και μόνο, είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την ακριβή τοποθέτηση επιμηκυμένων κοιλάδων, απότομων πρανών και ραχών (Jordan, 2003).

Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση του χάρτη προσανατολισμού προέκυψαν από την αθροιστική καμπύλη προσανατολισμού πρανών, από το διάγραμμα διασποράς προσανατολισμού πρανών- επιφάνειας και από το ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρανών .

2.2.4 Χάρτης κατανομής τοπογραφικού δείκτη

Ο τοπογραφικός δείκτης (topographic index), ή τοπογραφικός δείκτης υγρασίας (topographic wetness index), είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη δεύτερη παράγωγος των ψηφιακών μοντέλων υψομέτρων (DEM) και χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επίδραση της τοπογραφίας στη κατανομή της υγρασίας του εδάφους σε μια περιοχή. Ο υπολογισμός του τοπογραφικού δείκτη βασίζεται στην ιδέα της κίνησης του νερού στα πρανή και της συγκέντρωσης του νερού στην βάση των πρανών. Παρόλο που η προσέγγιση του τοπογραφικού δείκτη είναι απλή, οι υπολογισμοί περιέχουν την τοπογραφία που φαίνεται να κατέχει κύρια θέση ως παράγοντας ρύθμισης της συμπεριφοράς του νερού του εδάφους. Όσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της τοπικής υδρολογικής λεκάνης και όσο μικρότερη είναι η γωνία κλίσης, τόσο υψηλότερη είναι η τιμή του δείκτη, τόσο μικρότερο το βάθος του υδροφορέα και συνεπώς μπορεί να αναμένεται υγρό έδαφος (Beven and Kirkby, 1979, Quinn et al, 1991).

Η μελέτη της χωρικής κατανομής του τοπογραφικού δείκτη σε συσχέτιση με τις διάφορες γεωμορφές βοήθησε στην ταξινόμηση του και στην ερμηνεία των τιμών του. Οι ράχες χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές, ενώ τα χαμηλότερα σημεία των πρανών, ιδιαίτερα οι κοίλες περιοχές και οι βάσεις των κοιλάδων έχουν υψηλές τιμές (Rodhe and Seibert, 1999).

2.3 Ανάλυση διμεταβλητών μορφολογικών δεδομένων

Η ανάλυση διμεταβλητών δεδομένων εξετάζει τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών, ποια στοιχεία παράγονται και ποια είναι η σημασία τους. Η σύγκριση του χάρτη κλίσεων σε σχέση με τον χάρτη προσανατολισμών και του αζιμουθίου των γραμμώσεων που προκύπτουν σε σχέση με το αζιμούθιο των ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού μπορούν να ενισχύσουν και να επιβεβαιώσουν την ύπαρξη συγκεκριμένων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του ανάγλυφου, όπως ραχών ή απότομων πρανών.

2.3.1 Σύγκριση χαρτών κλίσεων - προσανατολισμών

Η ανάλυση διμεταβλητών δεδομένων, δηλαδή κλίσης και προσανατολισμού, σε διαγράμματα, ροδοδιαγράμματα και στερεοδιαγράμματα (stereo net) σε συνδυασμό με τη χωρική κατανομή των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα εργαλείο για τον εντοπισμό γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών και τεκτονικών στοιχείων στην περιοχή μελέτης (Jordan, 2003). Τα διαγράμματα που αναφέρθηκαν μπορούν να δείξουν αν τα πρανή, για κάποια ή κάποιες συγκεκριμένες διευθύνσεις, έχουν μεγαλύτερη κλίση. Η χωρική κατανομή των δεδομένων κλίσης- προσανατολισμού δημιουργεί χάρτη στον οποίο απεικονίζονται οι περιοχές όπου οι μεταβολές αυτές είναι ταυτόχρονα έντονες.

2.3.2 Σύγκριση μορφής υδρογραφικού δικτύου-γραμμώσεων και αζιμουθίου ρεμάτων - αζιμουθίου γραμμώσεων.

Η ασύμμετρη ανάπτυξη ενός υδρογραφικού δικτύου πολλές φορές οφείλεται στην αλλαγή της διεύθυνσης ροής ορισμένων κλάδων εξαιτίας ρηγμάτων κάθετων στην ροή τους. Έτσι, η ανάπτυξη και η μορφή που αποκτά το υδρογραφικό δίκτυο εξαρτάται άμεσα από την

τεκτονική που επικρατεί. Η μελέτη του υδρογραφικού δικτύου καθώς και σύγκριση υδρογραφικού δικτύου-γραμμώσεων και αζιμουθίου ρεμάτων - αζιμουθίου γραμμώσεων προτείνεται για να εντοπιστεί αν η τεκτονική επιδρά στην ανάπτυξη του δικτύου (Deroin et al., 1995, Mayer et al., 2003). Συνολικά, οι διευθύνσεις των γραμμώσεων που αποτυπώθηκαν στο χάρτη κλίσεων χαρτογραφήθηκαν σε ροδιογράμμα, ώστε να συγκριθούν με το αζιμούθιο των ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου ποταμού.

3. Αποτελέσματα

3.1 Ταξινόμηση υψομέτρων και κλίσεων ανάγλυφου

Όπως φαίνεται στον πίνακα 1, το 56,29% της λεκάνης απορροής χαρακτηρίζεται ως ορεινή περιοχή. Οι περιοχές που κατατάσσονται στις λοφώδεις (14,52%) και ημιορεινές (22,16%) είναι ουσιαστικά τα πρανή της κοιλάδας του ποταμού, εκατέρωθεν της κοίτης του. Η περιοχή που χαρακτηρίζεται ως πεδινή, καταλαμβάνοντας το 7,03% της λεκάνης του Ίναχου ποταμού, ανήκει στο ριπίδιο που δημιουργεί το ποτάμι μετά την έξοδο του από τα στενά.

Ο πίνακας 2 διατυπώνει την χωρική κατανομή της κλίσης στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Παρατηρείται ότι στο 62,40% της επιφάνειας της λεκάνης, δηλαδή 211,10 km², τα πρανή αναπτύσσονται με κλίση μεταξύ 15ο-35ο γεγονός που συνεπάγεται έντονες διεργασίες απογύμνωσης, ερπυσμοί εδαφών, λασπορροές, έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση. Η έκταση της περιοχής με κλίσεις 15ο-35ο είναι αρκετά μεγάλη και τυχαία διανεμημένη μέσα στη λεκάνη, ώστε να θεωρηθεί ότι οι έντονες διαβρωτικές διεργασίες είναι ένα γενικότερο χαρακτηριστικό της λεκάνης.

Πίνακας 1. Χωρική κατανομή των υψομέτρων στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού σύμφωνα με την ταξινόμηση του Dikau, 1989.

Εύρος υψομέτρων	Τύπος ανάγλυφου	Έκταση (km ²)	Ποσοστό έκτασης
<150	Πεδινό	23,78	7,03%
150-600	Λοφώδεις	49,12	14,52%
600-900	Ημιορεινό	74,97	22,16%
>900	Ορεινό	190,43	56,29%

Πίνακας 2. Χωρική κατανομή των κλίσεων στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού σύμφωνα με την ταξινόμηση του Demek, 1972

Κλίσεις σε μοίρες	Επιφάνεια σε km ²	Ποσοστό έκτασης
0-2	25,17	7,44%
2-5	12,58	3,72%
5-15	83,59	24,71%
15-35	211,10	62,40%
35-55	5,82	1,72%
55<	0,04	0,01%

3.2 Ανάλυση μονομεταβλητών μορφολογικών δεδομένων

3.2.1 Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου

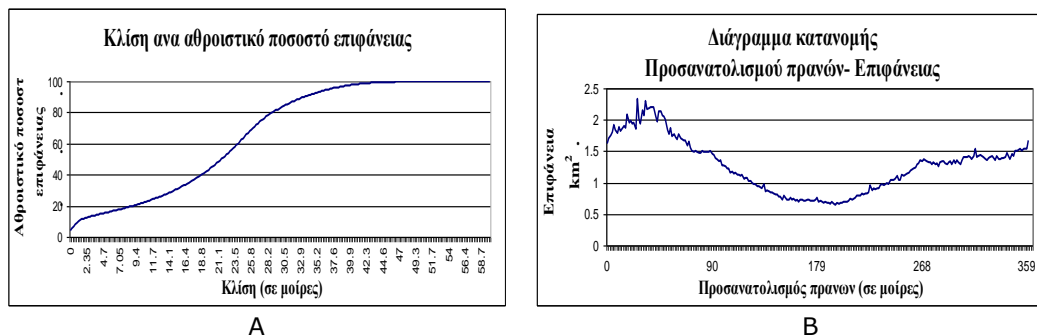
Με υπόβαθρο το χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου, που κατασκευάστηκε με χαμηλή γωνία ηλίου

ώστε οι μεταβολές των υψομέτρων να είναι εντονότερες, ψηφιοποιήθηκαν οι χαρακτηριστικές γραμμώσεις που εντοπίστηκαν. Παρατηρείται η ύπαρξη περιοχών όπου παρουσιάζεται γραμμική ανάπτυξη και παραλληλία των πρηνών και των κοιλάδων. Επίσης υπάρχουν περιοχές όπου κατά μήκος γραμμικών κοιλάδων αναπτύσσονται τριγωνικά πρηνή (triangular facets), που είναι γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό δράσης κανονικών ρηγμάτων (σχήμα 3Α).

3.2.2 Χάρτης κλίσεων

Στο σχήμα 2Α το αθροιστικό ποσοστό της επιφάνειας εμφανίζεται σε αριθμητική κλίμακα. Από την ανάλυση των τιμών των κλίσεων διαπιστώνεται ότι το 13% της λεκάνης έχει κλίσεις μικρότερες από 2ο, το 18% έχει κλίσεις 2ο-15ο και το μεγαλύτερο ποσοστό της λεκάνης, δηλαδή το 60% έχει κλίσεις 15ο-30ο. Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί με την ανάλυση της κλίσης της λεκάνης με βάση την ταξινόμηση των κλίσεων του Demek (1972).

Σύμφωνα, με τη ταξινόμηση των κλίσεων που προέκυψε από την ανάλυση της αθροιστικής καμπύλης των τιμών της, κατασκευάστηκε ο χάρτης κλίσεων ως παράγωγος των υψομέτρων. Χρησιμοποιώντας ως μεθοδολογία ότι απότομες κλίσεις εμφανίζονται σε θέσεις όπου γειτονικά εικονοστοιχεία του χάρτη κλίσεων έχουν μεγάλη διαφορά τιμών, ψηφιοποιήθηκαν οι θέσεις όπου η έντονη αυτή αριθμητική μεταβολή γειτονικών εικονοστοιχείων αναπτύσσεται γραμμικά. Στο σχήμα 3Β παρουσιάζονται οι γραμμώσεις που προέκυψαν τοποθετημένες πάνω στον χάρτη κλίσεων.



Σχήμα 2. Α: Αθροιστική καμπύλη κλίσης της λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Β: Διάγραμμα κατανομής του προσανατολισμού των πρηνών ανάλογα με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν.

3.2.3 Χάρτης προσανατολισμού

Στο δυτικό τμήμα της λεκάνης παρατηρείται ομοιόμορφη γραμμική ανάπτυξη πρηνών με προσανατολισμό (aspect) βορειοανατολικό. Αντίθετα, στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης οι προσανατολισμοί των πρηνών λαμβάνουν μεγαλύτερη ποικιλία τιμών. Γενικά, διαπιστώνεται απουσία πρηνών με νότιο προσανατολισμό όπως φαίνεται και από το σχήμα 3Γ.

Η καμπύλη του σχήματος 2Β δείχνει ότι κρίσιμες τιμές όπου μεταβάλλεται η κλίση τους είναι η τιμή 75ο και η τιμή 265ο, στοιχείο που φαίνεται και από την αθροιστική καμπύλη του προσανατολισμού. Αυτή η μεταβολή είναι ιδιαίτερα αισθητή στη λογαριθμική αθροιστική καμπύλη και σε ροδοδιάγραμμα. Παρατηρείται μέγιστη συγκέντρωση τιμών στο διάστημα 0ο-75ο, δηλαδή βορειοανατολικού προσανατολισμού πρηνή. Επίσης, ένα δεύτερο διάστημα με έντονη παρουσία τιμών είναι 265ο-360ο.

Στη λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού το μεγαλύτερο ποσοστό πρηνών έχει προσανατολισμό (aspect) βορειοανατολικό. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ανάπτυξη των πρηνών σε μια κύρια διεύθυνση (αζιμούθιο) βορειοδυτική- νοτιοανατολική. Επίσης, μια

δεύτερη ομάδα πρικών, με βορειοδυτικό προσανατολισμό αναπτύσσεται σε αζιμούθιο βορειοανατολικό- νοτιοδυτικό.

3.2.4 Χάρτης κατανομής τοπογραφικού δείκτη

Στο σχήμα 3Δ παρουσιάζεται ο χάρτης κατανομής του τοπογραφικού δείκτη. Στον χάρτη αυτό παρατηρούνται περιοχές με διαφορετική κατανομή των τιμών, αφού με σκούρο χρώμα απεικονίζονται θέσεις με χαμηλό τοπογραφικό δείκτη και με ανοιχτό χρώμα θέσεις με υψηλό τοπογραφικό δείκτη. Στην περιοχή Α οι θέσεις με υψηλή τιμή τοπογραφικού δείκτη καταλαμβάνουν αρκετή έκταση. Η αιτία είναι η ύπαρξη ασβεστόλιθων σε αυτή την περιοχή, οι οποίοι έχουν καρστικοποιηθεί ως ένα βαθμό. Ο δείκτης δείχνει μια περιοχή με ομαλό ανάγλυφο στην οποία το έδαφος μπορεί να αποκτήσει μεγάλη ποσότητα υγρασίας.

Στην περιοχή Β οι μέσες τιμές του τοπογραφικού δείκτη είναι αρκετά μειωμένες με αποτέλεσμα η περιοχή να φαίνεται πιο σκουρόχρωμη, ανάλογα με το υπόμνημα του χάρτη. Η περιοχή αυτή αντιστοιχεί στη θέση όπου ο Ίναχος ποταμός διαμορφώνει στην κοιλάδα του απότομα πρική σχήματος V, και η κατά βάθος διάβρωση είναι εντονότερη. Άλλωστε, φαίνεται ότι η κοίτη του ποταμού στη θέση αυτή δεν έχει υψηλές τιμές τοπογραφικού δείκτη σε μεγάλη έκταση.

Στην περιοχή Γ, το πλάτος της περιοχής με υψηλές τιμές τοπογραφικού δείκτη μεγαλώνει. Οι τιμές του δείκτη κατά μήκος της κοίτης είναι χαρακτηριστικές δίνοντας μια τοπογραφία επίπεδη, με μικρές κλίσεις, όπου το νερό μπορεί να συσσωρευτεί εύκολα λόγω της τοπογραφίας αυτής. Εκατέρωθεν του κλάδου του ποταμού παρατηρείται διαφορετικός τρόπος διασποράς των τιμών. Στο βόρειο τμήμα οι τιμές είναι μειωμένες δείχνοντας έντονο ανάγλυφο, αντίθετα από ότι στο νότιο τμήμα της κοιλάδας όπου εμφανίζονται αυξημένες τιμές και συνεπώς αρκετά επίπεδα τμήματα του ανάγλυφου.

Στην περιοχή Δ, σε μια θέση όπου θα αναμενόταν χαμηλές τιμές τοπογραφικού δείκτη, αφού η τοπογραφία ταιριάζει περισσότερο με ράχη, παρατηρούνται ψηλές τιμές. Φαίνεται ότι σε μια περιοχή με αρκετά μεγαλύτερο υψόμετρο από την γειτονική της (σχήμα 3Α) αναπτύσσονται επίπεδες επιφάνειες που μπορούν να συγκεντρώσουν και να διατηρήσουν νερό.

Στην περιοχή Ε, κυρίως στα νοτιοανατολικά της, διαπιστώνονται μικρές τιμές τοπογραφικού δείκτη. Σε αυτή την περιοχή η δυνατότητα συγκέντρωσης και συγκράτησης νερού από το έδαφος είναι περιορισμένη εξαιτίας της τοπογραφίας. Επίσης, παρατηρείται ότι στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται πολλές επιμήκεις ράχες (χαμηλές τιμές τοπογραφικού δείκτη) που μπορούν, με τη βοήθεια του χάρτη του σχήματος 3Δ ή τον γεωλογικό χάρτη, κάποιες από αυτές να συσχετιστούν με πρική ρηγμάτων.

Τέλος η περιοχή ΣΤ, που καταλαμβάνει τις αλλουβιακές αποθέσεις του ποταμού, εμφανίζεται με πολύ ψηλές τιμές τοπογραφικού δείκτη σχεδόν σε όλη την περιοχή. Η δυνατότητα συγκέντρωσης νερού στις αλλουβιακές αποθέσεις είναι γνωστή και οφείλεται τόσο στην τοπογραφία των ριπιδίων όσο και στα υλικά που αποτελούνται αυτά. Η θέση ΣΤ είναι ένδειξη της σωστής εφαρμογής του τοπογραφικού δείκτη στην κοιλάδα του Ίναχου ποταμού.

3.3 Ανάλυση διμεταβλητών μορφολογικών δεδομένων

3.3.1 Σύγκριση χάρτη κλίσεων- χάρτη προσανατολισμών

Για την χαρτογράφηση των δεδομένων και την καλύτερη αναπαράσταση των αποτελεσμάτων χωρίστηκε η κλίση σε 5 διαστήματα. Στο σχήμα 4 φαίνονται τα ροδοδιαγράμματα πλήθους τιμών προσανατολισμού για τις 5 τάξεις κλίσεων. Όπως ήταν αναμενόμενο από τα παραπάνω, το πλήθος των τιμών προσανατολισμού για την πέμπτη τάξη τιμών κλίσης ($170 < κλίση$) είναι το μεγαλύτερο, $n=32.736$ τιμές. Συνεπώς, αυτή η τάξη είναι η κρίσιμη και πρέπει να εξετασθεί η συσχέτισή της με τον προσανατολισμό. Το ροδοδιάγραμμα της Ε τάξης του σχήματος 4 δείχνει ότι τα σημεία με κλίση >170

αναπτύσσονται σε δυο κυρίως προσανατολισμούς, έναν κύριο βορειοανατολικό και ένα δευτερεύοντα βορειοδυτικό. Συνεπώς, οι τιμές αυτές πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του χάρτη συσχέτισμού (correlation) της κλίσης (slope) με τον προσανατολισμό (aspect) των πρηνών.



A



B



Γ



Δ

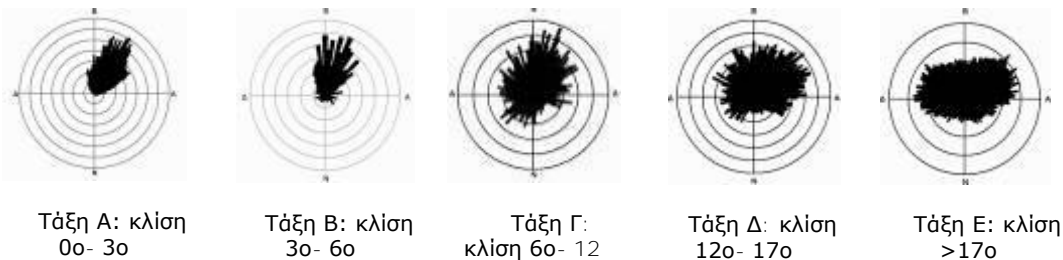
A: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου (shaded relief) της λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Με άσπρες γραμμές απεικονίζονται οι γραμμώσεις που εντοπίστηκαν στον χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου από τη διαφορά των τιμών των γειτονικών εικονοστοιχείων (pixels).

B: Χάρτης κλίσεων (slope map) της λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Με άσπρες γραμμές απεικονίζονται οι γραμμώσεις που εντοπίστηκαν στο χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου και χάρτη κλίσεων από τη διαφορά των τιμών των γειτονικών εικονοστοιχείων (pixels).

Γ: Χάρτης προσανατολισμού των πρηνών (aspect map) της λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Ως υπόβαθρο έχει χρησιμοποιηθεί το σκιασμένο ανάγλυφο.

Δ: Χάρτης κατανομής του τοπογραφικού δείκτη στη λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού. Τα γράμματα Α, Β, Γ, Δ, Ε και ΣΤ ορίζουν περιοχές όπου ο τοπογραφικός δείκτης αποκτά διαφορετικές τιμές.

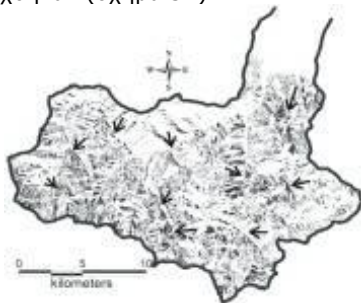
Σχήμα 3. Χάρτες κατανομής μονομεταβλητών μορφολογικών δεδομένων.



Σχήμα 4. Ροδοδιαγράμματα συσχέτισης κλίσης προσανατολισμού πρανών στη λεκάνη του Ίναχου ποταμού.

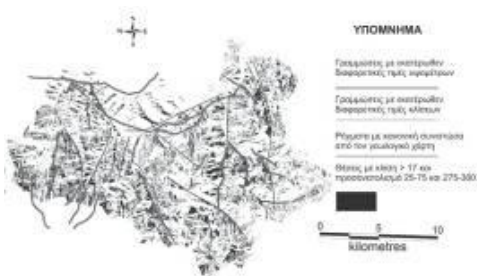
Το σχήμα 5Α παρουσιάζει τον χάρτη που προέκυψε από τη συσχέτιση κλίσης-προσανατολισμού πρανών για τιμές κλίσης >17ο και για τιμές προσανατολισμού 25ο-75ο και 275ο-300ο. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τις θέσεις όπου η κλίση και ο προσανατολισμός των πρανών αποκτούν, στις συγκεκριμένες τιμές, γραμμική ανάπτυξη.

Η σύγκριση του χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου (σχήμα 3Α), του χάρτη κλίσεων (σχήμα 3Β) και του χάρτη συσχέτισης κλίσης- προσανατολισμού πρανών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι θέσεις που δείχνουν τα βέλη στο σχήμα 5Α ταυτίζονται με θέσεις ρηγμάτων. Η παρατήρηση αυτή επαληθεύεται με τη γεωλογία και την τεκτονική της λεκάνης του Ίναχου ποταμού. Τα ρήγματα που έχουν ψηφιοποιηθεί από τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ, που αναφέρονται στην εισαγωγή (σχήμα 1), τοποθετήθηκαν πάνω στους χάρτες σκιασμένου ανάγλυφου, κλίσεων και συσχέτισης κλίσεων- προσανατολισμού πρανών. Τα περισσότερα από τα ρήγματα των γεωλογικών χαρτών ταυτίζονται με αυτά που προκύπτουν από τους χάρτες που παράχθηκαν (σχήμα 5Β).



A: Χάρτης συσχέτισης των επικρατέστερων κλίσεων (κλίση >17) και προσανατολισμών (25ο-75ο και 275ο-300ο). Με μαύρα βέλη φαίνονται θέσεις όπου οι δύο παράμετροι συσχετίζονται, για συγκεκριμένες τιμές, σε γραμμική διεύθυνση

A



B: Χάρτης συ-σχέτισης κλίσεων (κλίση >17) και προσανατολισμών (25ο-75ο και 275ο-300ο) με υπέρθεση των κανονικών ρηγμάτων από τον γεωλογικό χάρτη.

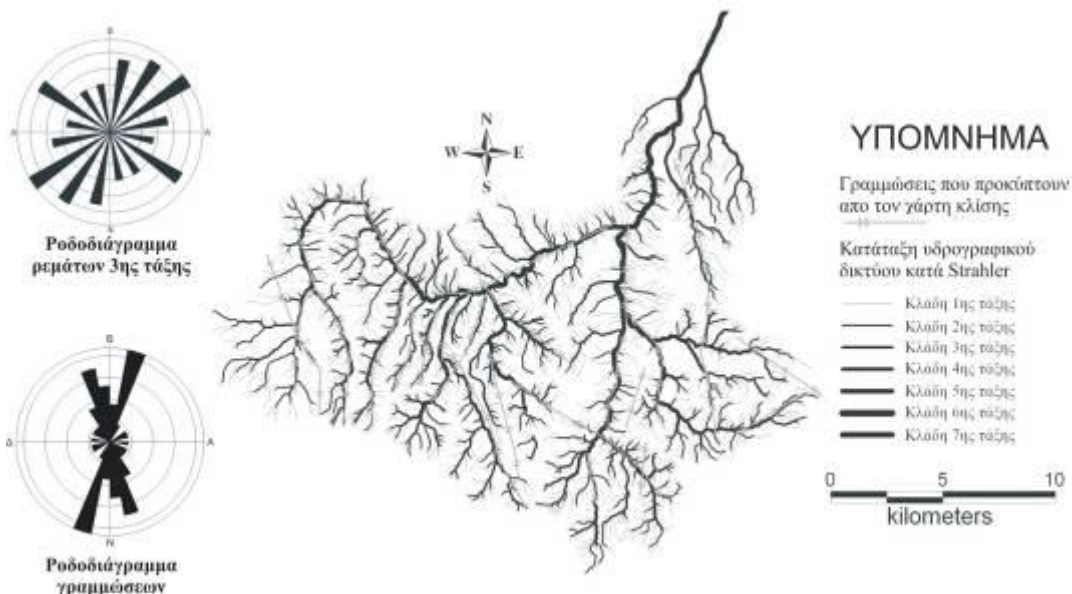
B

Σχήμα 5. Χάρτες συσχέτισης των διαφόρων γεωμορφολογικών στοιχείων της λεκάνης του Ίναχου ποταμού.

3.3.2 Σύγκριση μορφής υδρογραφικού δικτύου-γραμμώσεων και αζιμουθίου ρεμάτων - αζιμουθίου γραμμώσεων.

Χαρακτηριστική απόδειξη της επίδρασης της τεκτονικής στο υδρογραφικό δίκτυο είναι η σχεδόν κάθετη στρέψη του πιο επιμήκη κλάδου 6ης τάξης του δικτύου σε τέσσερα σημεία και σε απόσταση μικρότερη των 7,5 km (σχήμα 6). Στο σχήμα 6 έχουν τοποθετηθεί οι γραμμώσεις που προέκυψαν από το χάρτη κλίσεων. Είναι εμφανής η επίδρασή τους στο υδρογραφικό δίκτυο. Σε ορισμένες θέσεις, ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα της λεκάνης, παρατηρούνται κλάδοι του δικτύου που τέμνουν τις γραμμώσεις χωρίς να τις ακολουθούν, γεγονός που πιθανόν οφείλεται στην νεότερη ηλικία των κλάδων αυτών από τη συγκεκριμένη γράμμωση. Οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις του υδρογραφικού δικτύου επιβεβαιώνονται και από τα ροδοδιαγράμματα των αζιμουθίων παρακάτω. Παρατηρείται ότι τα ρέματα 6ης τάξης επηρεάζονται άμεσα από την παρουσία των γραμμώσεων στη λεκάνη. Στα ροδοδιαγράμματα του σχήματος 6 συγκρίνεται ο προσανατολισμός των γραμμώσεων με τον προσανατολισμό των ρεμάτων 3ης τάξης, που θεωρείται η πιο αντιπροσωπευτική τάξη ρεμάτων για το υδρογραφικό δίκτυο του Ίναχου ποταμού, σύμφωνα με τον έλεγχο X2.

Από τη σύγκριση του αζιμουθίου των γραμμώσεων που προέκυψαν από τους χάρτες κλίσεων και σκιασμένου ανάγλυφου σε σχέση με το αζιμουθιο των ρεμάτων προκύπτει ότι η ανάπτυξη ρεμάτων και γραμμώσεων με κοινή, βόρεια- νότια διεύθυνση είναι χαρακτηριστική. Επίσης μια δεύτερη ομάδα ρεμάτων και γραμμώσεων αναπτύσσεται σε διεύθυνση ανατολή-δύση. Συνεπώς, η σύγκριση αυτών των παραμέτρων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη των ρεμάτων της λεκάνης του Ίναχου ποταμού επηρεάζεται έντονα από τη ρηξιγενή τεκτονική, που στη συγκεκριμένη περίπτωση εκφράζεται από τις γραμμώσεις.



Σχήμα 6. Τοποθέτηση γραμμώσεων πάνω στο τοπογραφικό δίκτυο του Ίναχου ποταμού και ροδοδιαγράμματα παρατάξεων γραμμώσεων και διευθύνσεων ρεμάτων 3ης τάξης.

4. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα παραπάνω επισημαίνονται τα εξής:

- Είναι χαρακτηριστική η πολύ καλή συσχέτιση των παραγώγων του DEM με την εμφάνιση κυρίως γραμμικών γεωμορφών στην υδρολογική λεκάνη του Ίναχου ποταμού. Η παραπάνω μεθοδολογία μπορεί να βοηθήσει στην γεωμορφολογική χαρτογράφηση περιοχών με έντονη επίδραση της τεκτονικής, τα σημάδια της οποίας λόγω των επιδεκτικών στη διάβρωση πετρωμάτων δεν είναι ικανοποιητικά εμφανή κατά θέσεις.
- Ο Ίναχος ποταμός αναπτύσσεται σε μια περιοχή με ορεινό ανάγλυφο όπου η διαβρωτική δράση είναι εντονότατη. Ο μεγάλος όγκος των υλικών που μεταφέρονται, από το ορεινό τμήμα, αποτίθενται μετά την έξοδο του ποταμού στο πεδινό τμήμα της λεκάνης του, δημιουργώντας ένα εκτεταμένο αλλουβιακό ριπίδιο.
- Παρατηρείται ότι στο 62,40% της επιφάνειας της λεκάνης, δηλαδή 211,10km², τα πρηνή αναπτύσσονται με κλίση μεταξύ 15ο-35ο γεγονός που συνεπάγεται έντονες διεργασίες απογύμνωσης, ερπυσμοί εδαφών, λασπορροές, έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση.
- Από τον χάρτη κλίσεων μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι πιο απότομες κλίσεις, που εμφανίζονται σε θέσεις που γειτονικά εικονοστοιχεία έχουν έντονη διαφορά τιμών, ταυτίζονται με τις γραμμώσεις που εντοπίστηκαν από το χάρτη του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων και από το χάρτη του σκιασμένου ανάγλυφου. Επίσης, στο χάρτη κλίσεων διαπιστώνεται η παρουσία γραμμώσεων που δεν ήταν ευδιάκριτες στο χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου.
- Χαρακτηριστική είναι η περιορισμένη ανάπτυξη πρηνών με προσανατολισμό βόρειο και κυρίως νότιο, παρατήρηση που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη κοιλάδων ή ραχών με ανατολικό- δυτικό αζιμουθιο είναι περιορισμένη. Τα πρηνή με κλίση 0ο-3ο αναπτύσσονται μόνο με βορειοανατολικό προσανατολισμό, δηλαδή ο άξονας ανάπτυξης του ριπιδίου είναι βορειοανατολικός.
- Η παρατήρηση του χάρτη κατανομής του τοπογραφικού δείκτη δείχνει πως η περιοχή Γ που βρίσκεται ανάντη της περιοχής Β έχει υψηλότερες τιμές τοπογραφικού δείκτη και συνεπώς η τοπογραφία της περιοχής επιτρέπει την συγκέντρωση νερού. Αντίθετα στην περιοχή Β ο ποταμός εγκιβωτίζεται μέσα σε μια στενή και χαραδρωτή κοιλάδα, η μορφολογία της οποίας αντανακλάται άμεσα στις χαμηλές τιμές του δείκτη.
- Η συσχέτιση κλίσης- προσανατολισμού πρηνών και ο χάρτης που προκύπτει από αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τον εντοπισμό γεωμορφών που αναπτύσσονται με χαρακτηριστικό γραμμικό τρόπο. Παράλληλα η σύγκριση ρεμάτων - γραμμώσεων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη των ρεμάτων της λεκάνης του Ίναχου ποταμού επηρεάζεται έντονα από τη ρηξιγενή τεκτονική.

Βιβλιογραφία

Beven, K.J., Kirkby, M.J. (1979). A physically based variable contribution area model of basin hydrology. Hydrological Science Bulletin 24, 43-69.

Demek, J. (1972). Manual of detailed geomorphological mapping. Academia, Prague, 344.

Deroin, J.P., Deffontaines, O., Deffontaines, B. (1995). Morphostructural analysis for linking streamflow, lithology, and structure: comparison with remote sensing data on the Cevennes (French Massif Central). *Z. Geomorph. N. F.*, Berlin-Stuttgart, 39, 97-116

Dikau, R. (1989). The application of a digital relief model to landform analysis. Taylor and Francis, London, 51-77.

Dunn, M. and Hickey, R. (1998). The Effect of Slope Algorithms on Slope Estimates within a GIS. *Cartography*, 27 (1), 9-15.

Ganas, A., Pavlides, S., Karastathis, V. (2004). DEM-based morphometry of range-front escarpments in Attica, central Greece, and its relation to fault slip rates. *Geomorphology*, 65, 301-319.

Jordan, G. (2003). Morphometric analysis and tectonic interpretation of digital terrain data: a case study. *Earth surface processes and landforms*, 28, 807-822.

Καλλέργης Γ., Koch, K., Nicolaus H. (1970). Γεωλογικός Χάρτης κλίμακας 1:50.000 – Φύλλο Καρπενήσιον. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Αθήνα.

Καλλέργης Γ., Koch, K., Nicolaus H. (1970). Γεωλογικός Χάρτης κλίμακας 1:50.000 – Φύλλο Σπερχειάς. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Αθήνα.

Κατσικάτσος, Γ.Χ. (1992). Γεωλογία της Ελλάδας. Αθήνα.

Kienzle, S.W. (2004). The Effect of Grid Cell Size on Major Terrain Derivatives. WDCAG 2005, The Canadian association of geographers.

Mayer, L., Menichetti, M., Nesci, O., Savelli, D. (2003). Morphotectonic approach to the drainage analysis in the North Marche region, central Italy. *Quaternary International*, 101-102, 157-167.

Μαρίνος Γ., και Παπασταματίου Ι. (1967). Γεωλογικός Χάρτης κλίμακας 1:50.000 – Φύλλο Λαμία. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Αθήνα.

Μουντράκης, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Quinn, P.F., Beven, K.J., Chevallier, P., Planchon, O. (1991). The prediction of hillslope flowpaths for distributed modelling using digital terrain models. *Hydrolog. Processes*, 5, 59-80.

Rodhe, A. and Seibert, J. (1999). Wetland occurrence in relation to topography: a test of topographic indices as moisture indicators. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98-99, 325-340.

ERS SAR POWER SATELLITE IMAGE INTERPRETATION AND URBAN CHARACTERISTICS: THE CASE OF ATHENS

Parcharidis I., Delladetsimas P., Kourkouli P.

Harokopio University of Athens, Dept. of Geography, El. Venizelou 70, 17671 Athens

Abstract

This study concerns the use of an ERS SAR Power image in order to detect and/ or recognize different urban characteristics based on its power values. As pilot area the Athens broader area has been used. Starting from an ERS SAR SLC scene and after a complex processing a power image has been generated. The interpretation of the power image it has enhanced specific urban characteristics. Specifically, high values in the power image coincide with building blocks having E-W orientation and lower values for all other directions. Additionally, the power image show high values for the metallic structures (e.g. fount-tanks).

Key words: Backscattering, SAR image, Power image, urban characteristics

1. Introduction

The radar waves transmitted from ERS's satellite antenna, they are reflected from the Earth's surface and part of the waves return back to the receiving antenna from where the data are transmitted back to the Earth. The SAR sensor is right-side looking this involves that most of the waves are reflected away from the instrument. Furthermore, the signal backscattering depends mainly on the surface roughness, the moisture content and the geometry of the illumination. The aim of this work is to observe the signal backscattering in the study of urban growth dynamics and land use intensity. The Athens metropolitan area is used as the case study.

2. SAR Images: Components and Structure

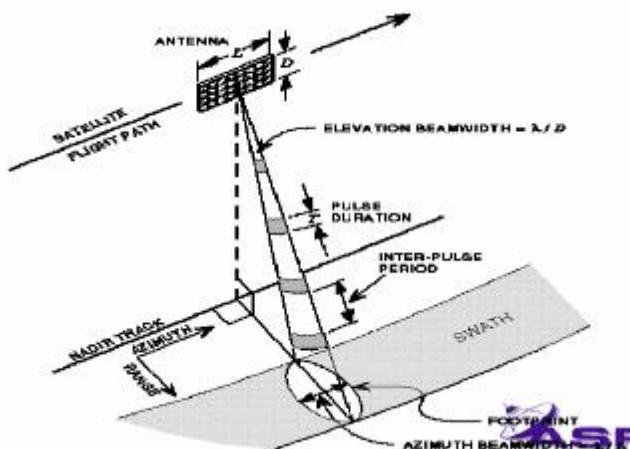


Figure 1. SAR geometry (Source ASF)

SAR generates a two-dimensional and high-resolution remote sensing imagery. The intensity of each pixel, composing the SAR image, represents the magnitude of microwave backscattered from that area on the ground which depends on a variety of factors: types, sizes, shapes and orientations of the scatterers in the target area; moisture content of the target area; frequency and polarisation of the radar pulses. In general a SAR image consists of the structure, texture, speckle, general texture and radiometry.

SAR Power or intensity images are related to the radar brightness of the scene and gives information about the amplitude. The amplitude is the measure of the strength or the height of an electromagnetic wave which shown in images as grey level intensity values. In addition, the power image expresses the strength of a field or of a distribution such as an image file, proportional to magnitude, squared.

It is important to mention that the power image consists of values (that they are power ratios expressed in decibels (dB). Decibels often are used in radar, such as in measures of reflectivity, for which the dynamic range may span several factors of ten. The dB values are just $10 \cdot \log(\text{power})$, where power is the processed image values.

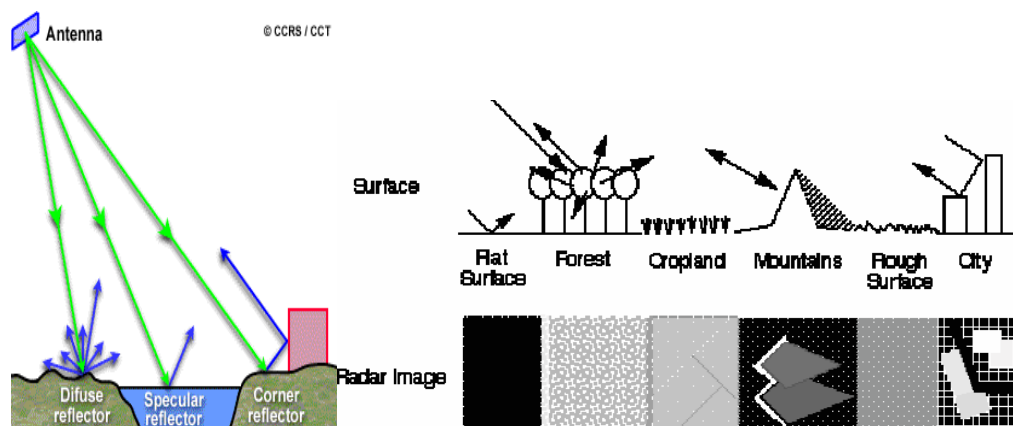


Figure 2. The mechanism of Backscattering (Source: CCRS/CCT)

The pixel intensity values are often converted to a physical quantity called the backscattering coefficient (σ_0) or normalised radar cross-section measured in decibel (dB) units with values ranging from +5 dB for very bright objects to -40 dB for very dark surfaces.

The σ_0 values depend on the illuminating geometry and the nature of the scattering of the radio wave from the targets. σ_0 values range from -18 dB (the noise level of the data) to values greater than 1 (0dB). However, it can be greater than 0 dB if the radio waves are reflected back to the radar. In this study, the area of study is an urban area. This means that the area of Athens is dominated by double bounce reflects as the radio waves reflects off the streets and then off the buildings and finally it returns back to the radar. On the other hand, areas that are covered with not much vegetation, the ground will be smooth. This will cause these areas of the image to look dark (water or roads or pasture land). For the same reason, rivers and lakes are also quite dark in the image. Moreover if there are mountains or hills, the radar image will be brighter on the side of the mountain or hill facing towards the radar.

3. Data used and Processing

In this study were used SAR data of the ERS-2 satellite. The scene that was acquired covers the area of Athens (Figure 3). The preliminary data was a Single Look Complex (SLC) image which transformed to a Power image after a composite processing. It must be noted that Single Look Complex images products are in slant range coordinates and each pixel is represented by complex (I and Q) numbers to preserve the magnitude and phase information. Specially, in the SLC image was performed the processing of Multilooking in order to improve the quality of the Power image. Hence, the multilooked image generated from an SLC image by averaging the power (square of absolute value of the complex image) across a number of lines in both the azimuth and range directions. The multi-look intensity image was created with a default of 5 Azimuth looks and 1 Range look. This option is convenient for the ERS satellite. The number of looks are chosen in order to obtain a sampling of the multi-look image which gives almost square pixels (the ground range length and azimuth length are almost equal).

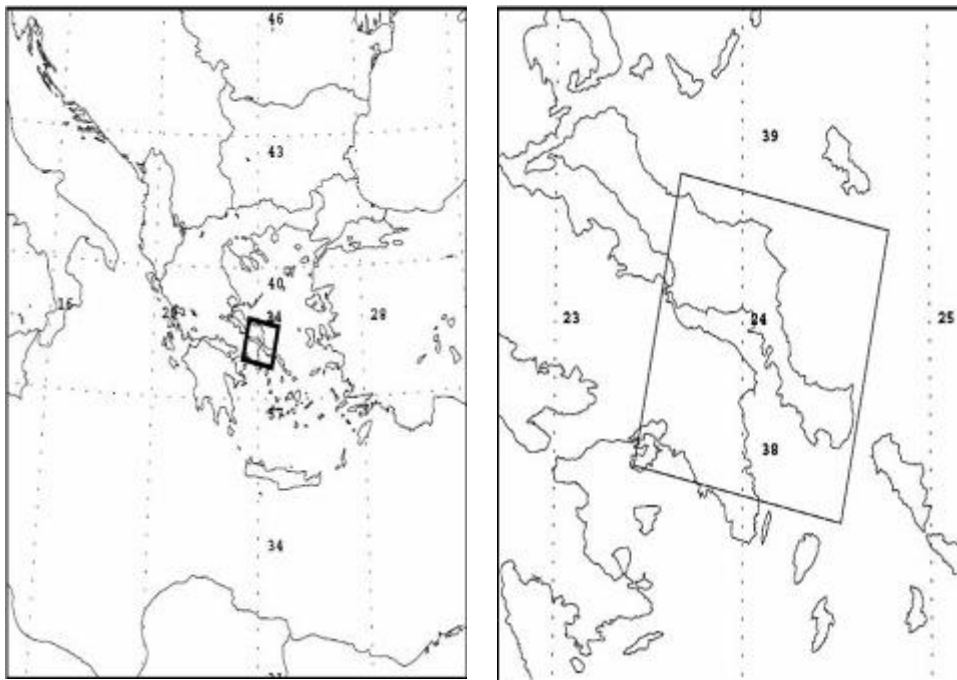


Figure 3. Scene acquired from ERS satellite (Athens)

In addition, it has performed the Speckle processing in order to reduce the typical noise of the Radar image. Then, it used an adaptive filter (Enhance Lee Filter) for further reduce the component of Speckle. Afterwards, it was processed Geocoding with using Ground Control Points (GCPs). This process allowed the transformation from radar coordinates into UTM/WGS 84' cartographic system. During the geocoding carried out the radiometric calibration (removal of topographic induced radiometric distortions) which is based on the radar equation. Moreover, radiometric calibration is performed for distributed targets. Hence, it is possible to find pixels (point targets), in the radiometrically calibrated data,

whose value is higher than 1. Especially, radiometric calibration of the SAR images involves corrections for:

- The scattering area: each pixel is normalized for the actual illuminated area of each resolution cell, which may be different due to varying topography.
- The antenna gain pattern: the effects of the variation of the antenna gain in range are corrected, taking into account topography or a reference height.
- The range spread loss: the received power must be corrected for the range distance changes from near to far range

Finally it is important to mention that images geocoded to Geo-Global system (LAT/LONG coordinates) can be automatically displayed into the Google Earth environment.

Consequently, the final image transformed after a short processing into a KML file which is a format that can be used to display geographic data in an Earth Browser such as Google Earth and it is based on the XML language. Afterwards, the KML file inserted into Google Earth as a layer and overlapped to the QuickBird high-resolution image as a transparent image (Figure 4).

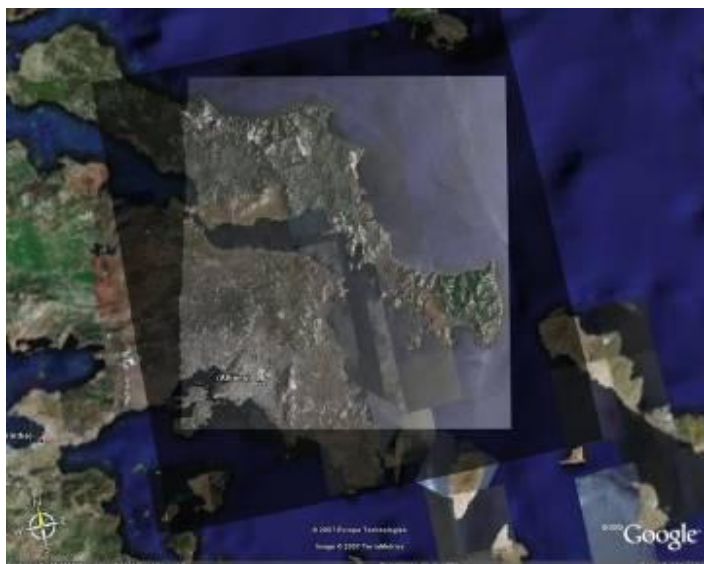


Figure 4. Power image of Athens displayed to the Google Earth as KML file

4. Results

An urban agglomeration can be in principle being represented as a complex of relatively regular shapes (such as rectangular plates, dihedral and trihedral corner reflectors) and open spaces. In cases where the urban surfaces are oriented towards the radar, the signal backscattering waves are directly reflected back to the radar (specular reflection-bright areas). Alternatively in cases where urban surfaces are not oriented towards the radar a double bounce wave's return is involved. In other words, the brightness or the darkness of the image depends on the orientation of the buildings related to position of the Radar's antenna. Hence, the Sensor-target orientation plays a major role in the detection of cubical objects (buildings) (Figures 5-6). This differentiation in signal backscattering, allows the

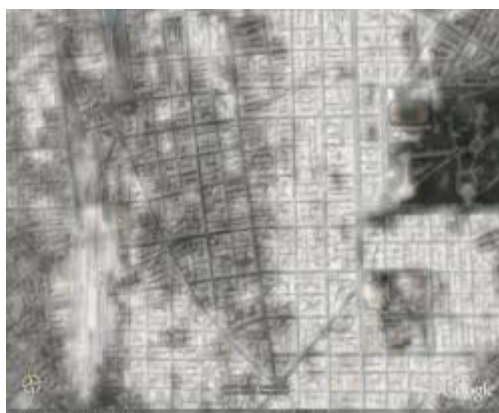
detection of distinctive urban characteristics. Moreover, the level of the grey image's level depends on the material of construction of the building. Specially, if the building is made of metal then the backscattering is very high. Therefore, these areas are indicated as bright areas. A typical example is the fuel-tanks in the area of Elefsis and Aspropyrgos (Figure 7).



Figure 5. Urban area of Athens (area above of Leoforos Alexandras): The left (blue line) polygon shows a bright area which means that the orientation of building blocks is towards the Radar's. However, the right (red line) polygon covers a dark area which means that the orientation of the buildings is different than the Radar's antenna.



Kypseli



Square Attikis

Fig. Figure 6. (a),(b): Even if occurs the smallest difference in the orientation of the building blocks, this influences the signal of the Radar.



Figure 7. The area of Elefsis which is covered with fuel-tanks. The area is shown as bright because of the M material of the fuel-tanks.

References

Freeman T., "What is Imaging Radar? ", Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA.

Mansouri B, Shinozuka M., "SAR image power calibration by urban texture: Application to the Bam earthquake using Envisat satellite ASAR data", 3rd International Workshop on Remote Sensing Technologies and Disaster Response, September 12-13, 2005, Chiba, Japan.

Nicoll J., "SAR Geometry and Backscatter", Alaska (<http://www.asf.alaska.edu/educational/seminarpdf/2002/>)

Sarmap, ESA, "Synthetic Aperture Radar Land Applications Tutorial" (http://www.tiger.esa.int/training/SAR_LA1_th.pdf - <http://www.eorc.jaxa.jp/JERS-1/GFMP/SEA-2A/docs/html/tutorial.htm>)

ΤΑ ΜΕΣΤΑ ΤΗΣ ΧΙΟΥ. ΑΝΑΒΙΩΣΗ ΜΙΑΣ ΛΑΘΑΝΟΥΣΑΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ;

Σιδηρόπουλος Γ.¹, Γιώτης Α.²

¹ *Επίκουρος καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου*

² *Τοπογράφος Μηχανικός Τ.Ε., ΜSc Διαχείριση Πληροφοριών Γης και Χαρτογράφηση*

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετάται η διαχρονική εξέλιξη του οικισμού των Μεστών της Χίου μέσα στο χρόνο. Σκοπός της είναι η διερεύνηση των λόγων υπό τους οποίους κατόρθωσε να παραμείνει σχεδόν ανέπαφο το αστικό τοπίο των Μεστών, η μελέτη της εικόνας του οικισμού και πώς αυτή επηρεάζεται από τον ιστορικό χαρακτήρα και τα πολιτιστικά χαρακτηριστικά του και τέλος η εξέταση των τάσεων ανάπτυξης του οικισμού στη σύγχρονη πραγματικότητα.

THE SETTLEMENT OF MESTA IN CHIOS. THE REVIVAL OF A DORMANT REALITY

Sidiropoulos G.¹, Giotis A.²

¹ *Assistant Professor, Department of Geography, University of the Aegean.*

² *Surveyor Engineer, MSc Land Information Management and Mapping,*

Abstract

In the current paper, the evolution through out the time in the settlement of Mesta in Chios is studied. The main target of the study is the investigation of the reasons which cause the urban scenery of Mesta managed to remind unchanged, the study of view of the settlement and how this is affected by historical and cultural characteristics and finally the examination of the trends of development of the current settlement in model reality.

Λέξεις κλειδιά: Παραδοσιακοί οικισμοί, ιστορική γεωγραφία, διαφύλαξη κληρονομιάς, αστικό τοπίο.

Key words: Traditional Settlement, historical geography, urban landscape.

1. Εισαγωγή

Τα Μεστά αποτελούν έναν από τους καστρο-οικισμούς των Μαστιχοχωριών στη Χίο. Πήραν την σημερινή τους μορφή στα μέσα του 14ου αι. και κατόρθωσαν να επιβιώσουν μέχρι της ημέρες μας. Η επιβίωση του μεσαιωνικού αυτού οικισμού όχι μόνον σαν εικόνα αλλά ως φορέας ενός ζωντανού οργανισμού, αποτελεί γεγονός πολλαπλά σημαντικό. Είναι μια ζωντανή μαρτυρία αστικού μεσαιωνικού τοπίου πολύτιμη για την πολιτιστική κληρονομιά.

Στην Ελλάδα οι παρόμοιες περιπτώσεις



δεν είναι πολλές. Ανάλογα παραδείγματα αποτελούν η Μονεμβασιά, η μεσαιωνική πόλη της Ρόδου, το Άγιον Όρος και διεθνώς, η Σανάα (Υεμένη), η Προβαν (Γαλλία), η πόλη του Μπαθ (Αγγλία).

Η περίπτωση της «αυτοματοποιημένης διαφύλαξης» του οικισμού διαχρονικά, εγείρει μια σειρά ερωτημάτων για τους λόγους που επέτρεψαν την επιβίωσή ανά τους αιώνες.

Η μελέτη ενός παρόμοιου ζητήματος θέτει ζητήματα αποκατάστασης, αναστήλωσης, προβολής, αποδελτίωσης ιστορικών πηγών, ενώ η παρούσα όμως μελέτη θα επικεντρωθεί στο να καταγράψει την υπάρχουσα κατάσταση, σε επίπεδο του ανθρωπίνου και οικονομικού και κυρίως του οικιστικού επιπέδου, προσπαθώντας να ανασυστήσει την γεωγραφική κατάσταση μέσω διαχρονικών τομών.

Συνήθως οι πόλεις, ανεξαρτήτως μεγέθους και όταν δεν υπόκεινται σε κάποια απότομη και αιφνίδια αλλαγή, μεταλλάσσουν την εικόνα και τις λειτουργίες τους σταδιακά μέσα στον χρόνο. Το κύριο ερευνητικό ερώτημα στο οποίο επικεντρώνεται, η συγκεκριμένη μελέτη, είναι η ανάλυση των λόγων υπό τους οποίους κατόρθωσε το αστικό τοπίο των Μεστών να επιβιώσει σχεδόν ανέπαφο, μέσα στο χρόνο.

Παράλληλα η ανάλυση στρέφεται στο να απαντήσουμε σε ερωτήματα που απορρέουν από τον ιστορικό χαρακτήρα των Μεστών. Θα διερευνηθεί αν ελλοχεύει ο κίνδυνος συντήρησης μιας επιτηδευμένης εικόνας του παρελθόντος, που μπορεί να μετατρέψει την πόλη σε μνημείο κενό περιεχομένου, ή εάν ενδυναμώνεται η δυναμική της πόλης που θα αναδεικνύει παράλληλα και τα πολιτιστικά της χαρακτηριστικά. Τέλος διερευνώνται οι προοπτικές του οικισμού έτσι ώστε να αναλυθούν τάσεις και πιθανά προβλήματα σχετικά με διαβλεπόμενους άξονες ανάπτυξης του οικισμού.

2. Τα Μεστά στο χρόνο

Πρώτα στοιχεία που αφορούν τα Μεστά έρχονται από την προϊστορική εποχή και σχετίζονται με την εύρεση μέρους πελασγικού τοίχους στη θέση του Λιμένα Μεστών. Κατά τον ελληνικό αποικισμό η πόλη ιδρύει αποικία στη Μαρώνεια της Θράκης ενώ κατά τη Ρωμαϊκή εποχή (86 π.Χ. - 327 μ.Χ.) μαρμάρινη επιγραφή που βρέθηκε στην περιοχή καταδεικνύει έντονη δραστηριότητα.



Κατά τη βυζαντινή εποχή οι πειρατικές επιδρομές στο Αιγαίο, έχουν στόχο και την περιοχή των Μεστών. Για λόγους ασφαλείας, οι διάφοροι οικισμοί της ευρύτερης περιοχής συμπύσσονται σε ένα χωριό και εγκαθίστανται στη τοποθεσία των σημερινών Μεστών που αποτελεί την πρώτη εκδοχή του πολεοδομικού σχήματος του οικισμού. Από το 1124 (κατάληψη από Ενετούς) η Χίος μπαίνει σε μια περίοδο αστάθειας. Περιέρχεται εναλλάξ σε

λατινική (Ενετοί, Σταυροφόροι, Καταλανοί) και βυζαντινή διοίκηση. Από το 1346, γενούτες κατέχουν την Χίο μέχρι το 1566. Τα Μεσά κατά τη διάρκεια της Γενοούτικης κατοχής διαδραμάτισαν ιδιαίτερο ρόλο εξ αιτίας της θέσης του Λιμένα στη δυτική Χίο που δεν είχε άμεση επαφή με τις τουρκοκρατούμενες ακτές της Μ. Ασίας.

Το 1566 η Χίος καταλαμβάνεται από τους Τούρκους. Οι κάτοικοι των Μεστών κατά την τουρκοκρατία είχαν ισχυρή τοπική αυτοδιοίκηση, εξέλεγαν, τους δικούς τους γέροντες και εκκλησιαστικούς επιτρόπους που διοικούσαν τον τόπο. Εισέπρατταν φόρους, απέλυαν διαφορές μεταξύ Ελλήνων και Τούρκων, διόριζαν διδασκάλους και αγροφύλακες, φύλασσαν τα κοινοτικά πηγάδια και προστάτευαν τα όρια της κοινότητας. Η Χίος ελευθερώνεται το 1912.

3. Προσέγγιση

Το κύριο ερώτημα που τίθεται, είναι πώς κατόρθωσε ο οικισμός των Μεστών να επιζήσει αυτούσιος μορφολογικά, μέσα στον χρόνο. Πολύ μεγάλο μέρος πόλεων και οικισμών έχουν τις ρίζες τους βαθιά μέσα στον χρόνο. Ενώ η αρχική τοποθεσία ίδρυσης διατηρείται, μπορεί να αλλάξει το κέντρο βάρους, όπως επίσης και η λειτουργία. Κυρίως όμως, η βαθμιαία και συνεχής διαδικασία εξέλιξης μεταβάλλει ολοκληρωτικά την μορφολογία της πόλης. Ίδια θέση, άλλη εικόνα.

Ένα παράλληλο ερώτημα συνοδεύει το πρώτο και αφορά την διερεύνηση των μηχανισμών που έκαναν την συγκεκριμένη πόλη και κατ' επέκταση το σύστημα των Μαστιχοχωριών, να μπορεί να επιβιώσει με την συγκεκριμένη μορφή του. Έχουν διατυπωθεί πολλοί ορισμοί για το τι είναι πόλη. Σ' όλους κοινός τόπος είναι η σπουδαιότητα της οικονομικής λειτουργίας. Εάν αυτή δεν ισχύει, πολύ δύσκολα ένας οικισμός θα μπορέσει να συνεχίσει να εξελίσσεται.

Άμεση συνάρτηση των ανωτέρω είναι ένα τρίτο ερώτημα που σχετίζεται με το πως μπορεί και αν πρέπει να διαφυλαχθεί ένας τέτοιος οικισμός; Είναι σαφές ότι σε κάθε περίπτωση η αυτούσια διατήρηση του κελύφους μιας πόλης, αποτελεί πλούτο για την πολιτιστική εθνική και παγκόσμια κληρονομιά. Επιτρέπει την αυτοψία του παρελθόντος! Είναι πολύτιμες και ευτυχεστάτες συγκυρίες, ανάλογες περιπτώσεις διατήρησης.

Το ζήτημα έχει μια ιδιαίτερη απόχρωση που συνίσταται στην διπλή εξάρτηση του, τόσο στο παρελθόν όσο και το παρών. Ανάλογες περιπτώσεις οφείλουν την προσοχή των κοινωνιών τόσο για την σπουδαιότητα της ιστορικής τους παρουσίας στο χρόνο, όσο και για την συνέχειά τους και την επιβιώσή τους, στο παρών ως ζώντες οργανισμοί. Ένα εγχείρημα ιδιαίτερα δύσκολο στο οποίο ο χώρος πρέπει να δίνει την δυνατότητα αντιμετώπισης ως μνημείο, ως πολιτιστική κληρονομιά αλλά στον ίδιο χρόνο ως λειτουργικής δυνατότητας με τις απαιτήσεις της σημερινής κοινωνίας (Planel-Marchand 1981). Η χρήση του αυτοκινήτου, η διασφάλιση των υποδομών (ύδρευση, αποχέτευση, δίκτυα επικοινωνίας, ηλεκτρισμού για παράδειγμα) σε ένα περιβάλλον που δομήθηκε με άλλες προδιαγραφές δεν είναι εύκολη υπόθεση. Πού πρέπει κατά συνέπεια να τοποθετηθεί η διαχωριστική γραμμή; Μέχρι σε ποιο σημείο μπορεί να έχουμε απαγορεύσεις και από πού υπάρχει συνέχεια εξέλιξης; Πώς η μια ιδιότητα επιτρέπει στην άλλη να λειτουργήσει;

Η λογική ανάλυση συνίσταται στην προσπάθεια ανασχεδιασμού, της γεωγραφικής κατάστασης του οικισμού σε διαφορετικές δομικές περιόδους και διαφορετικές χρονικές εποχές. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η ηλικία του οικισμού θέτει ιδιαίτερα προβλήματα στην προσπάθεια «παραγωγής εικόνων» διαχρονικά (Sidiropoulos G, Vasilakos A. 2006). Το πρόβλημα είναι εντονότερο στους πρώιμους χρόνους, όπου τα δεδομένα είναι κυρίως κειμενικά. Η χαρτογραφική αποτύπωση της πόλης είναι ζήτημα σχετικά πρόσφατο. Η λογική, κατά συνέπεια, παγίωσης μιας εικόνας της πολίχνης απορρέει κυρίως από την μελέτες εγγράφων, εικαστικές εικόνες (εγχάρακτα και ζωγραφίες) και κυρίως από την εικόνα της ίδιας της πόλης της οποίας το κύριο χαρακτηριστικό είναι η χωρίς ιδιαίτερες αλλαγές, μεταφορά της μέσα στον χρόνο.

Πέραν της προσπάθειας ορθής παγίωσης της εικόνας του χώρου, η ανάλυση στοχεύει στην δημιουργία εικόνων σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικών κλιμάκων (τοποθεσίας και γεωγραφικής θέσης), την ανάλυση του χώρου και την αναζήτηση ανάλογων παραδειγμάτων και τέλος τη διερεύνηση και ερμηνεία του ευρύτερου πλαισίου δραστηριοτήτων και λειτουργιών της πόλης ανά εποχή.

Για την κατανόηση του οικισμού έγινε χρήση χαρτών της ευρύτερης περιοχής των Μεστών σε κλίμακες όπου απεικονίζεται όλο το σύστημα των Μαστιχοχωριών της Χίου, και κυρίως για να μπορέσουν να γίνουν κατανοητά πλεονέκτημα και μειονέκτημα που παρουσιάζουν τη σχέση τους με τους γύρω οικισμούς και την ευρύτερη περιοχή. Αυτή η περιοχή αντιπροσωπεύει το νότιο τμήμα της νήσου Χίου και η ανάλυσή της δίνει την δυνατότητα κατανόησης της γεωγραφικής θέσης τόσο του οικισμού, όσο και του συστήματος του «κοινού των Μαστιχοχωριών»

Επίσης έγινε χρήση μεγαλύτερης κλίμακας χαρτών ώστε να γίνουν κατανοητά τα μορφολογικά στοιχεία και η πολεοδομία τους, για τη μελέτη των ιδιοτεροτήτων τόσο σε επίπεδο μεμονωμένων στοιχείων (κεντρική πλατεία, μεμονωμένες κατοικίες κλπ) όσο και σε επίπεδο του συνόλου του οικισμού.

Μελέτες με βάση την ανάλυση δορυφορικών πολυφασματικών εικόνων χρησιμοποιήθηκαν για την κατανόηση της χρήσης της γης σε επίπεδο καλλιέργειας της μαστίχας κατά διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Οπτικοποιήθηκε με τρισδιάστατη μορφή το ύψος των κατοικιών και δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της ευρύτερης περιοχής. Πρόσθετα ψηφιοποιήθηκε η εικόνα του οικισμού σε διαφορετικές οικιστικές φάσεις για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε επίπεδο εξέλιξης της πολεοδόμησης στο χρόνο.

Όλη η πληροφορία ενσωματώθηκε σε ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφορίας για τον οικισμό έτσι ώστε να μπορέσουμε με την ανάλυση διαφορετικών επιπέδων και μορφών πληροφορίας να εξαχθούν συνδυαστικά αποτελέσματα.

4. Το νομοθετικό πλαίσιο και οι παραδοσιακοί οικισμοί

Σε παγκόσμιο επίπεδο ο οργανισμός που ασχολείται με την πολιτιστική κληρονομιά είναι η UNESCO. Η UNESCO σε επίπεδο πόλεων, διακρίνει τις ιστορικές πόλεις και τα ιστορικά κέντρα που βρίσκονται στη λίστα της σε τρεις κατηγορίες: α) Στις πόλεις που δεν είναι πια κατοικήσιμες αλλά προϋποθέτουν την ύπαρξη αρχαιολογικών ευρημάτων του παρελθόντος (π.χ. αρχαίες πόλεις οι οποίες υπήρξαν στο παρελθόν κέντρα διάδοσης και προώθησης του πολιτισμού). β) Σε ιστορικές πόλεις οι οποίες είναι κατοικήσιμες ακόμη και οι οποίες εξαιτίας της φύσης τους έχουν αναπτυχθεί και συνεχίζουν να αναπτύσσονται κάτω από την επίδραση κοινωνικοοικονομικών και πολιτιστικών αλλαγών. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται ιστορικά κέντρα πόλεων, τα οποία βρίσκονταν στο αρχαίο κομμάτι της πόλης και τώρα έχουν ενσωματωθεί στη μοντέρνα πόλη, τομείς ή περιοχές που διαθέτουν κτίρια με χαρακτηριστικά της ιστορικής πόλης και σήμερα τείνουν να εξαφανιστούν, πόλεις με πλούσια ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά που αναπτύσσεται με την εξέλιξη της πόλης και η οποία πρέπει να προστατευθεί για να μη αλλοτριωθεί. Τα ιστορικά κέντρα και οι ιστορικές περιοχές περιλαμβάνονται στη λίστα μόνο αν διαθέτουν μεγάλο αριθμό αρχαίων κτιρίων και μνημείων με ιδιαίτερα πολιτιστικά και αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά. γ) Σε νέες πόλεις του εικοστού αιώνα. Οι πόλεις αυτής της κατηγορίας είναι τα καλύτερα παραδείγματα σύγχρονου πολεοδομικού σχεδιασμού. Με την ένταξη τους στη λίστα της UNESCO, εξασφαλίζεται η προστασία κτιρίων με ιδιαίτερο αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον και περιοχών με περιβαλλοντικό ενδιαφέρον και ιδιαίτερο φυσικό κάλος ().

Ο οικισμός των Μεστών όπως και των υπόλοιπων Μαστιχοχωριών δεν έχουν ενταχθεί σε αυτό το πλαίσιο, που άλλωστε έχει συμβολικό χαρακτήρα παρά ουσιαστικό και για τον οποίο

ρόλο ευθύνονται οι αντίστοιχοι εθνικοί δημόσιοι οργανισμοί.

Τα Μεστά σε εθνικό επίπεδο, αποτελούν χαρακτηρισμένο μνημείο και έχουν ενταχθεί στους παραδοσιακούς οικισμούς. Σε πολύ γενικές γραμμές είναι το Υπουργείο Πολιτισμού που «κηρύσσει» μνημεία και μνημειακούς χώρους ενώ το Υπουργείο περιβάλλοντος έρχεται μέσω ρυθμίσεων και των όρων δόμησης του οικοδομικού κανονισμού να προστατεύσει τους χώρους (Βελήνης 1972),.

Η αναγνώριση της πολιτιστικής αξίας των παραδοσιακών οικισμών ξεκίνησε στα μέσα του 20ου αιώνα (Νόμος 1469/1950). Ουσιαστική όμως μέριμνα για την προστασία των παραδοσιακών οικισμών προβλέφθηκε για πρώτη φορά σε επίπεδο νόμου με το Γενικό Οικοδομικό Κανονισμό 1973, που αναγνωρίζει ότι "Τα μνημεία, οι παραδοσιακές περιοχές και τα παραδοσιακά στοιχεία προστατεύονται από το Κράτος. Ακολούθως το 1977 και τέλος στο Γενικό Οικοδομικό Κανονισμό του 1985 όπου με σκοπό τη διατήρηση και ανάδειξη της ιδιαίτερης ιστορικής, πολεοδομικής, αρχιτεκτονικής, λαογραφικής, κοινωνικής και αισθητικής φυσιογνωμίας τους.

Οι σημερινές αρμοδιότητες του τμήματος παραδοσιακών οικισμών του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., είναι ο χαρακτηρισμός κτιρίου ή ομάδας κτιρίων ή συνόλων κτιρίων ως διατηρητέων και ο καθορισμός ειδικών όρων και περιορισμών δόμησης, ο χαρακτηρισμός Οικισμού ή ομάδας Οικισμών ή τμήματος Οικισμού ως Παραδοσιακών και καθορισμός ειδικών όρων και περιορισμών δόμησης, ειδικές ρυθμίσεις σε χαρακτηριζόμενα ως Διατηρητέα ή χαρακτηριζόμενα ως Διατηρητέα κτίρια, πάσης φύσεως ειδικών όρων και περιορισμών δόμησης - Συμπληρώσεις η οριοθέτηση Ζωνών Προστασίας Παραδοσιακών Οικισμών - Αρχαιολογικών χώρων - Ιστορικών Τόπων - Τοπίων ιδιαίτερου φυσικού κάλλους και καθορισμός ειδικών όρων και περιορισμών δόμησης εντός των ζωνών αυτών, προτάσεις Νομοθετικών ρυθμίσεων επί του γενικού πλαισίου της ισχύουσας νομοθεσίας, η τήρηση - ενημέρωση αρχείου.

5. Η ανθρωπογεωγραφική εικόνα του χώρου



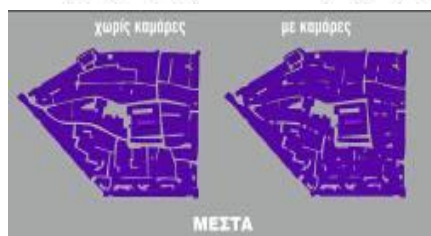
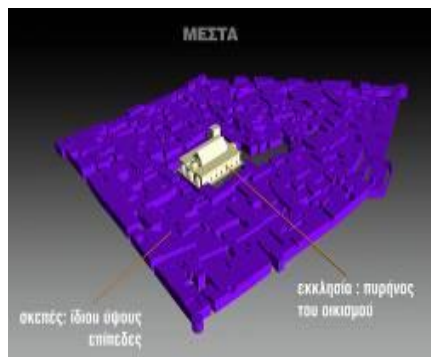
Η μεσαιωνική Ευρώπη έχει να επιδείξει αρκετά τέτοια, ενώ στην Ελλάδα μια τέτοια περίπτωση είναι η περίπτωση των Μεστών.

Η σημερινή **δημογραφική** ταυτότητα του τόπου είναι σαφές ότι βρίσκεται σε οριακό σημείο. Ο οικισμός υπήρξε σαφώς πιο σφριγηλός από ότι σήμερα ακόμα και σε περιόδους δοκιμασίας.

Το 1802 αναφέρονται 275 οικογένειες με 1112 κατοίκους. Σε καταμέτρηση το 1831 (1822 αποτυχημένη εξέγερση κατά των τούρκων) καταγράφεται ελαττωμένος, με 52 οικογένειες και 600 περίπου κατοίκους. Σήμερα ο αριθμός των κατοίκων ανέρχεται στους 5001 (ΕΣΥΕ, 2001).

Δύο σημεία άξια σχολιασμού αφορούν: α) το 1922-1936, περίοδο αύξησης του πληθυσμού, που σχετίζεται με την έλευση των μικρασιατών προσφύγων και β) το 1937-1946 περίοδος πληθυσμιακού ελλείμματος λόγω μετανάστευσης. Η γενικότερη όμως εικόνα που

εξάγει η ηλικιακή πυραμίδα, είναι αυτή ενός καθαρά γηρασμένου πληθυσμού, μεγάλες ηλικιακές φέτες στις μεγάλες ηλικίες και μικρές στις νεώτερες. Στην συντριπτική πλειοψηφία, στον οικισμό υπάρχουν νοικοκυριά των 2 (63 στα 172) και του 1 μέλους (43 στα 172). Το μεγαλύτερο ποσοστό είναι ηλικιωμένοι και εκτός παραγωγικής διαδικασίας άνθρωποι (μη ενεργοί: 259, ενεργοί: 149, ΕΣΥΕ 2001).



Η κύρια **απασχόληση** των Μεστουσίων (κάτοικοι Μεστών) ήταν κατά ιστορικές μαρτυρίες κυρίως γεωργική με κέντρο την παραγωγή της μαστίχας (Ιεραπετρίτης 2006). Η συγκεκριμένη αποτέλεσε από την «γέννηση» των Μεστών, το κέντρο όχι μόνο της απασχόλησης και της οικονομικής τους δραστηριότητας αλλά και το κύριο συστατικό διαμόρφωσης της ευρύτερης ταυτότητας του οικισμού όπως και των υπόλοιπων μαστιχοχωριών. Η διαμόρφωση του οικιστικού χαρακτήρα της είναι άμεση απόρροια αυτής της δραστηριότητας. Κατά τα τελευταία χρόνια της Βυζαντινής αυτοκρατορίας, συγκροτείται για πρώτη φορά μια μορφή ένωσης των Μαστιχοχωριών με εμπορική επιτυχία ενώ η γενονατική διοίκηση είναι αυτή που για λόγους άμυνας, ελέγχου και κυρίως εκμετάλλευσης της μαστίχας, δημιουργεί τα χωριά-κάστα. Αυτή την περίοδο η ιδιοκτησία των σχίων (μαστιχόδενδρα) ανήκε στους Γενούτες στη εταιρεία "Μάονα", που δημιουργήθηκε για αυτό τον λόγο. Οι κάτοικοι των Μεστών, όπως και των άλλων μαστιχοχωριών, ήταν απλοί εργάτες που πρόσφεραν τις υπηρεσίες τους στην εταιρεία.

Οι Τούρκοι με τη σειρά τους, παραχώρησαν ιδιαίτερα προνόμια λόγω της παραγωγής της μαστίχας. Τα μαστιχοχώρια αφιερώνονται στη μητέρα του σουλτάνου και αποτέλεσαν ξεχωριστή διοικητική περιφέρεια, με άμεση εξάρτηση από την Κωνσταντινούπολη. Οι Γέροντες των Μεστών μετείχαν στο δεύτερο βαθμό τοπικής αυτοδιοίκησης που είχαν τα μαστιχοχώρια, φροντίζοντας για τη λειτουργία του νοσοκομείου, του σχολείου και συμμετείχαν στην εκλογή του εφόρου των μαστιχοχωριών στην Κωνσταντινούπολη.

Σήμερα η εικόνα δεν είναι ιδιαίτερα διαφορετική. Τα Μεστά είναι κυρίως γεωργική περιοχή (απασχόληση πρωτογενής: 50 άτομα, δευτερογενής: 23 άτομα, τριτογενής: 50 άτομα, ΕΣΥΕ 2001). Η καλλιέργεια μαστιχόδενδρων είναι κυρίαρχη αλλά δεδομένων των σημερινών συνθηκών όχι το ίδιο προσοδοφόρα ή καλύτερα τόσο αποτελεσματική για την κοινωνία των μαστιχοχωριών.

Παράλληλα εκδηλώνεται μια προτίμηση και στην παροχή τουριστικών υπηρεσιών. Ένας αριθμός ξενώνων και ξενοδοχείων είναι επίσημα δηλωμένοι (19 ξενώνες – ξενοδοχεία, ΕΣΥΕ 2001). Αυτή η δραστηριότητα είναι πρόσθετη και εποχιακή. Δημόσιοι υπάλληλοι και τεχνίτες, κυρίως οικοδομών συμπληρώνουν το προφίλ του μέσου κατοίκου.

Η **πολεοδομία** των Μεστών οργανώνεται γύρω από το μοναστήρι στο οποίο είναι προσαρτημένος περιφερειακά μικρός οικισμός (Γαβαλάς-Μονιούδης 1978). Δευτερευόντως η οργάνωση του οικισμού στηρίζεται στην ασφάλεια των κατοίκων και είναι η βασική αρχή

σχηματισμού του χώρου.

Το κυρίαρχο στοιχείο είναι ο έμμεσος αμυντικός χαρακτήρας του χωριού. Οι ίδιες κατοικίες αποτελούν την αμυντική υποδομή του οικισμού. Δεν κατασκευάζεται τείχος αλλά διαμορφώνεται από την εξωτερική πλευρά των περιμετρικών κατοικιών. Αυτές οι κατοικίες δεν ξεχωρίζουν η μία από την άλλη αλλά αποτελούν μία κατά μήκος συνέχεια. Δύο αμυντικοί πύργοι ενσωματώνονται στο τείχος.

Το γεωμετρικό κέντρο των Μεστών κατέχει η εκκλησία του Μεγάλου Ταξιάρχη, που είναι χαρακτηριστικό της βυζαντινής περιόδου και αρχικής συσπείρωσης του οικισμού γύρω από την εκκλησία. Το οδικό δίκτυο της πολίχνης είναι ακανόνιστο με αρκετά αδιέξοδα. Το πλάτος των δρόμων μικρό όπως σε όλους τους μεσαιωνικούς οικισμούς. Συχνά τους δρόμους στηρίζουν αψιδωτά στηρίγματα (καμάρες), για λόγους στατικής λόγους λειτουργικότητας, ή αμυντικούς (διασφάλιση διαφυγής από τις σκεπές). Οι οδοί είναι λιθόστρωτοι με διαμορφωμένη στο κέντρο επιφανειακή διαφυγή όμβριων και λυμάτων.

Οι κατοικίες είναι δώροφες με μικρή επιφάνεια κάλυψης. Από τις 868 οι 468 είναι ισόγειες και 404 με ένα όροφο (ΕΣΥΕ 2001). Αποτελούν την κυρίαρχη και πρωτογενή μονάδα στην πολεοδομία των Μεστών. Με την επανάληψη αυτού του απλουστευμένου γεωμετρικού όγκου, με μικρές παραλλαγές, προκύπτει το σχήμα του συνόλου του οικιστικού όγκου. Οι ισόγειοι χώροι χρησιμοποιούνται ως επαγγελματικοί ή ως αποθηκευτικοί χώροι ενώ ο δεύτερος όροφος για κατοικία. Το κυρίαρχο υλικό κατασκευής είναι η πέτρα, τόσο για τις κατοικίες όσο και για το δίκτυο δρόμων και της πλατείας περί την εκκλησία Σε ένα σύνολο 868 οι 709 έχουν ως υλικό κατασκευής την πέτρα (ΕΣΥΕ 2001). Το ύψος των κατοικιών είναι περίπου το ίδιο και οι σκεπές επίπεδες (843 κατοικίες έχουν ταρατσα (ΕΣΥΕ 2001). Πιθανά αυτή η διαμόρφωση αποτέλεσε συνέχεια και συμπλήρωση της λογικής αμυντικής κατασκευής του χωριού, δίνοντας τη δυνατότητα κίνησης επί των στεγών.

Σε κάθε περίπτωση ο οικισμός παρουσιάζει μια εικόνα «συμπαγούς αντικειμένου» πενταγωνικού σχήματος. Δίνει την εντύπωση της «δια μιας» κατασκευής. Σχηματίζεται η αντίληψη ότι υπάρχουν ένα ομογενές αστικό αντικείμενο και όχι ένα σύνολο ιδιωτικών κατοικιών. Η εντύπωση αυτή εντείνεται από την ομοιομορφία των όψεων των κατοικιών και παγιώνεται από την φαινόμενη έλλειψη ολοκληρωμένου δικτύου δρόμων που δημιουργείται από την απόκρυψη του, από τις καμάρες. Η αισθητική του οικισμού στηρίζεται κυρίως στην δημιουργία μιας εικόνας συνόλου, μιας συμπαγούς μορφής αστικής συσπείρωσης και καθόλου στην προβολή και τον τονισμό της κατοικίας.

6. Το μέλλον: ζωντανός οικισμός ή μνημείο;

Με την ανάπτυξη του κάθε οικισμού διαμορφώνονται ορισμένες βασικές λειτουργίες, που μετά εξελίσσονται σε σημαντικούς παράγοντες για τη επιβίωση και το ρόλο του.

Ένας από αυτούς είναι η οικονομική λειτουργία που κατά μερικούς μελετητές είναι το κεντρικό κριτήριο στον ορισμό της πόλης. Η πορεία (εργασία – παραγωγή – διάθεση – κατανάλωση – εργασία) είναι κινητήρια δύναμη της πόλης (Derruau, 1976, Claval 1984).

Στο ερώτημα αν ο οικισμός των Μεστών μπορεί να συντηρήσει ένα ικανό πλέγμα οικονομικών δραστηριοτήτων η απάντηση είναι μάλλον αρνητική. Η γεωργική απασχόληση αφορά κυρίως την παραγωγή μαστίχας. Τα εσπεριδοειδή, η παραγωγή οίνου και η μικρή ελαιοπαραγωγή δεν μπορούν να θεωρηθούν ικανά να φέρουν το βάρος μίας τέτοιας δυναμικής. Ο τουρισμός είναι εποχιακός και επικεντρώνει το ενδιαφέρον του στο μεσαιωνικό τοπίο της πόλης. Η πόλη διαθέτει στοιχειώδη υποδομή δραστηριοτήτων ψυχαγωγίας και σχετίζεται έμμεσα με τον παραθαλάσσιο τουρισμό.

Η δε κυρίαρχη απασχόληση με τη μαστίχα δείχνει να συρρικνώνεται. Μελέτες στη περιοχή του Πυργίου δείχνουν συρρίκνωση των εκτάσεων καλλιέργειας της μαστίχας παρά την δηλούμενη εντατικοποίηση της παραγωγής (Θωμαΐδου 2007). Θα πρέπει να τονιστεί ότι το

50% της κάλυψης των εδαφών αφορούν την μαστίχα που παρά τις διαπιστώσεις εξακολουθεί να είναι το κέντρο της αγροτικής δραστηριότητας. Η εικόνα επιτείνεται ακόμα περισσότερο αν λάβει κανείς υπ' όψιν τα ανθρώπινα δεδομένα ενός γηρασμένου πληθυσμού, του οποίου το 63% είναι μη ενεργό.



Τα Μεσά δύσκολα μπορεί να ειπωθεί, ότι απαντούν επαρκώς σε μία υγιή οικονομική λειτουργία. Ιστορικά λειτούργησαν ως ένας συμπαγής οικονομικός μηχανισμός στα πλαίσια μιας μεγάλης ενιαίας αγοράς, στην αρχή της Βυζαντινής και ύστερα της Οθωμανικής αυτοκρατορίας. Αυτό επέτρεψε την επί αρκετούς αιώνες άνθηση της τοπικής τους οικονομίας. Ο συνασπισμός όλων των μαστιχοχωριών αύξησε την δυναμική αυτής της δραστηριότητας που λειτούργησε ευεργετικά για την κοινωνία. Εξ αιτίας αυτού, σε όλα τα καθεστώτα υπήρξε αντικείμενο ιδιαίτερης αντιμετώπισης, ειδικών ρυθμίσεων και προνομίων.

Είναι όμως αυτό σήμερα δυνατόν να διασφαλίσει τη συνέχεια των Μεστών και των μαστιχοχωριών. Είναι όντως παρακινδυνευμένο να πιστέψει κανείς ότι η μαστίχα από μόνη της μπορεί να επιτρέψει την ομαλή οικονομική λειτουργία του οικισμού, παρά τα ανοίγματα και τις πωλήσεις από στον αραβικό κόσμο μέχρι την Ιαπωνία. Δεν πρέπει να προξενεί έκπληξη το γεγονός, αν αναλογιστούμε, ότι μεγάλο μέρος των δραστηριοτήτων του βρετανικού ναυτικού στηρίζονταν στην μεταφορά μπαχαρικών πριν από μερικούς αιώνες! Οι λειτουργίες των αγορών είναι εντελώς διαφορετικές, οι προτιμήσεις επίσης και η παραγωγή μπορεί και αλλάζει τόπο καταγωγής. Άρα η κοινωνία των Μεστών δύσκολα μπορεί μέσω αυτής της πατροπαράδοτης και ιδιαίτερης παραγωγής, να διασφαλίσει τέτοια δραστηριότητα που να μπορεί να συντηρήσει τον οικισμό.

Οι παγκόσμιες κοινωνικο-πολιτικές συνθήκες (δημιουργία εθνικών κρατών άρα πάψη ενιαίων μεγάλων αγορών) συνθήκες και διατροφικών αλλαγών ώθησε την κύρια δραστηριότητα του τόπου σε περιθωριακό επίπεδο παρά τη σημερινή επιστροφή σε «καθαρά, υγιεινά, οικολογικά προϊόντα» και φυσικά το ανθρώπινο δυναμικό του οικισμού και των άλλων οικισμών αποδυναμώθηκε δραστικά.

Γηρασμένος πληθυσμός, κυρίως συνταξιούχοι μη ενεργοί οικονομικά και χαμηλό μορφωτικό επίπεδο αποτελούν τον πληθυσμό του τόπου. Ενώ επί της οθωμανικής είχαν την δυνατότητα αντιπροσώπευσης στα πιο υψηλά κρατικά κλιμάκια. Ούτε η δραστηριότητα, ούτε και οι ανθρώπινες δυνατότητες μπορούν να δώσουν συνέχεια σε μια υγιή συνέχιση του ρυθμού της πόλης. Άρα πώς το κέλυφος, το αστικό τοπίο μπορεί να διατηρηθεί χωρίς να αποτελέσει τροχοπέδη στην ζωή και πώς μπορεί να αποφευχθεί η σταδιακή μεταμόρφωση

τους σε ένα νεκρό και άδειο κέλυφος, δηλαδή σε ένα νεκρό «μνημείο»;

Εκτός από μια σειρά οικισμών που συμπεριλαμβάνει Μεστά, Πυργί και Ολυμποί, οι άλλοι οικισμοί των μαστιχοχωρίων που είχαν τα ίδια μορφολογικά χαρακτηριστικά, σταδιακά μεταλλάχθηκαν σε σύγχρονα χωριά. Μπορεί να δει κανείς ότι μερικά στοιχεία του καστρο-οικισμού παραμένουν και άλλα αλλάζουν. Το παλιό ζει με το σημερινό. Η παλιά εικόνα όμως έπαψε να υπάρχει. Μία πρώτη επιτόπια αυτοψία δείχνει ότι, όταν ο οικισμός δεν έχει εγκαταλειφθεί, η σημερινή οικονομική δυναμική τον ωθεί σε μια σταδιακή μορφολογική αλλαγή. Ο παλαιός καστρο-οικισμός, εξ αιτίας του νομοθετικού πλαισίου, παραμένει ο ίδιος, όμως ο περίγυρος αλλάζει. Γύρω του προστίθενται νέες κατοικίες που τείνουν να τον μετατρέψουν σε πυρήνα ενός ευρύτερου οικιστικού συνόλου. Τείνουν να τον μεταβάλουν σε «κέντρο» της πόλης. Αυτό αφορά τους πιο διατηρημένους οικισμούς Μεστά, Πυργί Ολυμποί. Ενώ στα υπόλοιπα μαστιχώχωρα παρατηρείται τρώση του νομοθετικού πλαισίου, που σημαίνει την είσοδο νέων κατασκευών στον παλιό ιστό και κατά συνέπεια την βαθμιαία αποσύνθεσή τους. Να σημειωθεί ότι αυτή η αύξηση του οικιστικού σώματος δεν συνοδεύεται από αύξηση πληθυσμού αλλά από μείωση! Αυτό το γεγονός δηλώνει την λειτουργική ανεπάρκεια του και δικαιολογεί την αναζήτηση - κατασκευή νέων κατοικιών με σύγχρονες διευκολύνσεις.

7. Σαν επίλογος

Η εικόνα των Μεστών υπήρξε δημιούργημα μια σφριγηλής οικονομικής δραστηριότητα η οποία δεν υπάρχει σήμερα με την ίδια μορφή, ένταση και επικαιρότητα. Η τοπική κοινωνία και η πολιτεία, αναγνωρίζουν ορθά, σ' αυτή την εικόνα, την σπουδαιότητα της διατήρησης του παρελθόντος, και προσπαθούν να το διαφυλάξουν. Οι δείκτες όμως ανθρωπίνης, οικονομικής και οικιστικής δραστηριότητας είναι πτωτικοί και όχι ενθαρρυντικοί για το μέλλον. Η μέριμνα προστασίας είναι ορθή αλλά εγείρει ερωτήματα μήπως ωθούμε στην συντήρηση και προβολή απλώς μιας εικόνας, αφήνοντας στο παρασκήνιο έναν ευρύτερο σχεδιασμό που θα δημιουργήσει ουσιαστικές συνθήκες αναβίωσης της αστικής κληρονομιάς;

Βιβλιογραφία

- Claval P., (1984), *Geographie humaine et economique contemporaine*, Puf, Paris.
- Derruau M., (1976), *Geographie humaine*, Armand Colin, Paris.
- Planel-Marchand A., (1981), *La protection des sites*, PUF, Paris.
- Sidiropoulos G, Vasilakos A. (2006), *Ultra-real or symbolic visualization? The case of the city through time*. *Computers & Graphics* 30 (2): 299-310
- UNESCO World Heritage Centre, <http://whc.unesco.org>
- Βελένης Γ., (1972), *Επισκόπησης και αξιολόγησης πολιτιστικών μνημείων Ελλάδος*, ΚΕΠΕ, Αθήνα.
- Γαβαλάς Θ.-Μονιούδης Θ., (1978), «Χωρική ανάλυση των μεσαιωνικών οικισμών της Χίου», *Αρχιτεκτονικά Θέματα* Νο12, 86-93.
- ΕΣΥΕ (2001), *Στοιχεία απογραφής 2001, 1991, 1981, 1971*, ΕΣΥΕ, Αθήνα.
- Θωμαΐδου Α. (2007), «Μοντελοποίηση πολυφασματικής ταξινόμησης και αλλαγής κάλυψης εδάφους. Εφαρμογή σε δεδομένα Landsat διαφόρων χρονικών στιγμών για τη χαρτογράφηση της κάλυψης του εδάφους και της μεταβολής του στα νότια της νήσου Χίου», *Μεταπτ. διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, τμ Γεωγραφίας, Μυτιλήνη*.
- Ιεραπετρίτης Γ., (2006), «Η συμβολή της τοπικής οργάνωσης των μαστιχοχωρίων στην διαχείριση του χώρου κατά την περίοδο 1566-1866 της οθωμανικής κυριαρχίας», *Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, τμ Γεωγραφίας, Μυτιλήνη*.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΛΟΓΟΥΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΜΕ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ

Σκιάνης Γ.¹, Βαϊόπουλος Δ.¹, Νικολακόπουλος Κ.²

¹Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εργαστήριο Τηλεανίχνευσης

²Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (IGME)

Περίληψη

Σε γεωλογικές και περιβαλλοντικές έρευνες, συχνά χρησιμοποιείται η τεχνολογία της τηλεανίχνευσης για την παραγωγή εικόνων που προκύπτουν από λόγους δυο διαφορετικών φασματικών ζωνών με ανακλαστικότητα x και y . Ο βαθμός στον οποίο συσχετίζονται μεταξύ τους οι τιμές x και y των εικόνων των δυο φασματικών ζωνών από την ίδια περιοχή, ο οποίος εκφράζεται ποσοτικά μέσω του γραμμικού συντελεστή συσχέτισης ρ , επηρεάζει την οπτική αντίληψη της παραγόμενης εικόνας του λόγου x/y . Φασματικές ζώνες μεγάλης θετικής συσχέτισης, αναμένεται να παράγουν εικόνες λόγου x/y με ιστογράμματα μικρού εύρους και μικρής τυπικής απόκλισης. Η μικρή τυπική απόκλιση εκφράζει εικόνα χαμηλής αντίθεσης φωτεινότητας, που δεν ευνοεί την ευκρινή αποτύπωση των διαφόρων στόχων ενδιαφέροντος.

Στην παρούσα εργασία μελετάται με ποσοτικούς όρους, και με τη βοήθεια δισδιάστατων κατανομών, η επιρροή του συντελεστή συσχέτισης ρ στην τυπική απόκλιση της εικόνας του λόγου φασματικών ζωνών. Από τη μελέτη της συμπεριφοράς της κατανομής που περιγράφει το λόγο x/y , συμπεραίνεται ότι αυξανόμενης της τιμής του ρ μειώνεται σημαντικά η τυπική απόκλιση της εικόνας, ιδίως αν το ρ υπερβαίνει το 0,5. Θεωρητικοί συλλογισμοί σε συνδυασμό με πειραματισμό με δορυφορική εικόνα, έδειξαν ότι όταν η τιμή του ρ είναι μεγάλη, είναι δυνατόν, αντί του λόγου x/y , να χρησιμοποιηθεί ο λόγος $(x/y)^2$, προκειμένου να παραχθεί εικόνα με μεγαλύτερη τυπική απόκλιση, επομένως και με καλύτερη αντίθεση φωτεινότητας. Τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας μπορούν να αξιοποιηθούν σε φυσικογεωγραφικές, περιβαλλοντικές και μεταλλευτικές έρευνες, με τη συνδρομή της τηλεανίχνευσης.

A STUDY OF THE STATISTICAL BEHAVIOR OF DIGITAL IMAGES PRODUCED BY CONSIDERABLY CORRELATED BAND RATIOS

Skianis G.¹, Vaiopoulos D.¹, Nikolakopoulos K.²

¹University of Athens, Faculty of Geology and GeoEnvironment, Remote Sensing Laboratory

²Institute of Geological and Mineral Exploration (IGME)

Abstract

In geological and environmental research, remote sensing technology is often used to produce images of spectral band ratios x/y . The correlation between x and y values of the two spectral bands is expressed in quantitative terms by the linear correlation coefficient ρ and it influences the optical effect of the image of the ratio x/y . Spectral bands with a high positive correlation, are expected to produce x/y images with narrow histograms and low standard deviations. A low standard deviation expresses an image with a poor brightness contrast, which does not help the targets of interest to be expressed clearly.

In the present paper we study, using appropriate bivariate distributions, how the correlation coefficient influences, in quantitative terms, the standard deviation of the image

of the spectral bands ratio. The behavior of the distribution of the x/y values shows that as long as the value ρ increases, the standard deviation of the image decreases considerably, especially when ρ is more than 0.5. Theoretical considerations combined with experimentation on a satellite image, show that when ρ is high, it is possible to use the ratio $(x/y)^2$ instead of x/y , in order to produce an image with a larger standard deviation, which means a better brightness contrast. The conclusions of this paper may be useful in geographical, environmental and mineral research, when remote sensing data are available.

Λέξεις κλειδιά: γραμμικός συντελεστής συσχέτισης, λόγος φασματικών ζωνών, τυπική απόκλιση, γκαουσιανή κατανομή.

Key words: linear correlation coefficient, spectral bands ratio, standard deviation, Gaussian distribution.

1. Εισαγωγή

Από τα πρώτα βήματα της αξιοποίησης των πολυφασματικών εικόνων στις γεωεπιστήμες, είχε γίνει αντιληπτό ότι οι εικόνες που παράγονται από λόγους διαφορετικών ζωνών μπορούν να αξιοποιηθούν στη χαρτογράφηση της φυτοκάλυψης, για γεωλογικές και περιβαλλοντικές μελέτες. Οι Birth & McVey (1968) πρότειναν ένα ηλίκο τιμών ανακλαστικότητας στις ζώνες εγγύς υπέρυθρου και ερυθρού, που ορίζεται από τη σχέση:

$$u = \frac{x}{y} = \varphi(x, y) \quad (1)$$

x είναι η ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο και y είναι η ανακλαστικότητα στο ερυθρό. Η σχέση (1) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης βλάστησης για τη χαρτογράφηση της φυτοκάλυψης μιας περιοχής έρευνας. Συχνότερα χρησιμοποιούνται άλλοι δείκτες βλάστησης, όπως ο NDVI (Rouse et. al. 1974), ο TVI (Deering et. al. 1975), ο SAVI (Huete 1988), TSAVI (Baret et. al. 1989), ο MSR (Chen 1996) και πολλοί άλλοι. Ωστόσο, οι αλγεβρικές εκφράσεις για τους παραπάνω δείκτες μπορούν να γραφούν ως συναρτήσεις του λόγου u που ορίζεται από τη σχέση (1), και αυτό προσδίδει ένα ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον όσον αφορά στη μελέτη της στατιστικής συμπεριφοράς των ψηφιακών εικόνων u .

Εξ άλλου, λόγοι φασματικών ζωνών με βάση τη σχέση (1) αξιοποιούνται και στη μεταλλευτική έρευνα, για αναγνώριση ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης (Davis & Berlin 1989, Knepper & Simpson 1992, Goossens & Kroonenberg 1994, White et. al. 1997). Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι μεταβλητές x και y εκφράζουν τιμές ανακλαστικότητας σε διάφορες ζώνες του μέσου υπέρυθρου.

Για να αποτυπωθούν ευκρινώς οι στόχοι ενδιαφέροντος σε μια εικόνα λόγου φασματικών ζωνών, θα πρέπει η αντίθεση φωτεινότητας της εικόνας να είναι αρκετά έντονη, που σημαίνει ότι η τυπική απόκλιση του ιστογράμματος τιμών φωτεινότητας να είναι αρκετά υψηλή. Σε αυτό το σημείο όμως, μπορεί κανείς να εκτιμήσει διαισθητικά ότι αν υπάρχει μια σημαντική συσχέτιση μεταξύ των ζωνών x και y που ενδείκνυται για τη διεξαγόμενη γεωλογική ή περιβαλλοντική έρευνα, η τυπική απόκλιση μπορεί να είναι μικρή και η αντίθεση φωτεινότητας χαμηλή. Τίθενται επομένως τα παρακάτω ερωτήματα:

α) Πώς επηρεάζεται, με ποσοτικούς όρους, η τυπική απόκλιση σ της εικόνας φασματικού λόγου από το γραμμικό συντελεστή συσχέτισης ρ , με τον οποίο ποσοτικοποιείται η γραμμική συσχέτιση μεταξύ x και y ;

β) Πώς μπορεί να τροποποιηθεί η μαθηματική έκφραση για το λόγο φασματικών ζωνών ώστε οι παραγόμενες εικόνες να έχουν μια σχετικά υψηλή τυπική απόκλιση και μια καλή αντίθεση φωτεινότητας;

Αυτά τα δυο ερωτήματα είναι αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Η διαπραγμάτευσή τους γίνεται με τη βοήθεια της θεωρίας κατανομών, τροποποιώντας μια μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε πρόσφατα από τους συγγραφείς (Vaiopoulos et. al. 2004, Σκιάνης κ.α. 2004α, β). Καθώς διάφοροι δείκτες βλάστησης μπορούν να εκφραστούν ως συνάρτηση της σχέσης (1), τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας ενδιαφέρουν ευρύτερα την περιβαλλοντική έρευνα για χαρτογράφηση φυτοκάλυψης, ακόμα και σε περιπτώσεις που δε χρησιμοποιείται ο απλός δείκτης βλάστησης της σχέσης (1). Ενδιαφέρουν επίσης και τη μεταλλευτική έρευνα, όταν επιχειρείται η χαρτογράφηση υδροθερμικών ζωνών εξαλλοίωσης, αξιοποιώντας πολυφασματικές εικόνες.

2. Η πιθανοθεωρητική προσέγγιση

Για την περιγραφή του ιστογράμματος των τιμών φωτεινότητας ψηφιακής εικόνας, μπορεί να αξιοποιηθεί η γκαουσιανή κατανομή (Gonzalez & Wintz 1987, Schowengerdt 1997). Με βάση αυτήν την προσέγγιση, το ιστόγραμμα της ζώνης x είναι δυνατό να περιγραφεί από την παρακάτω γκαουσιανή κατανομή $p_1(x)$:

$$p_1(x) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{(x - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2} \right] \quad (2)$$

μ_1 και σ_1 είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της κατανομής, αντίστοιχα.

Για τη ζώνη y , η αντίστοιχη κατανομή $p_2(y)$ ορίζεται ως:

$$p_2(y) = \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{(y - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2} \right] \quad (3)$$

μ_2 και σ_2 είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της κατανομής, αντίστοιχα.

Αν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των τιμών ανακλαστικότητας x και y , με συντελεστή συσχέτισης ρ , η συνδυασμένη κατανομή $f(x, y)$ προσδιορίζεται από τη σχέση (Κάκουλλος 1972, Schowengerdt 1997):

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(x-\mu_1)^2}{\sigma_1^2} - 2\rho \cdot \frac{(x-\mu_1)(y-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(y-\mu_2)^2}{\sigma_2^2} \right] \right\} \quad (4)$$

Η κατανομή τιμών $g(u)$ του απλού λόγου φασματικών ζωνών που ορίζεται από τη σχέση (1), μπορεί να προσδιοριστεί με βάση τη σχέση (Vaiopoulos et.al. 2004):

$$g(u) = \int_0^1 |J| \cdot f(v, \varphi^{-1}[u, v]) dv \quad (5)$$

v είναι μια μεταβλητή εξ ορισμού ίση με x . φ^{-1} είναι η αντίστροφη συνάρτηση της φ που ορίζει τον απλό λόγο u . J είναι η ιακωβιανή των x και y ως προς u και v . Το διάστημα ολοκλήρωσης είναι το διάστημα τιμών της v (ουσιαστικά της x). Στη συγκεκριμένη περίπτωση όπου έχουμε τιμές ανακλαστικότητας, το διάστημα ολοκλήρωσης είναι το $[0, 1]$.

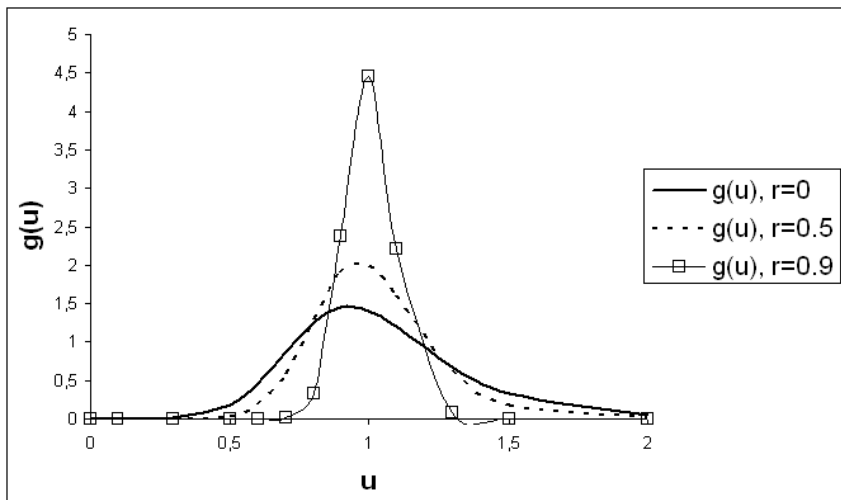
Από τις σχέσεις (1), (4) και (5) συνάγεται η παρακάτω έκφραση για την κατανομή $g(u)$:

$$g(u) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \int_0^1 \frac{x}{u^2} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(x-\mu_1)^2}{\sigma_1^2} - 2\rho \cdot \frac{(x-\mu_1)(x/u-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(x/u-\mu_2)^2}{\sigma_2^2} \right] \right\} dx \quad (6)$$

Η κατανομή $g_m(u_m)$ οποιασδήποτε ποσότητας u_m που είναι συνάρτηση του λόγου u (για παράδειγμα $u_m = \arctan(u)$), μπορεί να προσδιοριστεί από την $g(u)$ με βάση τη σχέση (Spiegel 1977):

$$g_m(u_m) = g[F^{-1}(u_m)] \cdot \left| \frac{du}{du_m} \right| \quad (7)$$

F^{-1} είναι η αντίστροφη συνάρτηση της F μέσω της οποίας ορίζεται το u_m από το u .



Σχήμα 1. Η κατανομή $g(u)$ για διάφορες τιμές του συντελεστή συσχέτισης ρ . $\mu_1 = \mu_2 = 0.5$, $\sigma_1 = \sigma_2 = 0.1$

Με βάση τη σχέση (6), είναι δυνατός ο υπολογισμός των τιμών της κατανομής g του λόγου u , για διάφορες τιμές του συντελεστή συσχέτισης ρ . Στο (σχ. 1) παρουσιάζεται η κατανομή $g(u)$ για διάφορες τιμές του ρ , θέτοντας μέση τιμή των x και y ίση με 0.5 και τυπική απόκλιση των x και y ίση με 0.1. Είναι φανερό ότι στο βαθμό που αυξάνεται το ρ , οι τιμές του u τείνουν να συγκεντρώνονται γύρω από μια επικρατούσα τιμή, με αποτέλεσμα να μειώνεται η διασπορά της κατανομής. Μείωση της διασποράς (επομένως και της τυπικής απόκλισης), σημαίνει περιορισμό της αντίθεσης φωτεινότητας της ψηφιακής εικόνας του λόγου u . Είναι λοιπόν σημαντικό να μελετηθεί, με ποσοτικούς όρους, η επίδραση του συντελεστή συσχέτισης στην τυπική απόκλιση της κατανομής των τιμών του λόγου φασματικών ζωνών.

Η τυπική απόκλιση σ του λόγου u ορίζεται από τη σχέση:

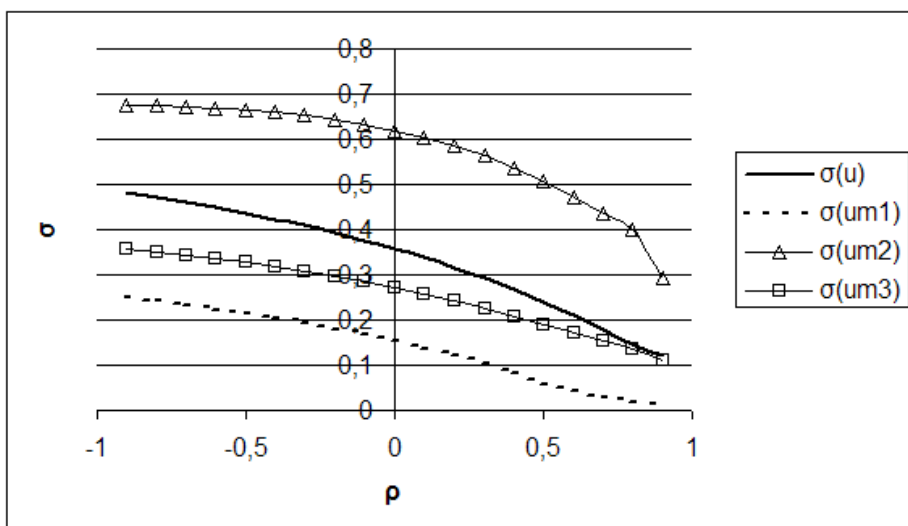
$$\sigma = \sqrt{\int_R (u - \mu)^2 g(u) du} \quad (8)$$

R είναι το διάστημα τιμών του u . μ είναι η μέση τιμή του u , που ορίζεται ως:

$$\mu = \int_R u \cdot g(u) du \quad (9)$$

3. Η μεταβολή της τυπικής απόκλισης και του συντελεστή μεταβλητότητας ως προς το γραμμικό συντελεστή συσχέτισης

Για τη μελέτη της μεταβολής της τυπικής απόκλισης ως προς το γραμμικό συντελεστή συσχέτισης ρ , υποθέσαμε ότι τα ιστογράμματα των καναλιών x και y ακολουθούν γκαουσιανή κατανομή με κοινή μέση τιμή $\mu_1 = \mu_2 = 0.5$ και κοινή τυπική απόκλιση $\sigma_1 = \sigma_2 = 0.1$. Προφανώς είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν γκαουσιανές κατανομές με άλλες τιμές στατιστικών παραμέτρων, όμως για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας αρκούμαστε σε αυτές τις τιμές. Με βάση τις σχέσεις (1), (6), (8) και (9) υπολογίσαμε την τυπική απόκλιση του απλού λόγου φασματικών ζωνών u για διάφορες τιμές του ρ . Στο (σχ. 2) εμφανίζεται η μεταβολή της τυπικής απόκλισης του u , $\sigma(u)$, ως προς ρ .



Σχήμα 2. Μεταβολή της τυπικής απόκλισης των ποσοτήτων u , u_{m1} , u_{m2} και u_{m3} ως προς ρ .

Παρατηρούμε ότι αυξανόμενου του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης ρ , μειώνεται η τυπική απόκλιση του λόγου u . Αν η συσχέτιση είναι αρνητική, τότε η τυπική απόκλιση $\sigma(u)$ είναι μεγαλύτερη από αυτήν που αντιστοιχεί σε μηδενική συσχέτιση. Στο (σχ. 3) εμφανίζεται η μεταβολή της κανονικοποιημένης ως προς $\rho = 0$ τιμής $\sigma(u)$ ως προς ρ (λόγος $\sigma(\rho)/\sigma(\rho = 0) = \sigma(u)$, norm). Όταν το ρ δεν υπερβαίνει το 0.3, η τυπική απόκλιση δεν διαφέρει περισσότερο από το 20% της τιμής που αντιστοιχεί σε μηδενική συσχέτιση ($\rho = 0$). Για $\rho = 0.5$ η διαφορά είναι πάνω από 30% και αυξάνεται περισσότερο, στο βαθμό που αυξάνεται το ρ .

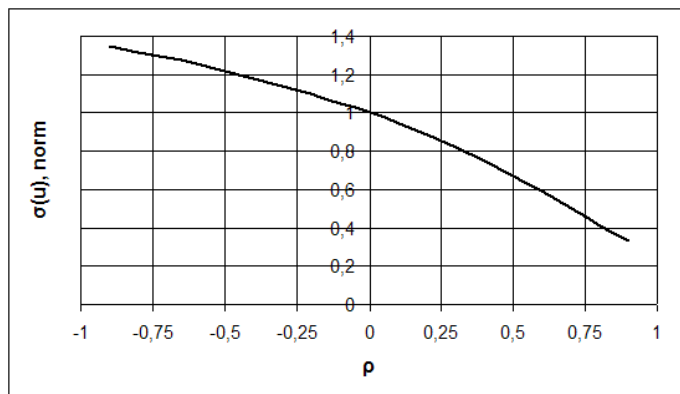
Συχνά, αντί για το λόγο u χρησιμοποιείται ο τροποποιημένος λόγος φασματικών ζωνών u_{m1} , που ορίζεται από τη σχέση (Faust 1989):

$$u_{m1} = \arctan\left(\frac{x}{y}\right) \quad (10)$$

Η τυπική απόκλιση του u_{m1} , $\sigma(u_{m1})$, ως προς ρ , μπορεί να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη ότι το u_{m1} είναι συνάρτηση του u και αξιοποιώντας τις σχέσεις (6), (7), (8), (9) και (10). Το $\sigma(u_{m1})$ έχει την ίδια συμπεριφορά με αυτήν του $\sigma(u)$, και μάλιστα οι τιμές $\sigma(u_{m1})$ είναι μικρότερες, όπως φαίνεται στο (σχ. 2). Ανακύπτει επομένως το ερώτημα του πώς μπορούν να οριστούν τροποποιημένοι λόγοι φασματικών ζωνών με μεγαλύτερες τυπικές αποκλίσεις, οι οποίες ευνοούν την παραγωγή ψηφιακών εικόνων με καλύτερη αντίθεση φωτεινότητας. Η απάντηση θα μπορούσε να είναι η ύψωση του λόγου x/y στο τετράγωνο, προκειμένου να διευρυνθεί το διάστημα τιμών που λαμβάνει ο δείκτης βλάστησης. Με αυτό το σκεπτικό προτείνουμε τους παρακάτω τροποποιημένους λόγους u_{m2} και u_{m3} :

$$u_{m2} = \left(\frac{x}{y}\right)^2 \quad (11)$$

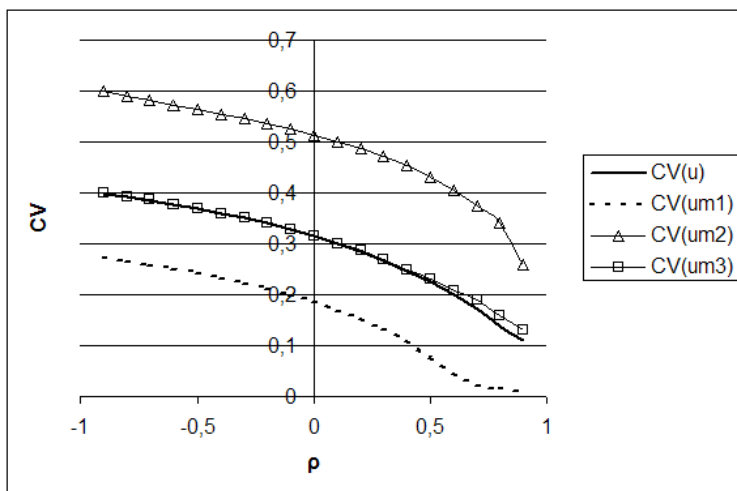
$$u_{m3} = \arctan\left[\left(\frac{x}{y}\right)^2\right] \quad (12)$$



Σχήμα 3. Μεταβολή της κανονικοποιημένης τυπικής απόκλισης $\sigma(u)$, norm ως προς ρ .

Η τυπική απόκλιση $\sigma(u_{m2})$ υπολογίζεται από τις σχέσεις (6), (7), (8), (9) και (11). Η τυπική απόκλιση $\sigma(u_{m3})$ υπολογίζεται από τις σχέσεις (6), (7), (8), (9) και (12). Όπως φαίνεται στο (σχ. 2), οι τυπικές αποκλίσεις των u_{m2} και u_{m3} είναι μεγαλύτερες από αυτές των u και u_{m1} αντίστοιχα, για κάθε ρ . Το ίδιο ισχύει και για το συντελεστή μεταβλητότητας CV (λόγος τυπικής απόκλισης σ προς μέση τιμή μ), όπως φαίνεται στο (σχ. 4).

Με βάση την πιθανοθεωρητική μελέτη της συμπεριφοράς του φασματικού λόγου u , προκύπτει ότι η γραμμική συσχέτιση μεταξύ των φασματικών ζωνών μπορεί να μειώσει σημαντικά την τυπική απόκλιση, άρα και την αντίθεση φωτεινότητας, της παραγόμενης ψηφιακής εικόνας. Οι ποσότητες u_{m2} και u_{m3} , στις οποίες υπεισέρχεται το τετράγωνο του u , έχουν μεγαλύτερη τυπική απόκλιση και συντελεστή μεταβλητότητας. Παρουσιάζει επομένως ενδιαφέρον η εφαρμογή αυτών των τροποποιημένων λόγων φασματικών ζωνών σε πραγματικά δεδομένα.

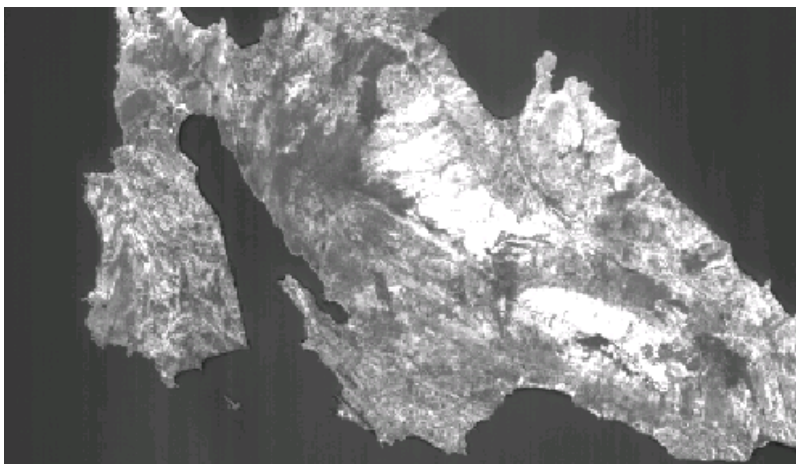


Σχήμα 4. Μεταβολή του συντελεστή μεταβλητότητας CV ως προς το συντελεστή συσχέτισης ρ .

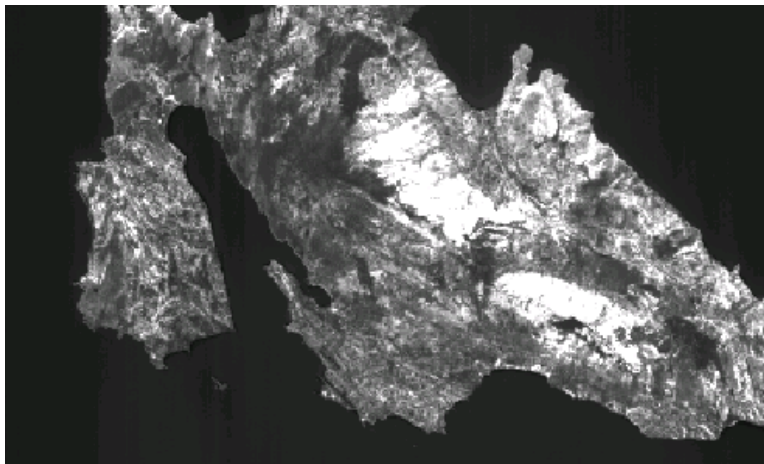
3. Εφαρμογή σε δορυφορική εικόνα

Οι λόγοι u , u_{m1} , u_{m2} και u_{m3} , εφαρμόστηκαν σε δορυφορική εικόνα ASTER από τη Νήσο Κεφαλληνιά. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, οι ζώνες x και y που εμφανίζονται στις σχέσεις (1), (10), (11) και (12) είναι οι ζώνες του εγγύς υπέρυθρου και του ερυθρού, αντίστοιχα. Επομένως οι παραπάνω λόγοι είναι δείκτες βλάστησης. Ο συντελεστής συσχέτισης ρ των ζωνών εγγύς υπέρυθρου και ερυθρού, για το σύνολο της εικόνας, υπολογίστηκε με το εργαλείο CORRELATION του spatial modeler του λογισμικού ERDAS Imagine και βρέθηκε αρκετά υψηλός και ίσος με 0.89.

Στα (σχ. 5) και (σχ. 6) εμφανίζονται οι εικόνες του απλού λόγου u της σχέσης (1) και του τροποποιημένου λόγου u_{m2} , αντίστοιχα. Και στις δυο εικόνες έχει γίνει γραμμική έλκυση ιστογράμματος.



Σχήμα 5. Εικόνα απλού φασματικού λόγου u της Ν. Κεφαλληνιάς.



Σχήμα 6. Εικόνα τροποποιημένου φασματικού λόγου u_{m2} της Ν. Κεφαλληνιάς.

Μπορεί κανείς να δει ότι η εικόνα u_{m2} έχει εντονότερη αντίθεση φωτεινότητας από όσο η εικόνα του απλού φασματικού λόγου u . Από παρατηρήσεις στην οθόνη του υπολογιστή διαπιστώθηκε ότι οι διαφορές στο οπτικό αποτέλεσμα μεταξύ των εικόνων u_{m3} και u_{m1} είναι λιγότερο έντονες.

Υπολογίστηκαν οι θεωρητικά προβλεπόμενες τυπικές αποκλίσεις σ και συντελεστές μεταβλητότητας CV των λόγων u , u_{m1} , u_{m2} και u_{m3} , με βάση τις σχέσεις (1), (6), (7), (8), (9), (10), (11) και (12). Στη σχέση (6), ως τιμές μ_1 και μ_2 τέθηκαν οι μέσες τιμές των καναλιών εγγύς υπέρυθρου και ερυθρού της εικόνας ASTER, αντίστοιχα. Και ως τιμές σ_1 και σ_2 τέθηκαν οι τυπικές αποκλίσεις των καναλιών εγγύς υπέρυθρου και ερυθρού, της ίδιας εικόνας. Η τιμή του ρ είναι η υπολογισθείσα τιμή του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των δυο καναλιών.

Βρέθηκαν επίσης και τα στατιστικά μεγέθη των φασματικών λόγων u , u_{m1} , u_{m2} και u_{m3} της δορυφορικής εικόνας της Ν. Κεφαλληνιάς. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι θεωρητικές εκτιμήσεις σε αντιπαραβολή με τις πραγματικές τιμές των στατιστικών μεγεθών των εικόνων των διαφόρων φασματικών λόγων.

Πίνακας 1. Θεωρητικές εκτιμήσεις και πραγματικές τιμές τυπικής απόκλισης και συντελεστή μεταβλητότητας των φασματικών λόγων u , u_{m1} , u_{m2} και u_{m3}

Φασματικός λόγος	Τυπική απόκλιση (σ)	Σχετική % απόκλιση σ	Συντελεστής μεταβλητότητας (CV)	Σχετική % απόκλιση CV
u (θεωρία)	0.400	18.2	0.386	12.2
u (εικόνα)	0.327		0.388	
u_{m1} (θεωρία)	0.185	25.4	0.248	25.3
u_{m1} (εικόνα)	0.138		0.185	
u_{m2} (θεωρία)	1.193	29.5	0.871	7.2
u_{m2} (εικόνα)	0.841		0.808	
u_{m3} (θεωρία)	0.294	13.9	0.413	13.0
u_{m3} (εικόνα)	0.253		0.359	

Οι επί τοις εκατό σχετικές αποκλίσεις μεταξύ των θεωρητικά προβλεπόμενων και των (πραγματικών) τιμών των στατιστικών μεγεθών της δορυφορικής εικόνας κυμαίνονται από 7% ως 30%. Ωστόσο, οι θεωρητικές εκτιμήσεις και τα πραγματικά δεδομένα συμφωνούν στο ότι ο τροποποιημένος λόγος φασματικών ζωνών u_{m2} (σχέση (11)) παράγει εικόνα με σημαντικά μεγαλύτερη τυπική απόκλιση και συντελεστή μεταβλητότητας από όσο ο απλός λόγος u (σχέση (1)). Το ίδιο ισχύει και για το λόγο u_{m3} (σχέση (12)) σε σύγκριση με το λόγο u_{m1} (σχέση (10)).

Το με πόση ευκρίνεια μπορεί να αποτυπωθεί ένας στόχος, εξαρτάται, σε σημαντικό βαθμό, από τη φασματική του συμπεριφορά στα κανάλια από τα οποία λαμβάνεται ο λόγος. Ωστόσο, τροποποιημένοι λόγοι φασματικών ζωνών ψωμένοι στο τετράγωνο παράγουν εικόνες με ευρύτερο ιστόγραμμα τιμών, που ευνοεί μεγαλύτερες διαφορές τονικότητας μεταξύ εικονοστοιχείων. Επομένως, στο βαθμό που υπάρχει σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ των φασματικών ζωνών x και y , η ύψωση του λόγου x/y στο τετράγωνο μπορεί να εξυπηρετήσει στην παραγωγή εικόνων με βελτιωμένη αντίθεση φωτεινότητας, ώστε να αποτυπώνονται ευκρινέστερα γεωλογικοί και εδαφολογικοί στόχοι ενδιαφέροντος, όπως ζώνες εξαλλοίωσης, καμένες περιοχές ή εδάφη με διαφοροποιημένη πυκνότητα φυτοκάλυψης.

4. Συμπεράσματα

Από την πιθανοθεωρητική μελέτη και τον πειραματισμό με τη δορυφορική εικόνα, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Η συσχέτιση μεταξύ των ζωνών x και y του φασματικού λόγου επηρεάζει το εύρος τιμών και την αντίθεση φωτεινότητας της παραγόμενης εικόνας. Μια σημαντική θετική συσχέτιση μειώνει την τυπική απόκλιση του ιστογράμματος, σε σχέση με αυτήν που προκύπτει από φασματικές ζώνες ασθενούς ή μηδενικής συσχέτισης. Απεναντίας, μια αρνητική συσχέτιση μεταξύ των x και y παράγει εικόνα φασματικού λόγου με μεγαλύτερη τυπική απόκλιση από αυτήν που αντιστοιχεί σε μη συσχετιζόμενες φασματικές ζώνες.

Ο τροποποιημένος λόγος φασματικών ζωνών της μορφής $(x/y)^2$, όπως ορίζεται στη σχέση (11) ή στη σχέση (12), παράγει εικόνες με μεγαλύτερη τυπική απόκλιση και συντελεστή μεταβλητότητας από όσο ο απλός φασματικός λόγος x/y . Επομένως, αυτός ο τροποποιημένος λόγος μπορεί να εξυπηρετήσει στην παραγωγή ψηφιακών εικόνων με βελτιωμένη αντίθεση φωτεινότητας.

Οι θεωρητικές προβλέψεις της πιθανοθεωρητικής προσέγγισης βρίσκονται, γενικά, σε συμφωνία με τα παρατηρησιακά δεδομένα της δορυφορικής εικόνας, παρά τις αναπόφευκτες αποκλίσεις, που οφείλονται στην παραδοχή ότι το ιστόγραμμα της εικόνας έχει γκαουσιανή συμπεριφορά. Κατά συνέπεια, η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να αξιοποιηθεί στη μελέτη της στατιστικής συμπεριφοράς διαφόρων δεικτών βλάστησης και λόγων φασματικών ζωνών, με σκοπό την αξιολόγηση και τροποποίηση αυτών.

Τα πορίσματα της παρούσας εργασίας μπορούν να βοηθήσουν στη γεωλογική και περιβαλλοντική έρευνα, για χαρτογράφηση πυκνότητας βλάστησης, ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης και λιθολογικών τύπων, αξιοποιώντας πολυφασματικές εικόνες, τις οποίες παρέχει η τεχνολογία της τηλεανίχνευσης.

Βιβλιογραφία

Baret, F., G. Guyot, , D. J Major, 1989: TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. Proc. IGARSS'89 and 12th Canadian Symposium on Remote Sensing. Vancouver, Canada, 1355-1358

Birth, G. S. and G. McVey, 1968: Measuring the Color of Growing Turf with a Reflectance Spectrophotometer. Agronomy Journal 60, 640-643

Chen, J., 1996: Evaluation of vegetation indices and modified simple ratio for boreal

applications. Can. J. Remote Sens. 22, 229-242

Davis, P.A. and G.L. Berlin, 1989: Rock Discrimination in the Complex Geologic Environment of Jabal Salma, Saudi Arabia, using Landsat Thematic Mapper Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 55, 1147-1160

Deering, D. W., J. W. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell, 1975: Measuring Forage Production of Grazing Units from Landsat MSS Data. 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment 2, 1169-1178

Faust, N. L., 1989: Image Enhancement. In: Allen Kent and James G. Williams (editors), Encyclopedia of Computer Science and Technology, Vol. 20, Supplement 5. Marcel Dekker Inc.

Gonzalez, R. C. and P. Wintz, 1987: Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Co.

Goossens, M.A. and S.B. Kroonenberg, 1994: Spectral Discrimination of Contact Metamorphic Zones and its Potential for Mineral Exploration, Province of Salamanca, Spain. Remote Sensing of Environment 47, 331-344

Huete, A. R., 1988: A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment 25, 295-309

Knepper, D.H. and S.L. Simpson, 1992: Remote Sensing in Geology and Mineral Resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia. U.S. Geological Survey Bulletin 1975, 47-55

Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering, 1973: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 3rd ERTS Symposium, Vol. 1, 48-62

Schowengerdt, R. A., 1997: Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing. Academic Press, 522pp

Spiegel, M. R., 1977: Πιθανότητες και Στατιστική. ΕΣΠΙ, Αθήνα, 384 σελ.

Vaiopoulos, D., Skianis, G. Aim., and Nikolakopoulos, K., 2004. The contribution of probability theory in assessing the efficiency of two frequently used vegetation indices. International Journal of Remote Sensing 25(20), 4219-4236

White, K., J. Walden, N. Drake, F. Eckardt, J. Settle, 1997: Mapping the Iron Oxide Content of Dune Sands Namib Sea Namibia, using Landsat Thematic Mapper Data. Remote Sensing of Environment 62, 30-39

Κάκουλλος, Θ. Ν., 1972: Μαθήματα Θεωρίας Πιθανοτήτων. Αθήναι.

Σκιάνης, Γ. Αιμ., Βαϊόπουλος, Δ. και Νικολακόπουλος, Κ., 2004: Αξιολόγηση του Δείκτη βλάστησης TVI με τη συνδρομή της Θεωρίας Πιθανοτήτων. 10^ο Διεθνές Συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη 15-17 Απριλίου 2004, Πρκ., 1338-1346.

Σκιάνης, Γ. Αιμ., Βαϊόπουλος, Δ., Νικολακόπουλος, Κ., 2004: Μελέτη της συμπεριφοράς του δείκτη βλάστησης SAVI με βάση τη θεωρία πιθανοτήτων. Πρκ. 7^{ου} Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2004, τ. II, 291-298.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ HAZUS ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΙΘΑΝΩΝ ΖΗΜΙΩΝ ΣΤΟ ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ ΑΠΟΘΕΜΑ ΠΡΟΚΑΛΟΥΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΡΕΑΛΙΣΤΙΚΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Τεχνίτης Γ.

Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών

Περίληψη

Η εργασία αυτή αφορά την εφαρμογή του λογισμικού HAZUS MH R1της FEMA στον ελλαδικό χώρο με βάση ένα πραγματικό σεισμικό σενάριο και την εκτίμηση των δυνατοτήτων του λογισμικού κυρίως σε ότι αφορά την εισαγωγή και διαχείριση ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων. Αρχικός προσανατολισμός ήταν η εισαγωγή αυτούσιας της περιοχής και η προσομοίωση σεισμικών σεναρίων πάνω σε αυτή. Δεδομένου του ότι το HAZUS έχει σχεδιασθεί αποκλειστικά για χρήση εντός της Αμερικανικής Επικράτειας κάποιοι περιορισμοί και αποκλίσεις παρουσιάστηκαν κατά την εφαρμογή. Αυτό που τελικά επετεύχθει, ήταν η όσο το δυνατόν πιστότερη προσαρμογή των συνθηκών μιας ενυπάρχουσας περιοχής του προγράμματος στα ελληνικά δεδομένα και η επιλογή ρεαλιστικών σεισμικών σεναρίων για την αποτίμηση απωλειών.

IMPLEMENTATION OF HAZUS IN A GREEK TERRITORY IN ORDER TO ASSESS THE POTENTIAL DAMAGE IN THE BUILDING COUNT CAUSED BY REALISTIC SEISMIC SCENARIOS

Technitis G.

Harokopion University of Athens

Abstract

In this study an attempt has been made to implement the HAZUS software of F.E.M.A. in a small part of the Greek municipality 'Kifisia' and the assessment of the abilities of the software concerning the insertion and management of both quantitative and qualitative data. The initial intention was to insert an identical area in the software in order to calculate the earthquake risk assessment and vulnerability of the blocks, though some amplifications and limitations were unavoidable, due to the fact that HAZUS MH R1 is oriented to be implemented strictly in American soil. What finally came out, was the most contiguous, to the Greek reality, model possible.

Λέξεις Κλειδιά: σεισμική διακινδύνευση , αποτίμηση ζημιών, οικιστικό απόθεμα.

Key words: hazus, earthquake risk assessment, vulnerability.

1. Εισαγωγή

Η εργασία αυτή είναι μέρος μιας ερευνητικής συνεργασίας του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου και της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ που σκοπό είχε την συνολική εκτίμηση του λογισμικού HAZUS και τη διερεύνηση χρήσης του στον Ελλαδικό χώρο (Trezos et al. 2006).

Ένας από τους βασικούς τομείς έρευνας σήμερα είναι η πρόβλεψη του βαθμού απωλειών στα εκάστοτε στοιχεία υπό διακινδύνευση, λόγω της επίδρασης μιας σεισμικής διέγερσης. Οι επιπτώσεις ενός σεισμικού συμβάντος σε ανθρωπογενές περιβάλλον ποικίλουν και ως εκ

τούτου το εγχείρημα καθίσταται πολύ-επίπεδο. Σ' αυτήν την εφαρμογή προσεγγίζονται αποκλειστικά οι άμεσες δομικές, και κατ' επέκταση οικονομικές, απώλειες ενός σεισμικού σεναρίου.

Αντικείμενο μελέτης της εργασίας είναι η εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης υφισταμένων κτιρίων περιοχής του ελλαδικού χώρου. Ζητούμενο είναι η εφαρμογή μεθοδολογίας, ικανής να αποτυπώσει κατά το δυνατόν πληρέστερα τις επιπτώσεις ενός πιθανού σεισμικού επεισοδίου στην περιοχή μελέτης. Η μελέτη σεισμικής διακινδύνευσης προβλέπει στο να παράξει μια πρόβλεψη των απωλειών, συνεισφέροντας έτσι στην προσπάθεια σύνταξης χαρτών περιοχών υψηλής διακινδύνευσης (risk maps).

Πιλοτικά, για την παρούσα εφαρμογή επιλέχθηκε ένα τμήμα του δήμου Κηφισιάς και σαν σεισμικό σενάριο ο σεισμός της Αθήνας του '99. Το τελικό στάδιο της εργασίας στο να αποσκοπεί να αναδείξει τις πλέον σεισμικά τρωτές περιοχές δίνοντας στη συνέχεια τη δυνατότητα αναγωγής της μεθόδου σε μια ευρύτερη, γεωγραφικά, περιφέρεια.

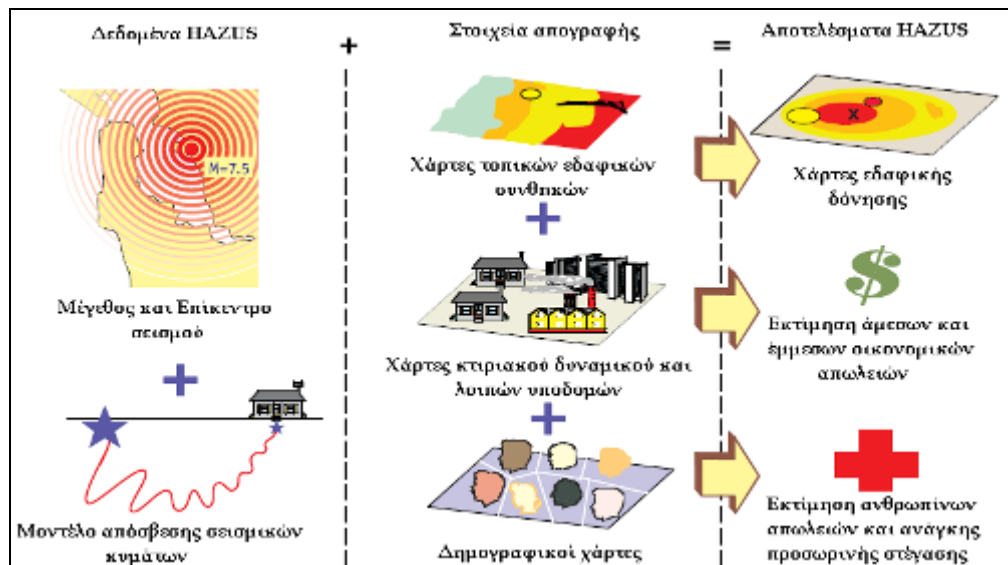
2. Η συλλογιστική της αποτίμησης

Προκειμένου να εκτιμηθεί η απώλεια πρέπει να είναι γνωστή η αντικειμενική αξία που είναι εκτεθειμένη σε κίνδυνο (exposure). Αρχικοί περιοριστικοί παράγοντες, στην αποτίμηση της διακινδύνευσης, είναι το κόστος απογραφής καθώς και η ποιότητα των δεδομένων λόγω του ότι η συλλογή και η εισαγωγή της πληροφορίας σε βάσει δεδομένων αποτελεί την πλέον χρονοβόρα διαδικασία της μελέτης. Οι σύγχρονες μελέτες τείνουν να καταχωρούν τα περισυλεγμένα στοιχεία (inventory) σε λογισμικές πλατφόρμες γεωγραφικών συστημάτων πληροφορίας (Geographical Information Systems), δημιουργώντας έτσι τράπεζες πληροφορίας για κάθε περιφέρεια όπου ανά πάσα στιγμή κανείς μπορεί να ανατρέξει για να αναζητήσει, προσθέσει ή τροποποιήσει δεδομένα. Στην Ελλάδα η Στατιστική Υπηρεσία (ΕΣΥΕ) είναι σε θέση να διαθέσει πολλά από τα απαραίτητα στοιχεία, ενδέχεται όμως για εξειδικευμένες και λεπτομερείς μελέτες να αναζητηθούν στοιχεία από την Τοπική Αυτοδιοίκηση. Επιπλέον πολύτιμη είναι και η συνεισφορά από οιονδήποτε φορέα που διατηρεί ανανεωμένα αρχεία (Εφορία, Αστυνομία κ.λ.π). εφορία

Για τη μελέτη διακινδύνευσης στο οικιστικό απόθεμα είναι αναγκαία μια καταγραφή των χρήσεων γης (occupancy - mapping) της περιοχής. Η καταγραφή αυτή χρησιμεύει στην καλύτερη αξιολόγηση του ύψους των οικονομικών απωλειών ενός σεισμού που οφείλεται σε δομικές βλάβες. Κατά την περίπτωση δηλαδή που όμοια κτίρια υποστούν ίδια δομική βλάβη, το κόστος αποκατάστασης του ενός με τον ακριβότερο εξοπλισμό (π.χ. τράπεζα αντί για αποθήκη) διαφέρει σημαντικά από το έτερο διάκριση που παραβλέπει η δομική τύπου ταξινόμηση.

Η συλλογιστική της αποτίμησης συνοψίζεται στα εξής: (Σχήμα 1)

- Προσδιορίζεται το μέγεθος και το επίκεντρο του σεισμικού σεναρίου. Η επιλογή συνάδει με το επίπεδο του σεισμικού κινδύνου, την σεισμικότητα και τις παραμέτρους πιθανής εστίας σεισμού της ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής.
- Εφαρμόζονται τα σεισμικά σενάρια και υπολογίζεται η ισχύς και η χωρική κατανομή του εδαφικού κραδασμού
- Επιλέγεται το γεωγραφικό διαμέρισμα μελέτης, έκτασης ανάλογης του φορέα που ασκεί τον έλεγχο (κοινότητα, δήμος, πόλη, νομός).
- Συγκεντρώνονται τα απογραφικά δεδομένα της περιοχής
- Βάσει των αλγορίθμων υπολογισμού, εκτιμώνται οι αναμενόμενες απώλειες των υπό διακινδύνευση στοιχείων της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 1. Η συλλογιστική αποτίμησης του λογισμικού HAZUS (HAZUS MH-MR1 User Manual)

3. Περιγραφή του λογισμικού

Το λογισμικό HAZUS (Hazard US), είναι ένα αυτόνομο πρόγραμμα ανάλυσης και αξιολόγησης πιθανών απωλειών από φυσικές καταστροφές, που χρησιμοποιεί σαν υπόβαθρο μια πλατφόρμα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographical Information System-GIS), και επεξεργάζεται χωρικές και γεωγραφικές βάσεις δεδομένων.

Το πρόγραμμα αντλεί πληροφορίες για το κτιριακό δυναμικό, τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, τα κοινωνικοοικονομικά δεδομένα και λοιπά συναφή στοιχεία της περιοχής μελέτης από το λογισμικό GIS και στη συνέχεια εκτελεί υπολογισμούς χρησιμοποιώντας αλγόριθμους που φέρει στον κώδικά του. Οι χρήστες ανασύρουν τις γεωγραφικές περιοχές μελέτης από την βάση δεδομένων του προγράμματος (εμπεριέχονται στοιχεία μόνο για το σύνολο της αμερικανικής επικράτειας) συνέλγοντας έτσι την σχετική πληροφορία στην οποία και θα γίνει η επεξεργασία.

Στόχος των σχεδιαστών του προγράμματος ήταν το HAZUS να καταστεί ένα ορθολογιστικό εργαλείο στην διάθεση των φορέων πολιτικής προστασίας που εργάζονται προς την κατεύθυνση άμβλυνσης των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου (The National Institute of Building Science, 2002) Η αξιολόγηση της τρωτότητας του οικιστικού αποθέματος μιας περιοχής, βοηθάει στον άμεσο εντοπισμό των περιοχών αυξημένης διακινδύνευσης για την καλύτερη κατανομή των δυνάμεων δράσης στις πληγείσες περιοχές όπου και αναμένεται να προκύψει η μεγαλύτερη ανάγκη παροχής βοήθειας ειδικά κατά το πρώτο εικοσιτετράωρο του επεισοδίου.

Η χρήση λογισμικού ARCGIS ως υποβάθρου για το HAZUS εξασφαλίζει, πέραν της εποπτικής εικόνας των δεδομένων της περιοχής και της ευκολίας διαχείρισης τους και την δυνατότητα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων μέσω θεματικών χαρτών.

Το HAZUS σχεδιάστηκε αρχικά για εφαρμογές που αφορούσαν μόνο σεισμούς, ωστόσο τώρα η χρήση του έχει συμπεριλάβει και άλλα μοντέλα προσομοίωσης ώστε να εφαρμόζεται και σε περιπτώσεις άλλων φυσικών καταστροφών (π. χ. πλημμυρών, τυφώνων κτλ.)

Για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου και για μια επιλογή σεισμικού σεναρίου είναι απαραίτητο να είναι γνωστά δεδομένα σχετικά με την μορφολογία και τη σύσταση του γεωλογικού υποβάθρου της έκτασης μελέτης αλλά και της εν γένει σεισμικότητας της ευρύτερης περιοχής. Το λογισμικό διαθέτει εκτεταμένη βάση δεδομένων από όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ως σενάριο κάποιο από τα καταγεγραμμένα ιστορικά επεισόδια, ή την δημιουργία ενός υποθετικού σεναρίου με βάση τα ήδη χαρτογραφημένα ρήγματα της Αμερικής. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι στο πρόγραμμα είναι δυνατή η εισαγωγή ενός εντελώς καινούριου γεωλογικού υποβάθρου αυξάνοντας έτσι την πιστότητα του μοντέλου που δημιουργεί ο χρήστης. Στον πίνακα 1 εμφανίζονται τα γεωλογικά, σεισμοτεκτονικά δεδομένα που απαιτεί το πρόγραμμα για να αναπτυχθεί ένα σεισμικό σενάριο.

Πίνακας 1. Απαιτούμενα δεδομένα υπεδάφους της περιοχής μελέτης (Ομάδα εργασίας I.2 (ΤΕΕ 2002)

➤ Γεωλογικά/Γεωτεχνικά (δυναμικά) χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> • τοπικές εδαφικές συνθήκες • εδάφη μεγάλης ενίσχυσης κραδασμού • ύψος υδροφόρου ορίζοντα • προδιάθεση ρευστοποίησης/κατολίσθησης
➤ Σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> • ρήγματα και τεκτονική των πετρωμάτων • παράμετροι εστίας (εστιακό βάθος, μέγεθος) • παράμετροι διαδρομής σεισμικών κυμάτων (απόσβεση- γεωμετρική μείωση)
➤ Επιρροή τοπογραφίας	<ul style="list-style-type: none"> • υψομετρικές διαφορές

Προκειμένου να υπολογιστούν οι τιμές της μέγιστης εδαφικής (PGA) και της φασματικής (S_a) επιτάχυνσης κατά την ντετερμινιστική μέθοδο, ο χρήστης καθορίζει τα χαρακτηριστικά ενός πιθανού σεισμού στην την εξεταζόμενη περιοχή.

Επιλέγοντας την θέση του σεισμικού επικέντρου-άρα και την επίκεντρη απόσταση της περιοχής (συντεταγμένες ϕ , λ με χρήση GIS), το λογισμικό μπορεί να εκτιμήσει την εξασθένιση της σεισμικής δόνησης που συντελείται καθώς τα σεισμικά κύματα διαδίδονται εντός του εδαφικού μέσου από την πηγή μέχρι το σημείο της παρατήρησης. Η πτώση της σεισμικής ενέργειας οφείλεται αφενός στην γεωμετρική διασπορά των σεισμικών κυμάτων, αφετέρου στην απόσβεση των υψηλών συχνοτήτων της διέγερσης από τους εδαφικούς σχηματισμούς.

4. Περιγραφή περιοχής μελέτης

Για την εφαρμογή του προγράμματος επιλέχθηκε τμήμα του Δήμου Κηφισιάς (Κάτω Κηφισιά - σχήμα 4) που επλήγη εκτεταμένα από τον σεισμό της Αθήνας του 99'. Η περιοχή οριοθετείται δυτικά από την κοιτή του ποταμού Κηφισού, και εκτείνεται ανατολικά της Εθνικής οδού Αθηνών-Λαμίας, προς το κέντρο του δήμου Κηφισιάς. Η δόμηση της περιοχής είναι αραιή, με υψόμετρο να κυμαίνεται στα 290 μέτρα και την εθνική οδό να διχοτομεί την περιοχή με διεύθυνση Βορά - Νότο. Στο μεγαλύτερο ποσοστό η περιοχή περιλαμβάνει οικιστικές ζώνες με ολιγάριθμες εμφανίσεις υποδομών που φιλοξενούν β-γενείς ή γ-γενείς οικονομικές δραστηριότητες. Οι λόγοι επιλογής της συγκεκριμένης περιοχής είναι ότι αφενός υπήρχαν διαθέσιμα γενικά στοιχεία για την περιοχή, ενώ επίσης οι σοβαρές απώλειες που

καταγράφηκαν στον σεισμό του '99' μπορούν να αποτελέσουν ένα σημείο ελέγχου των αποτελεσμάτων και της αποδοτικότητας της μεθόδου του προγράμματος μέσω επαλήθευσης, για σεισμικό σενάριο όμοιο με αυτό που διήγειρε την εν λόγω περιοχή.



Σχήμα 4. Περιοχή μελέτης

4.1 Συλλογή Δεδομένων

Οι ελάχιστες απαιτήσεις του λογισμικού για εκπόνηση σεισμικών σεναρίων συναρτήσε των διαθέσιμων στοιχείων από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΣΥΕ 2001) για την περιοχή μελέτης απομονώθηκαν σε αυτά που ενδιαφέρουν μια μελέτη σεισμικής διακινδύνευσης κτιριακού αποθέματος. Αναλυτικά τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν υπό μορφή ψηφιακών πινάκων (excel) είναι:

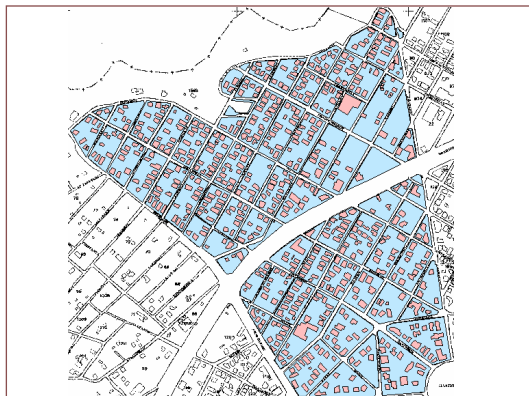
- Δημογραφικά
- Αριθμός κτιρίων και περίοδος κατασκευής
- Δομικοί τύποι κτιρίων
- Κατηγορίες χρήσης κτιρίων
- Συνολικό εμβαδό ορόφων κτιρίων
- Δομική αξία κτιρίων

Τα περαιτέρω δεδομένα συλλέχθηκαν από το τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής, τις διαθέσιμες έγχρωμες αεροφωτογραφίες από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. μία βδομάδα μετά το σεισμό του '99 της Αθήνας καθώς και το γεωλογικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής. Στα στατιστικά στοιχεία της περιοχής καταγράφονται 2531 μόνιμοι κάτοικοι και 650 κτίρια σε ένα σύνολο 82 οικοδομικών τετραγώνων. Επισημαίνεται πως από τα διαθέσιμα αρχεία υπολείπονταν

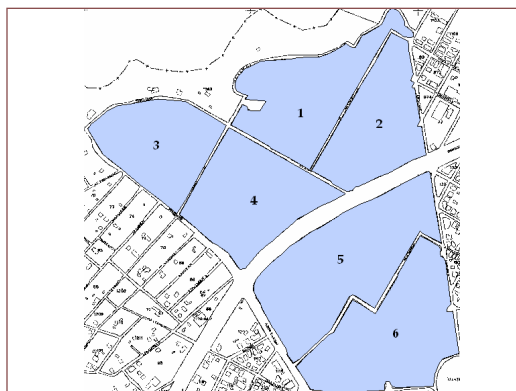
δεδομένα (από κάθε κατηγορία απουσίαζε ποσοστό πληροφορίας για διαφορετικά οικοδομικά τετράγωνα) γεγονός που υποβαθμίζει την ακρίβεια της μελέτης. Για να εκτιμηθεί το συνολικό εμβαδό των κτιρίων του τμήματος της Κηφισιάς, αρχικά σαρώθηκε -ψηφιακά- το τοπογραφικό διάγραμμα, προκειμένου να υπολογιστεί το συνολικό εμβαδό κάλυψης της περιοχής και στην συνέχεια έγινε η κατά προσέγγιση εξαγωγή του συνολικού εμβαδού των κτιρίων.

5. Ανάπτυξη Εφαρμογής

Το HAZUS πέραν του ότι χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο τρόπο διαχωρισμού και ταξινόμησης των δεδομένων του, υποδιαιρεί επίσης τις γεωγραφικές περιφέρειες στη μοναδιαία έκταση γης - το απογραφικό διαμέρισμα (census tract), που θεωρητικά φιλοξενεί 2500~8000 χιλιάδες κατοίκους αναλόγως της πυκνότητας πληθυσμού. Αναπόφευκτα η κατηγοριοποίηση αυτή έπρεπε να γίνει και για την περιοχή μελέτης προκειμένου τα στοιχεία να εισαχθούν στο λογισμικό. Η έκταση της εξεταζόμενης περιοχής αντιστοιχούσε συνολικά σε λιγότερο από 2 μέσου μεγέθους χωρικά διαμερίσματα πυκνοκατοικημένης περιοχής. Παρόλα αυτά, επιλέχθηκε η περιοχή να διαχωριστεί σε 6 τέτοια διαμερίσματα (census tracts) ούτως ώστε να διευρυνθούν τα περιθώρια πειραματισμού και δοκιμών. Ο διαχωρισμός της περιοχής απεικονίζεται στο σχήμα 6. Σε κάθε τμήμα-πολύγωνο αντιστοιχεί ο αντίστοιχος αριθμός οικοδομικών τετραγώνων του σχήματος 5.

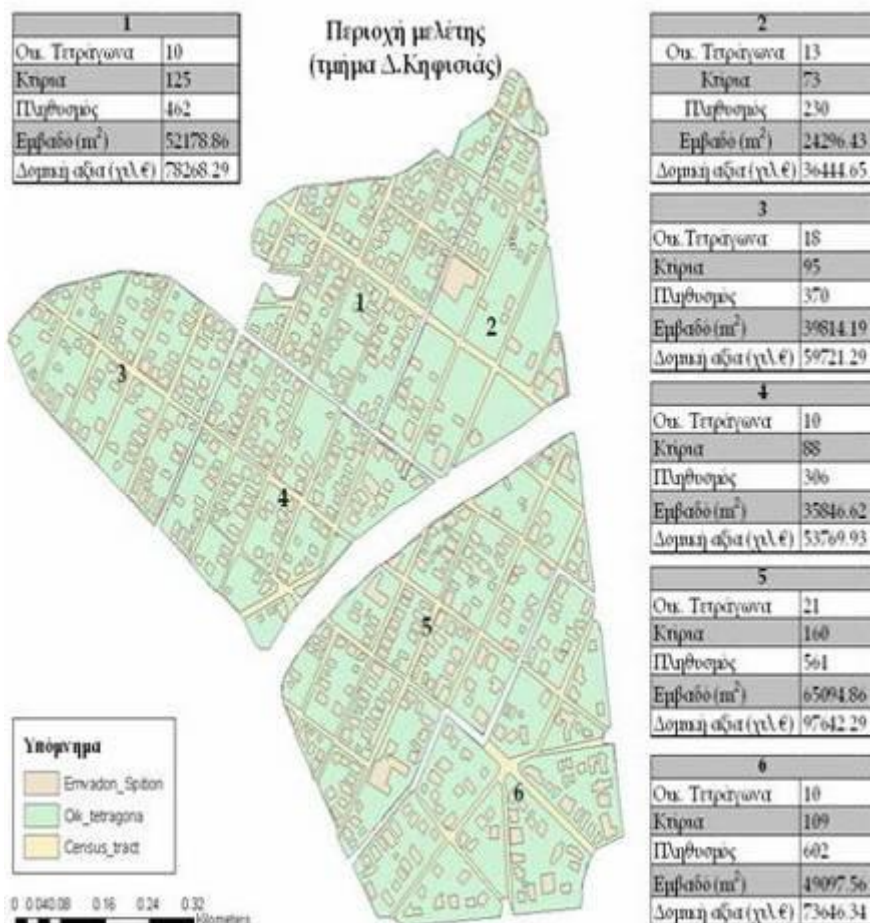


Σχήμα 5. Οικοδομικά Τετράγωνα



Σχήμα 6. Census Tracts

Για την εισαγωγή των στοιχείων και την ταξινόμησή τους σύμφωνα με τις κατηγορίες του προγράμματος έγιναν αρκετές παραδοχές στα υπάρχοντα στατιστικά αρχεία της ΕΣΥΕ. Παρά την πρόσφατη απογραφή, το επίπεδο πληροφορίας των στοιχείων που συνελέγησαν και καταγράφηκαν υπολείπεται των αναγκών του προγράμματος για την χρήση όλων των έτοιμων αλγορίθμων. Αυτό που παρατίθεται στο σχήμα 7 είναι τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα κάθε υποκατηγορίας ενός οικοδομικού τετραγώνου πριν την ανασύνθεση των στοιχείων της περιοχής για την εισαγωγή τους στις βάσεις δεδομένων του λογισμικού.



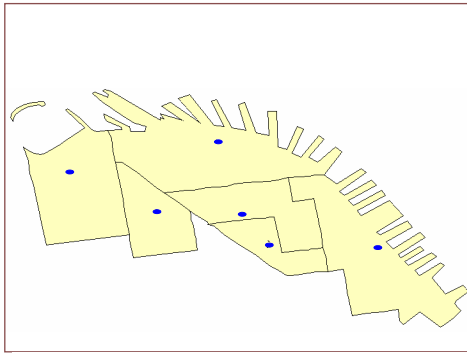
Σχήμα 7. Συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

Μια ιδιαιτερότητα της μεθοδολογίας του προγράμματος είναι η σύνδεση της κατηγορίας χρήσης και του υλικού κατασκευής (occupancy mapping). Όπως σημειώνεται νωρίτερα, το ύψος των σεισμικών-οικονομικών απωλειών του κτιρίου συνδέεται περισσότερο με την χρήση παρά με τον δομικό του τύπου (σε κτίρια όμοιου δομικού τύπου, οι βλάβες αυτού με τον ακριβότερο εξοπλισμό επιφέρουν πολλαπλάσιο οικονομικό κόστος). Για τον λόγο αυτό το λογισμικό διαχωρίζει τον αριθμό των κτιρίων μιας περιοχής που ο χρήστης εισάγει, σύμφωνα με ποσοστώσεις για το υλικό κατασκευής των κτιρίων κάθε κατηγορίας χρήσης.

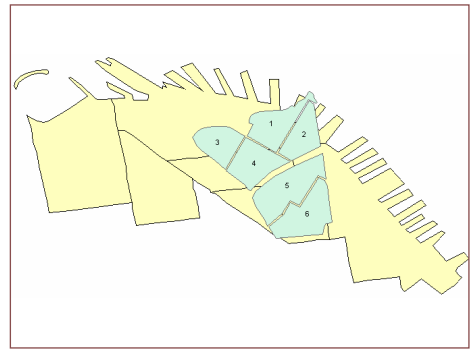
5.1 Εισαγωγή περιοχής στο πρόγραμμα

Με δεδομένο το σύνολο και την δομή των στοιχείων της περιοχής που απαιτούνται για μία μελέτη εκτίμησης σεισμικών απωλειών κατά την μεθοδολογία του προγράμματος, έγινε προσπάθεια προσαρμογής μιας τυχαίας περιοχής στις συνθήκες της περιοχής μελέτης. Για τους λόγους που αναφέρονται νωρίτερα, το λογισμικό δεν προνοεί την εισαγωγή νέας

περιοχής. Αυτό δεν περιορίζει την εικονική εφαρμογή σε περιοχές εκτός της βάσεως δεδομένων του χωρίς όμως να αποτελεί ταυτόχρονα η τακτική αυτή μια απλή διαδικασία. Δεδομένου ότι οι παράμετροι της κίνησης του εδάφους για προσδιορισμό της σεισμικής απαίτησης υπολογίζονται στο κεντροειδές (Σχήμα 8) του πολυγώνου του τοπογραφικού χάρτη της περιοχής, θα πρέπει να κρατηθούν με μεγάλη ακρίβεια οι σχετικές αποστάσεις των αντίστοιχων κεντροειδών των πολυγώνων της εξεταζόμενης περιοχής ούτως ώστε σε ένα προσδιοριστικό σενάριο να υπολογιστεί σωστά η επίκεντρη απόσταση του σεισμού. Αποτέλεσμα αυτού ήταν να γίνει η τροποποίηση του αρχικού χάρτη σε αυτό που παρουσιάζεται στο σχήμα 9.



Σχήμα 8. Αρχική μορφή του χάρτη τυχαίας περιοχής (περιοχή της πόλης του San Francisco)



Σχήμα 9. Τελική μορφή του χάρτη τυχαίας περιοχής (περιοχή της πόλης του San Francisco)

Όσον αφορά τις τοπικές εδαφικές συνθήκες της περιοχής, το έδαφος θεωρήθηκε κατηγορίας D από την τιμή της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων που μετρήθηκε κατά την γεωτεχνική έρευνα του ΚΕΔΕ (Γκαζέτας, 1996) που έγινε μετά τον σεισμό της Αθήνας το '99'.

Με την περιοχή να ανταποκρίνεται τελικά στις πραγματικές επικρατούσες συνθήκες του τμήματος του Δ. Κηφισιάς (σύμφωνα πάντα με την ακρίβεια των διατιθέμενων δεδομένων) επελέγησαν σεισμικά σενάρια για αποτίμηση των ζημιών. Προκειμένου δε το ελαστικό φάσμα του προγράμματος να αντιστοιχεί στο ελαστικό φάσμα του ΕΑΚ (5%, ΕΑΚ 2000) τροποποιήθηκαν οι συντελεστές ενίσχυσης για τις κατηγορίες εδάφους. Οι κατηγορίες Α, Β, Γ, Δ, Χ του ΕΑΚ μεταφράστηκαν σε αντίστοιχες του προγράμματος ενώ λήφθηκε συντελεστής ενίσχυσης ίσος με 2,5 για την μετατροπή της μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους σε φασματική επιτάχυνση των 0.3 δευτερολέπτων. Η αλλαγή έγινε σύμφωνα με τις χαρακτηριστικές περιόδους κάθε κατηγορίας εδάφους.

5.2 Αποτελέσματα σεισμικών σεναρίων

Ένα δείγμα της μορφής των αποτελεσμάτων των σεναρίων παρατίθενται συνοψίζονται στον πίνακα 1 και το σχήμα 10 που ακολουθούν. Τα αποτελέσματα αυτά δεν κρίνονται αντιπροσωπευτικά της συμπεριφοράς των κτιρίων της περιοχής καθώς απαιτείται περισσότερη διερεύνηση για τις καμπύλες τρωτότητας και τη χρήση των πραγματικών καμπύλων φασματικής ικανότητας των κτιρίων για μια πιο ολιστική προσέγγιση της προσομοίωσης. Με γνώμονα πάντα τους περιορισμούς, τις αβεβαιότητες και τις αποκλίσεις της μεθόδου μια πλειάδα σεναρίων τέθηκε υπό δοκιμή με το τελευταίο εξ αυτών να δίνει αποτελέσματα πολύ κοντά στα νούμερα καταγραφής κτιριακών ζημιών από την Υ.Α.Σ στο σεισμό του '99.

Πίνακας 2. Αριθμός κτιρίων που υπέστησαν βλάβες των σεναρίων (για κάθε στάθμη βλάβης)

Σενάριο	Building Damage Count				
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete
1	405	135	93	14	3
2		87	42	4	1
3	217	71	67	62	233
4	199	71	64	61	255
5	93	63	56	42	396
6	296	157	154	34	9



Σχήμα 10. Αριθμός κτιρίων που υπέστησαν ολοκληρωτικές βλάβες

6. Συμπεράσματα

- Ο κώδικας του προγράμματος είναι κλειστός, δηλαδή δεν δίνεται δυνατότητα στον αναλυτή να τροποποιήσει τους αλγορίθμους που συμπεριλαμβάνονται στο λογισμικό
- Περιορισμένη η συμβατότητα του προγράμματος με αρχεία Excel, Word κτλ, με πολύ συγκεκριμένη δομή των γεωγραφικών βάσεων δεδομένων που δε μπορεί να αλλάξει ή να γίνει εισαγωγή αυτούσιας καινούριας
- Αναγκαία η πολυσύνθετη επεξεργασία των δεδομένων της ΕΣΥΕ ώστε να λάβουν μορφή αξιοποιήσιμη από το λογισμικό

- Σε περιπτώσεις που η περιοχή ξεπερνάει τα κάποια τετραγωνικά χιλιόμετρα, τότε η ανάγκη για υπολογιστική ισχύ και χρόνο επεξεργασίας των πληροφοριών αυξάνει σημαντικά

Ολοκληρώνοντας την εργασία προκύπτει ως συμπέρασμα πως η εφαρμογή του λογισμικού στην Ελλάδα κρίνεται ανέφικτη. Απαιτήθηκε ιδιαίτερος χρόνος για την τροποποίηση αρκετών παραμέτρων της περιοχής που επιλέχθηκε από την υπάρχουσα βάση δεδομένων του λογισμικού, ενώ σε αρκετά σημεία οι πολύπλοκες δομές των σχεσιακών μοντέλων, που τη διέπουν, δεν είναι σαφείς ή τροποποιήσιμες.

Αν και το λογισμικό δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να επέμβει (ως ένα σημείο) στην εφαρμογή, ώστε να προσομοιώσει καλύτερα το φυσικό περιβάλλον, θα πρέπει να γίνει απολύτως κατανοητό ότι σκοπό έχει περισσότερο να δώσει την αίσθηση μιας πιθανής εξέλιξης ενός υποθετικού ή πραγματικού σεναρίου, παρά μια ακριβή πρόβλεψη.

Βιβλιογραφία

Γκαζέτας Γ. (2002) «Σημειώσεις Εδαφοδυναμικής», Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, β' έκδοση, Αθήνα 2002

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας: <http://www.statistics.gr> Καρύδης Π. (1996) «Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα

Ομάδα Εργασίας ΤΕΕ, αρ. Ι. 2 (2002) «Τελική έκθεση Εκτίμησης Σεισμικής Τρωτότητας κτιρίων», Αθήνα

FEMA-NIBS (2003) "Earthquake Loss Estimation Methodology-HAZUS MH-MR1 User Manual & Technical Manual Volume 1-3 ", Washington D.C

Google Earth (free software): <http://www.earth.google.com>

K.G Trezos, G.S.Christodoulidis, I.Parcharidis, G.F.Technitis "Seismic Risk Assessment of existing structures" Proceedings of the 15th Greek Concrete Conference, Alexandroupoli, Greece, 25-27 October 2006

The National Institute of Building Science (Απρίλιος 2002) "A Guide To Using HAZUS for Mitigation"

ΤΑ ΓΣΠ ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΧΩΡΩΝ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΛΑΚΩΝΙΑΣ

Καραγιαννίδης Α., Αντωνόπουλος Ι., Τσατσαρέλης Θ., Περκουλίδης Γ.
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής

Περίληψη

Κατά την εργασία γίνεται αποτύπωση της κατάστασης που επικρατεί σήμερα στο Νομό Λακωνίας, όσον αφορά την ανεξέλεγκτη διάθεση των αποβλήτων. Για το σκοπό αυτό, το 2005, το Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής εκπόνησε έρευνα πεδίου για την καταγραφή των Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων στη Λακωνία, καθώς και των κυριότερων χαρακτηριστικών τους, όπως είναι η απόστασή τους από κατοικημένες περιοχές, εφαρμογή και συχνότητα ανοιχτής καύσης και/ή χωματοκάλυψης, κ.λπ. Στη συνέχεια τα στοιχεία εισήχθησαν σε γεωγραφική βάση δεδομένων προς περαιτέρω ανάλυση και διενεργήθηκε εκτίμηση της επικινδυνότητας των χώρων, η οποία οδήγησε στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αποκατάστασής τους. Τέλος εφαρμόστηκε παραγοντική ανάλυση με σκοπό οι χώροι αυτοί να ομαδοποιηθούν σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους.

APPLICATION OF GIS AS A DECISION-MAKING TOOL FOR PRIORITIZING OPEN DUMP RESTORATION IN THE HELLENIC PREFECTURE OF LACONIA

Karagiannidis A., Antonopoulos I., Tsatsarelis T., Perkoulidis G.
Aristotle University of Thessaloniki, Department of Mechanical Engineering, Laboratory of Heat Transfer and Environmental Engineering

Abstract

This paper presents an integrated assessment of the current status of open dumps in the Laconia Prefecture, according to a survey which was conducted in 2005, addressing all related data such as their distance from the inhabited areas, practiced systematic open combustion and/or soil coverage of waste and their frequency etc. A Geographic Information System database was then created and the above parameters were statistically analyzed. Hazard assessment for each site was conducted, which led to the choice of the appropriate restoration works. Finally, following the hazard assessment results for the sites in need restoration works, Principal Component Analysis was implemented in order to group them according to their characteristics.

Λέξεις κλειδιά: Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων, Καθορισμός προτεραιότητας στην αποκατάσταση, Διαχείριση στερεών αποβλήτων.

Key words: Open dumps, Restoration prioritization, Solid Waste Management.

1. Introduction

Rehabilitation of existing open dumps is connected with possibilities for both urban and rural development, although the low marketability of these sites and the subsequent reluctance to invest in them inhibits their redevelopment and further re-use. Various studies have been made regarding redevelopment, assessment of open dumps, closure methods

and management options. Zender and Tchobanoglous (1996) have developed a manual for restoration of open dumps on Indian reservations, while Boyer et al. (1999) have released a practical, graph-based decision methodology for landfill remediation. Other pertinent studies include key concepts that relate to landfill restoration (Simmons and Coulter, 1997); closure and conversion options of open dumps (Rushbrook and Pugh, 1999); investigation procedures for landfill restoration (Bruyat-Korda et al., 1997) and investigation methodology for open dumps (Mavropoulos and Kalliampakos, 1999).

Some of the above studies concern sanitary landfills as well; still, the standards to be adopted in remediating a closed open dump should be comparable to those applicable to the closure of a better operated engineered landfill in similar hydrogeological conditions (Rushbrook and Pugh, 1999). Restoration methods focused on open dumps in specific areas are also common in literature including the establishment of a Europe-wide guideline for risk assessment of old deposit sites (Allgaier et al., 2001); a project for open dump remediation in South Africa (Ball and Bredenhann, 2003); a case study of open dump rehabilitation in Tunisia (Zairi et al., 2004) and open dump restoration in the Hellenic prefecture of Kozani (Tsatsarelis et al., 2005).

In Greece, almost 91.2% is landfilled while 8.8% of the total generated waste is recycled and Hellenic legislation proposed that all open dumps should have been closed until 2005 (Hellenic Official Gazette, 2003). In a follow-up circular (Hellenic Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works, 2004), the former deadline was reminded, binding the authorities to receive a restoration license for open dumps existing in their boundaries, until June 22, 2005. A second deadline was set afterwards until December 5, 2005. Afterwards, on October 6, 2005, the European Court convicted Greece for the existence of 1,125 open dumps, because according to the European law, all open dumps should have been restored by 1999 (Council Directive 75/442/EEC, 1975). The real number of open dumps in the country is even greater (found to be 2,626), in Peloponnese there are 227 of them and the restoration cost is estimated at 27 million euros (Hellenic Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works, 2005). The region had ensured only 10 million euros until June 2006 (Maroutsis, 2005).

The Ministry of Environment Planning and Public Works decided to construct sanitary landfills for waste disposal. In the region of Peloponnese a sanitary landfill and transfer stations will be constructed in every Prefecture, according to its needs. For the Laconia Prefecture, a sanitary landfill will be constructed either in location "Sari – Katarachi", which is located near the open dump in Agii Tessarakonta, or near the army camp in Faridos Municipality. The exact number and location of transfer stations will be then defined. The average annual capacity for a period of 20 years will be 45,406 Mg, the total investment cost is estimated to be 5,490,000 euros and the annual operational cost 672,010 euros (Frantzis et al., 2003).

According to the study conducted by Frantzis et al. (2003), the total waste production for the Laconia Prefecture in 2001 was 36,455 Mg. The mean annual composition of wastes is 47% food wastes, 16.3% paper, 8.7% cardboard, 7.4% plastics, 0.6% aluminium, 2.8% ferrous metals, 2.1% textiles, 0.6% rubber – leather, 3.7% wood – yard wastes, 5% inert, 2.6% glass and 3% rest. Environmental studies have been conducted in just few of the open dumps of Laconia. More specifically, in the waste disposal site of Skala Municipality, (location "Ampoulas"), a compacted clay liner has been installed and in the Krokees Municipality, (location "Nerakia"), drainage trenches have been constructed. Local authorities are responsible for the collection, transportation and treatment of waste, the organization of the SWM system, employment and training of staff and the procurement of containers, vehicles and the essential machinery.

Nowadays, in the majority of Laconia Municipalities, the wastes collected are transported in just one disposal site per Municipality, although there are numerous other open dumps

within the Prefecture, which although should be inactive, however still seem to be receiving wastes. Recycling of wastes is still not significantly practiced in any Municipality. Frantzis et al. (2003), calculated that approximately 2,146,360 euros are spent every year in Laconia Prefecture for MSWM where the most (906,000 euros) are spent by Sparti Municipality (which is the capital of the Prefecture) and the least (2,641 euros) by Karies Community. Figure 2 illustrates the MSWM costs per person and year, gathered in the field survey in which Municipalities are assorted according to their population; Sparti has the biggest and Elafonisos the smallest population.



Figure 1. Prefecture of Laconia and related sites (names of municipalities are indicated in bold and those of open dump sites in italic)

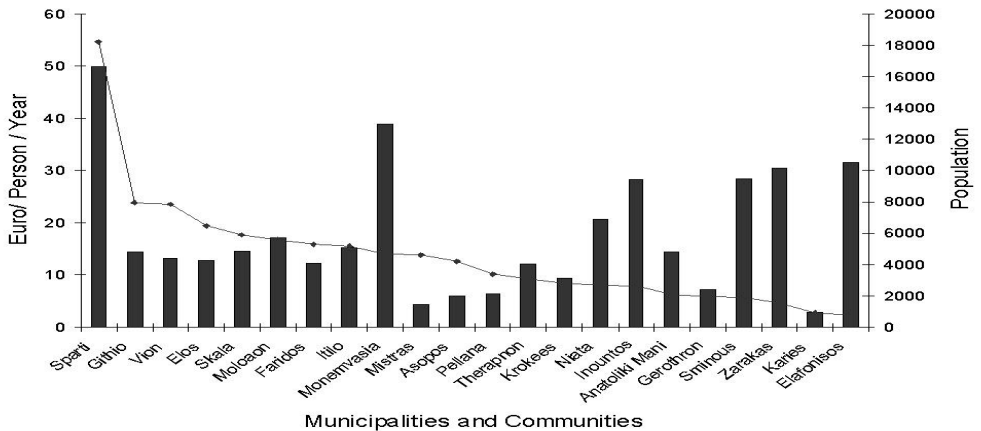


Figure 2. Cost of MSWM per person and year for all municipalities of the Laconia Prefecture; municipalities are listed in a decreasing population scale

2. Materials and methods

2.1 Field survey

A registration of open dumps of the Prefecture was conducted by the Urban Planning Office of the Laconia Prefecture on 2000; therefore, the current study (which was conducted from April until July 2005) validated and supplemented the previous one. The data required were mainly retrieved by the city halls and the local authorities, yet drivers of collection vehicles and local people provided another significant source of information. The fields that were required to be filled in for every open dump concerned:

- Distance from the closest inhabited area.
- Drill existence.
- Site size.
- Estimated depth of waste.
- Estimated volume of waste.
- Compression of waste.
- Estimated type of contained waste.
- Waste dumping around the site.
- Fencing of the dump site boundaries.
- Dumping of sewage and sludge.
- Distance from surface waters – Waste dumping in surface waters.
- Animal breeding in the site or in the close vicinity.
- Incidents of spontaneous combustion.
- Systematic soil coverage of waste.
- Year of the open dump's operation initiation.
- Type and density of vegetation near the site.
- Systematic combustion of waste and its frequency

All the above data were then collected, analysed and supplied a GIS database using the ArcGIS 9[®] commercial software.

2.2 Analysis of Variance

A single-factor Analysis of Variance (ANOVA) using Microsoft Excel XP[®] was conducted to identify relationships among the collected characteristics of open dumps. An independent variable is examined in various classes, and in each one of these classes the dependent variable follows a distribution with a specific mean value. By using ANOVA, the equality of the mean values of the dependent variable in the various classes of the independent variable is checked (Tagaras, 2002), and if it is proven that these mean values are not all equal to each other, then the independent variable indeed affects the dependent one.

2.3 Hazard Assessment

A methodology for defining hazard degree has been applied to each open dump according to the official guidelines proposed by the Hellenic Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works (2004). The initial goal of this particular method is to point out the most hazardous open dumps for public health and the environment and to determine the type of measures that should be taken, by calculating a hazard degree ϵ for each open dump. The implementation of this methodology consists of three steps:

- Step 1 concerns the pollution sources that exist on the site and is conducted by taking into account the quantities, type of waste (household, construction and demolition) and **the age of each open dump. Variable μ_{1max} deals with the volume of main type of wastes and μ_{1min} with the volume of the other type of wastes which are disposed of in each open dump.** Finally, an intermediate parameter M_1 is calculated as follows:

$$M_1 = \mu_{1max} - \mu_{1min} \quad (1)$$
- Step 2 concerns the path of pollution dispersion. In this step water permeability of soil and the distance of the aquifer from the deepest point of each site are taken into

account in the context of a provided tabular methodological tool. The distance of the aquifer from the dump site is divided into 4 classes at the aquifer less than 2 m between 2 and 10 m and finally over 10 m and water permeability (K_f) is divided into 3 classes ($K_f < 10^{-6}$ m/s, $10^{-4} > K_f > 10^{-6}$ m/s, $K_f > 10^{-4}$ m/s). By using this tool, another intermediate parameter, M_2 , is calculated.

- Finally, step 3 concerns the final receptor of the pollution. In this step, three other parameters (max a, max b, max c) are calculated. These three parameters are determined by consulting a table in which the distance of the site from 3 different categories of water supplies (parameter a), the distance from 6 different categories of land use and inhabited areas (parameter b) and the distance from 3 different categories of protected areas and rivers (parameter c) is divided into 5 classes over 1000 m, between 501 and 1000 m, between 101 and 500 m, less than 100 m and, finally negligible distance. After defining the different values of parameters a, b and c, the values of max a, max b, and max c are calculated. After, using equations (2), (3) and (4), the hazard degree ϵ results from equation (5).

$$x = M_2 + \max a \quad (2) \quad y = x + \max b \quad (3) \quad \zeta = y + \max c \quad (4) \quad \epsilon = M_1 + \zeta \quad (5)$$

Open dumps are then ranked into 4 categories according to their hazard degree evaluation. The first one ($\epsilon \geq 90$) includes dumps that should be urgently and extensively restored ('1st priority'), the second one, ($70 \leq \epsilon \leq 89$) includes sites that should also be restored ('2nd priority'), the third one ($30 \leq \epsilon \leq 69$) suggests that the included sites should be restored in the future, whereas the last one ($\epsilon \leq 29$) includes sites that do not need any restoration.

2.4 Principal Component Analysis

Principal Component Analysis (PCA) is amongst the oldest of the multivariate statistical methods of data reduction. Crichton (2000) demonstrated that PCA is a method for producing a small number of constructed components, derived from a larger number of variables originally collected. According to Bernard et al. (1997), PCA's initial goal is the examination of similarities between elements and links between variables. The existence of links between variables leads to a reduction of the number of variables which are then called principal components. The data are illustrated onto Euclidian planes determined by principal components. PCA is usually carried out in two steps. According to Crichton (2001), the first step is to define the components with the biggest contribution to the study (principal components). In order to make the interpretation of the components that are considered relevant, the first step is generally followed by a rotation of the components that were retained (Abdi, 2003). Varimax is the most popular rotation method and for varimax a simple solution means that each component has a small number of large loadings and a large number of zero (or small) loadings. In this work PCA was conducted by using the SPSS 12.0® commercial software.

3. Results

3.1 Characteristics of open dumps

In the current study, 42 open dumps were registered; 28 were found to be active and 14 inactive. The biggest one is located in "Agii Tessarakonta"; it belongs to Sparti Municipality and is also used by three other Municipalities (Inountos, Therapnon, Mistras). From the total number of inactive open dumps, eight still receive any sort of wastes (municipal, debris, agricultural etc.), while the rest are totally abandoned. There is also a restored open dump in Mistras Municipality, which is nowadays an athletic installation and plans for restoration had been prepared for just five open dumps up to July 2005. In 37% of the sites, wastes are covered by soil and while it is not the proper way of waste disposal, this action provides

some critical advantages. Soil hinders the rain water from having direct contact to waste, so less water is detained. On the other hand, the danger of waste self-ignition (due to biogas, broken glass, etc) is diminished, odours are detained and rodents find less waste for food. Furthermore, in 15% of the sites, wastes either are combusted in the open, on purpose, mainly for the reduction of their volume, or due to spontaneous self-ignition. Open burning is responsible for generation of toxic byproducts of combustion such as polychlorinated dibenzodioxins and furans (PCDD/F), Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH), Volatile Organic Compounds (VOC) and Polychlorinated Biphenyls (PCBs) (Lemieux et al., 2004). Another consequence arises from the danger of fire spreading to surrounding land. On the other hand, in 25% of the sites, both combustion and soil coverage of wastes take place.

According to Martens et al. (1998) in case of uncontrolled waste combustion in open dumps, a crucial distance in which the concentrations of PAH, PCB and heavy metals decline is approximately 1.5 km. In 11 out of 42 open dumps (26%) animal breeding or animal breeding facilities, either at the site or in the close vicinity, was registered. Furthermore, 20 out of the 42 registered open dumps are located in dense vegetation areas and nine sites are located inside Natura 2000 protected regions. According to the Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works (2004), the critical distance of open dumps from protected areas, drillings etc. is about 500 m.

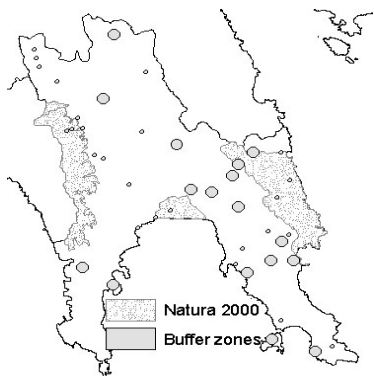


Figure 3. Influence zones of open dumps

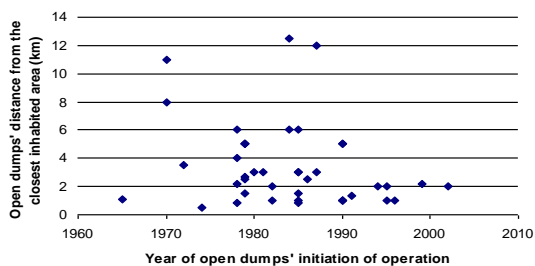


Figure 4. Distance of each open dump from the closest inhabited area, in relation to its initiation date

In Figure 3, the influence buffer zones of all the registered open dumps are illustrated according to open combustion practicing. For the sites that open combustion takes place, the influence buffer zones have 1.5-km radius and for the rest, 500 m. It should be noted that 12 of them affect Natura 2000 areas. For that reason, it is interesting to check the history of open dumps in Laconia Prefecture, regarding their distance from inhabited areas, as illustrated in Figure 4. The distance of each open dump from an inhabited area varies between 500 m and 12.5 km posing serious threats to public health, so the purpose of understanding its history is to find out whether the distance of these sites from inhabited areas depends on their initiation year. This calculation was conducted using the ANOVA tool and resulted that there is no dependence on the year of the dumps' initiation operation and the sites' distance to inhabited areas, meaning that the distance of the site from a settlement is not a factor when the Municipality initiates a new open dump.

3.2 Results of Hazard Assessment

Out of a total of 42 open dumps, not a single one was assigned in the priority-measures-to-be-taken categories (A or B), with the most hazardous site found to be located in Agii Tessarakonta. This overall rating is the result of the small amount of wastes that are

disposed in the open dumps, because of the small population of Laconia Prefecture and because of the low level of the aquifer in most dumps (M2 values in many cases are almost zero). Table 1 groups the results of hazard assessment in relation to the measures that should be taken or not (categories C and D) and the estimated costs of restoration (Hellenic Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works, 2004) according to the hazard-degree evaluation. Open dumps of categories C and D are shown in Figure 5.

The methodology used here has been the subject of some criticism and scepticism lately in Greece. One major shortcoming of this methodology is the fact that it only considers **locational characteristics of open dumps in the calculation of the hazard degree ϵ and does not** consider any waste management factors such as soil coverage of waste and open burning. Soil coverage may reduce the risks that open dumps pose to the environment and open burning of waste will certainly have a major effect. Also, for estimating the hazard risk to water, only permeability of soil and the distance from the aquifer are taken into account; in case that this distance is more than 10 m, the hazard is considered minor. Leachate might enter the underground water table through cracks in the ground though, regardless of the above. Therefore although this methodology certainly captures some of the risk, the results may not quantify the true risk to the environment and public health posed by some of these sites.

Table 1. Category, priority of measures to be taken, hazard degree, and estimation of restoration costs for all open dumps of Laconia Prefecture (Hellenic Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works, 2004)

Category	C	D
Priority of measures to be taken	Future measures to be taken	No demand for restoration measures
Hazard degree (ϵ)	30-69	0-29
Number of open dumps	18	20
Restoration cost range (euros / ha)	99,000 – 160,000	34,000 – 78,000

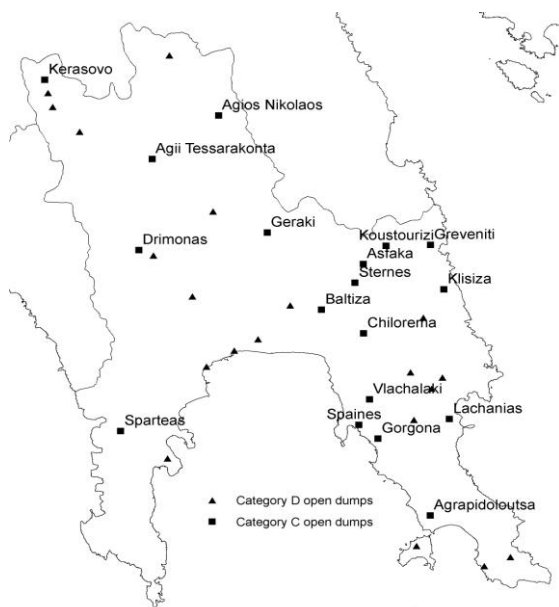


Figure 5. Category C and D open dumps in Laconia Prefecture

3.3 Results of Principal Component Analysis

PCA was conducted for the (categorized as Category-C) open dumps, in order to classify them according to soil coverage, open combustion, fencing, water permeability, initiation date and animal breeding in the site or in the close vicinity. Category-D open dumps are regarded harmless for the environment; thus they were not included in the PCA calculations. Principal goal of PCA was to define the contribution of the above variables and the components that they form in the characteristics of each site, in order to guide the future restoration programs according to the most dominant component and categorize the sites into similar groups which need similar restoration method. The aforementioned variables were considered as the most important ones, so only these were inserted in the PCA model. The implementation of PCA resulted in the derivation of two components, which led to the classification of Category-C open dumps in 5 groups (Figure 6). Component 1 contributes by 33% and component 2 by 28.5% to the classification of open dumps. Common characteristic of group-1 open dumps is the lack of fencing; therefore, a fence should be installed in order to prohibit animals from entering the site and the scattering of wastes. The common characteristics of group-2 open dumps are fencing and open combustion of wastes in sites. It can be concluded that the second and third quadrant (up and bottom left) of Figure 6 are related to the variable of fencing.

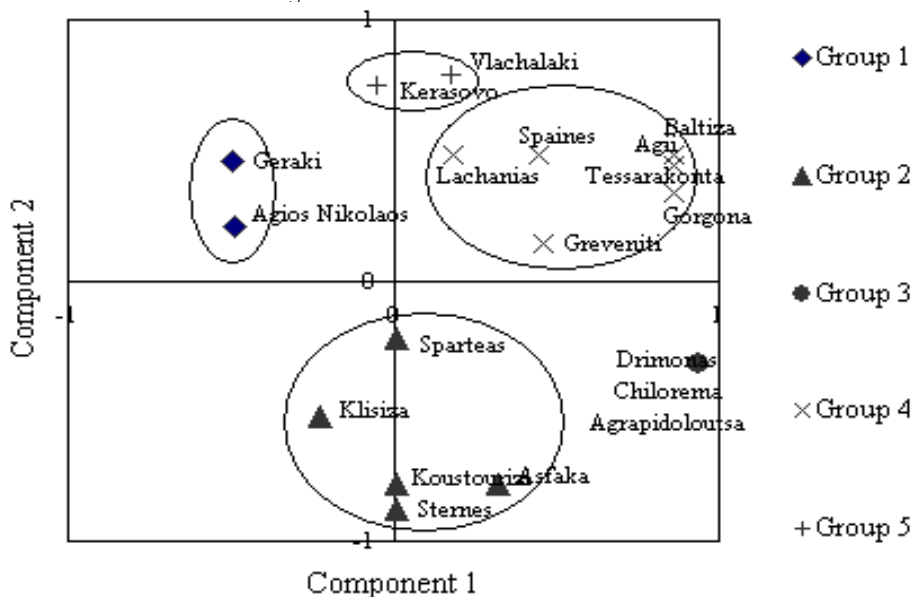


Figure 6. Grouping of Category-C open dumps

Group 3 open dumps, (Drimonas, Chilorema and Agrapidoloutsas), have similar water permeability ($10^{-4} > K_f > 10^{-6}$ m/s) and soil coverage is practiced once per month. By analyzing the above variables, it is concluded that the fourth quadrant (bottom right) is related to soil coverage and open combustion. Group 4 consists of six open dumps where the initiation date (and, therefore, the age of wastes) is the same. However, geological characteristics in Baltiza, Agii Tesseractonta and Gorgona are similar (water permeability $10^{-4} > K_f > 10^{-6}$ m/s) and that is why these sites share the same point in Figure 6. The main characteristics of Kerasovo and Wlachalaki (Group 5) are low water permeability ($K_f < 10^{-6}$ m/s) and no animal breeding. The above Groups (4 and 5) show that the first quadrant (up right) concerns water permeability and open dumps' initiation date.

4. Conclusions

This study assessed the 2005 status of SWM in Laconia prefecture, which is unfortunately still largely based on open dumping of waste. Forty-two dumps were registered, located relatively close to populated centers, dense vegetation areas and Natura 2000 protected areas. A statistical analysis revealed no evidence that distance from populated centers was taken into account when deciding upon their location. Hazardous materials are disposed of in 85% of them, and open burning of wastes is still practised in 15% of them. On the other hand they are small, between 0.5-1 ha and in 37% of the sites soil coverage of wastes takes place.

The low values of hazard degree ϵ of open dumps, calculated according to the national guidelines' methodology, are mainly due to the fact that only small amounts of wastes are produced in Laconia prefecture and that most sites underground waters are deeper than 10 m. Although these guidelines comprise a quick and easy to use toolkit for restoration plans, they produce results that may underestimate the hazards of open dumping, since soil coverage of waste and open combustion are not taken into account and contamination of underground water is only calculated by estimation of permeability of soil and distance of waste from the aquifer.

The use of PCA to further categorize the sites subjected to hazard analysis offers a practical methodology for organising the restoration plans for open dumps and it or another suitable factor analysis method could be a useful addition to existing legislation. Use of fuzzy sets for modelling binary variables (compression of waste, animal grazing in the area, etc) might also enhance the analysis, because it would more accurately quantify the contributions of such variables to the impact of open dumps on the environment and public health.

Appendix 1

Abbreviations:

ANOVA	ANalysis Of VAriance	GIS	Geographical Information System
MSWM	Municipal Solid Waste Management	PCB	Polychlorinated Biphenyl
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbon	VOC	Volatile Organic Compound
PCA	Principal Component Analysis		

Literature

Zender L. and G. Tchobanoglous, 1996: Manual for assessment of open dumping on Indian lands: Site closure and management. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, Sponsored by Bureau of Indian Affairs, Northwest Area Branch, Portland, Oregon.

Boyer I., V. Hauser, D.M. Gimon and M.D. Gill, 1999: Decision tool for landfill remediation. Prepared for: Air force center for environmental excellence, Technology transfer division.

Simmons, E. and P. Coulter, 1997: Environment agency guidance on landfill restoration in the UK. 6th International Waste Management and Landfill Symposium, 13-17 October, pp. 397-407. Cagliari, Sardinia, Italy.

Rushbrook, P. and M. Pugh, 1999: Solid waste landfills in middle- and lower- income countries. World Bank technical paper, 426.

Bruyat-Korda, F., I. Marelli Gautheret, J.M. Corade and E. Prud'homme, 1997:

Investigation procedures and methodologies in France for landfill restoration: A two year experiment. 6th International Waste Management and Landfill Symposium, 13-17 October, pp. 413-420. Cagliari, Sardinia, Italy.

Mavropoulos A. and D. Kaliampakos, 1999: Investigation methodology for uncontrolled landfills. 7th International Waste Management and Landfill Symposium, 4-8 October, pp. 501-508. Cagliari, Sardinia, Italy.

Allgaier, G., M. Ritzkowski and R. Stegmann, 2001: Investigations of small old deposits in rural areas. 8th International Waste Management and Landfill Symposium, 1-5 October, pp. 465-472. Cagliari, Sardinia, Italy.

Ball, J.M. and L. Bredenhann, 2003: A South African project to remediate dumpsites. 9th International Waste Management and Landfill Symposium, 6-8 October. Cagliari, Sardinia, Italy.

Zairi, M., M. Ferchichi, A. Ismail, M. Jenayeh and H. Hammami, 2004: Rehabilitation of El Yahoudia dumping site, Tunisia. Waste management, 24, 1023-1034.

Tsatsarelis, T., G. Perkoulidis, A. Karagiannidis and N. Moussiopoulos, 2005: Promoting integrated tools for landfill restoration: The case of Kozani prefecture in the region of Western Macedonia. 9th International conference on environmental science and technology, 1-3 September, pp. 1477-1482. Rhodes Island, Greece.

Hellenic Official Gazette, 2003: Common Ministerial Decision 50910/2727/22-12-2003 titled Measurements and terms for solid waste management, National planning for solid waste management. B' 1909 (in Hellenic).

Hellenic Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works, 2004: Model Specifications for environmental restoration studies of dump sites. Circular 22-10-2004 (in Hellenic).

Council Directive 75/442/EEC, 1975: On waste. Official Journal L 194, 0039 – 0041, 15 July 1975, Brussels.

Hellenic Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works, 2005: Promotion of open dumps restoration plans. Synopsis of final report on Hellenic open dumps, April 2005 (in Hellenic).

Maroutsis, I., 2005: Plans for the new sanitary landfills are stalled. Newspaper: Ethnos tis Kiriakis, June-12 issue (in Hellenic).

Frantzis I., A. Makarigakis, N. Stappas, M. Pragiati and V. Florou, 2003: Regional planning of Solid Waste Management in the Region of Peloponnese. Technical Report, Environmental Planning, Engineering & Management S.A., ENVIROPLAN Consultants and Engineers S.A., August (in Hellenic).

Tagaras, G. 2002: Statistics of many variables, p. 15. Aristotle University of Thessaloniki Publications, Thessaloniki (in Hellenic).

Crichton N., 2000: Psychological adjustment of critically injured patients. Information point: Factor analysis, Journal of Clinical Nursing, 9, p. 815.

Bernard C., J. R. Colin and A. Le Dû-Delepierre, 1997: Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachates: 2. Comparison of physico-chemical characteristics of landfill leachates with their toxicity determined with a battery of tests, Chemosphere, 35, pp. 2783-2796.

Crichton N., 2001: Information point: Factor analysis, Journal of Clinical Nursing, 10, p. 562.

Abdi H., 2003: Factor rotations. Encyclopedia for research methods for the social sciences. Thousand Oaks (CA): Sage. pp. 978-982.

Lemieux P. M., C. C. Lutes and D.A. Santoianni, 2004: Emissions of organic air toxics from open burning: a comprehensive review, Progress in Energy and Combustion Science, 30, pp. 1-32.

Martens, D., K. Balta-Brouma, R. Brotsack, B. Michalke, P. Schramel, C. Klimm, B. Henkelmann, K. Oxynos, K.-W. Schramm, E. Diamadopoulos, and A. Kettrup, 1998: Chemical impact of uncontrolled solid waste combustion to the vicinity of the Kouroupitos ravine, Crete, Hellas, Chemosphere, 36, pp. 2855-2866.

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΟΧΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΠΟΣΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΑΧΑΡΑ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Κατσαφάδος Π.¹, Κάλλος Γ.², Σπύρου Χ.², Παπαδόπουλος Α.³

¹*Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας*

²*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Φυσικής, Τομέας Φυσικής Εφαρμογών*

³*Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών, Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων*

Περίληψη

Η έρημος Σαχάρα αποτελεί τη σημαντικότερη περιοχή παραγωγής σκόνης. Η σκόνη φυσικής προέλευσης, η οποία παράγεται από αιολική διάβρωση ερημικών και ημι-ερημικών εκτάσεων, μπορεί διερχόμενη πάνω από τη Μεσόγειο Θάλασσα να επηρεάσει την ποιότητα του αέρα στην Ευρωπαϊκή ήπειρο. Τα ποσά εναπόθεσης σκόνης φυσικής προέλευσης στην επιφάνεια της Γης βρίσκονται σε αναλογία με την εποχιακή μεταβλητότητα του κύκλου της σκόνης στην ατμόσφαιρα. Το μέγεθος και η γεωγραφική κατανομή της εναπόθεσης σκόνης σε χερσαίες και θαλάσσιες επιφάνειες της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου μπορεί να ποικίλει σημαντικά λόγω του περιορισμένου δικτύου μετρητικών σταθμών. Στη συγκεκριμένη μελέτη εκτιμάται και αναλύεται η μάζα σκόνης από τη Σαχάρα που εναποτίθεται στη Μεσόγειο Θάλασσα και την Ευρωπαϊκή ήπειρο σε εποχιακή και ετήσια βάση, όπως αυτή έχει προσομοιωθεί από το σύστημα πρόγνωσης καιρού Σκίρων σε πλήρη σύζευξη με ένα μοντέλο προσομοίωσης του κύκλου της σκόνης. Το συγκεκριμένο μοντέλο περιλαμβάνει το σύνολο των παραμετροποιήσεων του κύκλου της σκόνης στην ατμόσφαιρα, όπως παραγωγή, διάχυση, μεταφορά και εναπόθεση ανάλογα με το μέγεθος της κατανομής των σωματιδίων. Το σύστημα Σκίρων βρίσκεται σε επιχειρησιακή λειτουργία από το 1998 παρέχοντας προγνώσεις 72 ωρών για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (<http://forecast.uoa.gr>). Οι πιο πρόσφατες τροποποιήσεις που αφορούν στον καθορισμό των πηγών και το μηχανισμό παραγωγής σκόνης, βελτίωσαν την προγνωστική ικανότητα του συστήματος και συνεπώς την ακρίβεια στην περιγραφή του κύκλου της σκόνης στην ατμόσφαιρα. Βασικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης της σκόνης από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον αποτελούν η κατακρήση λόγω βαρύτητας, η τυρβώδης ανάμιξη και ο υετός. Με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του συστήματος Σκίρων εκτιμήθηκαν ξεχωριστά τα ποσά της ξηρής και υγρής εναπόθεσης στη Μεσόγειο Θάλασσα και την Ευρώπη για χρονική περίοδο 5 ετών (2000-2004). Η συνολική εναπόθεση σκόνης για την συγκεκριμένη περίοδο είναι της τάξης των 18*106 τόννων στην Ευρώπη ενώ στη Μεσόγειο Θάλασσα εκτιμήθηκε σε 28*106 τόννους.

GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF SEASONAL AND ANNUAL AMOUNTS OF SAHARAN DUST DEPOSITION OVER MEDITERRANEAN AND EUROPE

Katsafados P.¹, Kallos G.², Spyrou C.², Papadopoulos A.³

¹*Harokopio University of Athens, Department of Geography.*

²*National and Kapodistrian University of Athens, Department of Physics, Division of Applied Physics.*

³*Hellenic Centre for Marine Research, Institute of Inland Waters.*

Abstract

Sahara desert is the most important dust source area worldwide. Mineral dust, produced by wind erosion over arid and semi-arid areas, may transport away to Mediterranean affecting the air quality in most of the European continent. The dust amounts deposited on the surface are in proportion to the seasonal variability of the dust cycle in the atmosphere.

The magnitude and the geographical distribution of the mineral dust deposited over land and sea surfaces of the Mediterranean basin may exhibit considerably variations due to the sparse network of monitoring stations. In this study, Saharan dust mass deposited over Mediterranean Sea and Europe is estimated and analyzed on seasonal and annual basis with the use of Skiron atmospheric system fully coupled with a dust cycle module. This module incorporates the state of the art parameterizations of all the major phases of the atmospheric dust life such as production, diffusion, advection and removal related to particle size distribution. Skiron system is in operational use since 1998 providing 72-hour forecasts for the Mediterranean region (<http://forecast.uoa.gr>). Latest modifications concerning the definition of the dust sources and the dust production mechanism enhance the forecast skill of the system to predict with a satisfactory accuracy the dust cycle in the atmosphere. Since dust is removed from the atmosphere due to mechanisms such as gravitational settling, turbulent mixing and/or precipitation rates, dry and wet dust deposition are estimated. Based on Skiron system simulations, the amounts of dry and wet deposition over Mediterranean Sea and Europe are discernibly estimated for a 5 year period (2000-2004). The model-estimated Saharan dust deposited over Europe during this entire period is at the order of 18×10^6 tons, while 28×10^6 tons are deposited over Mediterranean Sea.

Λέξεις κλειδιά: Σκόνη από τη Σαχάρα, εναπόθεση σκόνης, σύστημα Σκίρων, κύκλος της σκόνης, Μεσόγειος Θάλασσα.

Key words: Saharan dust, dust deposition, Skiron system, dust cycle, Mediterranean Sea.

1. Εισαγωγή

Η σκόνη φυσικής προέλευσης που προέρχεται από ερημικές και ημιορημικές περιοχές της Βόρειας Αφρικής μπορεί κάτω από κατάλληλες συνοπτικές συνθήκες καιρού να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις προς τη Μέση Ανατολή, τη Μεσόγειο, την Ευρώπη ή ακόμα και να διαπεράσει τον Ατλαντικό Ωκεανό (Kallou et al., 2005). Τα σωματίδια της σκόνης εμφανίζουν σημαντικές επιδράσεις σε ένα εύρος κλιμάκων επηρεάζοντας το ατμοσφαιρικό περιβάλλον και τα κλιματικά χαρακτηριστικά των περιοχών καθώς και την υγεία των πληθυσμών. Σκεδάζοντας και απορροφώντας μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, η σκόνη μεταβάλλει την ανακλαστικότητα στα διάφορα ατμοσφαιρικά στρώματα και μειώνει το ποσό της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης (άμεσες επιδράσεις, Charlson et al., 1991). Έμμεσα τα σωματίδια σκόνης δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης (Cloud Condensation Nuclei-CCN) τροποποιώντας τα μικροφυσικά και μικροχημικά χαρακτηριστικά των νεφών και συνεπώς τις οπτικές ιδιότητες και την ακτινοβολία τους (Jones et al., 1994).

Τα ποσά της σκόνης που εναποτίθενται στην επιφάνεια της Γης εμφανίζουν εποχιακή μεταβλητότητα όπως και ο κύκλος της σκόνης στην ατμόσφαιρα. Αναλύσεις επίγειων και δορυφορικών παρατηρήσεων σε συνδυασμό με προσομοιώσεις μοντέλων προσφέρουν πολύτιμη πληροφορία σχετικά με τη χωροχρονική μεταβλητότητα της εναπόθεσης σκόνης. Η έλλειψη ικανού δείγματος παρατηρήσεων οδηγεί στην αποκλειστική χρήση αριθμητικών



Σχήμα 1. Η περιοχή ολοκλήρωσης του μοντέλου. Τα γράμματα W, Cs, Cn, και E δηλώνουν τη Δυτική, Κεντρική-Νότια, Κεντρική-Βόρεια και Ανατολική υποπεριοχή της Μεσογείου αντίστοιχα ενώ η σύντμηση Eu αντιστοιχεί στην περιοχή της Ευρώπης.

προσομοιώσεων του κύκλου της σκόνης στην ατμόσφαιρα με σκοπό την αποτύπωση του μεγέθους και της χωροχρονικής κατανομής του ποσού της σκόνης που εναποτίθεται στην επιφάνεια της Γης. Στη συγκεκριμένη μελέτη εφαρμόστηκε το σύστημα πρόγνωσης καιρού Σκίρων σε πλήρη σύζευξη με ένα μοντέλο προσομοίωσης του κύκλου της σκόνης στην ατμόσφαιρα (Nickovic et al., 2001, Papadopoulos et al., 2002, Kallos et al., 2005) με σκοπό την εκτίμηση των ποσοτήτων ξηρής και υγρής εναπόθεσης σκόνης στη Μεσόγειο Θάλασσα και την Ευρώπη για χρονική περίοδο 5 ετών (2000-2004). Το συγκεκριμένο σύστημα αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Αθήνας στο πλαίσιο διαφόρων Ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων (MEDUSE, ADIOS) και περιλαμβάνει πλήθος σχημάτων και παραμετροποιήσεων για την προσομοίωση της παραγωγής, της μεταφοράς και της ξηρής και υγρής εναπόθεσης των σωματιδίων σκόνης. Το σύστημα Σκίρων αποτέλεσε ένα από τα βασικά προγνωστικά συστήματα καιρού και σκόνης κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας και εντάχθηκε σε ένα ευρύτερο σύστημα προειδοποίησης και διαχείρισης ακραίων καιρικών φαινομένων από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας. Οι επιχειρησιακές δυνατότητες του συστήματος έχουν επίσης αξιολογηθεί στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος AUTOHAZARD-PRO για την πρόγνωση και τη διαχείριση πλημμυρών και δασικών πυρκαγιών σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα Σκίρων εξακολουθεί και διαθέτει υπηρεσίες σε πλήρη επιχειρησιακή βάση προσφέροντας προγνωστική πληροφορία σε οποιαδήποτε μορφή (προγνωστικοί χάρτες, διδιάστατα-τριδιάστατα δεδομένα σε μορφοποιήσεις ascii, binary, grib, netcdf) από τη σελίδα (<http://forecast.uoa.gr/dustindx.html>).

2. Χαρακτηριστικά προσομοιώσεων και μεθοδολογία

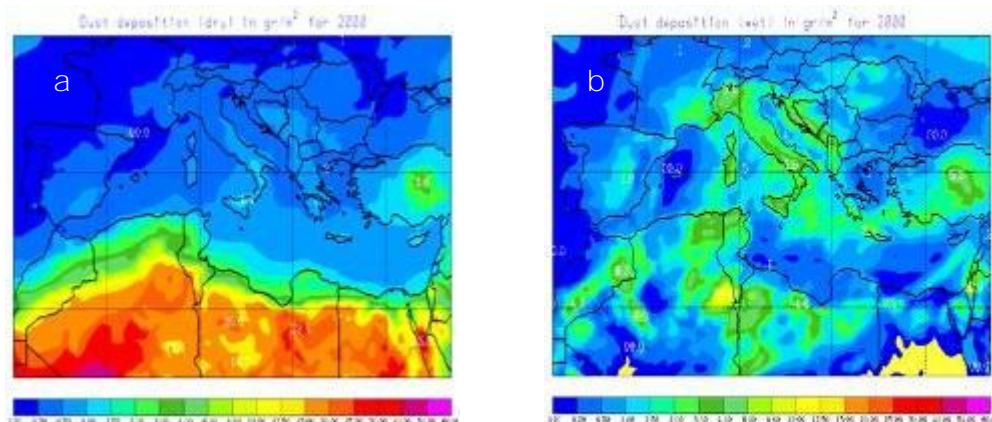
Για την εκτίμηση των ποσοτήτων σκόνης από τη Σαχάρα που εναποτίθενται στη Μεσόγειο και την Ευρώπη, το σύστημα Σκίρων εφαρμόστηκε για μία εκτεταμένη περιοχή που καλύπτει τη Βόρεια Αφρική, τη Μεσόγειο καθώς και τη Νότια Ευρώπη και τη Μέση Ανατολή. Η συγκεκριμένη περιοχή έχει χωριστεί σε 5 υποπεριοχές με σκοπό την αναλυτικότερη χωρική κατανομή σκόνης που διέρχεται από τη Μεσόγειο. Ειδικότερα, οι περιοχές αναφέρονται ως (Eu) Ευρώπη, (W) Δυτική Μεσόγειος, (E) Ανατολική Μεσόγειος, (Cn) Κεντρική-Βόρεια Μεσόγειος και (Cs) Κεντρική-Νότια Μεσόγειος και απεικονίζονται στο Σχήμα 1. Το σύστημα Σκίρων εφαρμόστηκε για την περιοχή ολοκλήρωσης που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1 με οριζόντια ανάλυση πλέγματος $0.24^{\circ} \times 0.24^{\circ}$ και κατακόρυφη διακριτοποίηση σε 32 ασύμμετρα επίπεδα από την επιφάνεια μέχρι τα 15800 μέτρα (πάνω από την τροπόπαυση). Κάθε σημείο πλέγματος θεωρήθηκε ως αντιπροσωπευτικό της περιοχής που καλύπτει και ο υπολογισμός της ξηρής και υγρής εναπόθεσης σκόνης εφαρμόστηκε για όλα τα σημεία του πλέγματος που ανήκουν στην περιοχή ολοκλήρωσης. Για την εκτίμηση των ποσοτήτων σκόνης στις 5 υποπεριοχές λήφθηκαν υπόψη γεωγραφικά κριτήρια ώστε να εντοπιστούν τα σημεία πλέγματος που ανήκουν σε κάθε υποπεριοχή. Συνεπώς κάθε σημείο πλέγματος με βάση το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του, κατατάχθηκε σε μία από τις παραπάνω υποπεριοχές. Η εναπόθεση που υπολογιζόταν κάθε φορά για το συγκεκριμένο σημείο αθροίστηκε μαζί με τις αντίστοιχες από τα υπόλοιπα σημεία στην επίσης αντίστοιχη υποπεριοχή. Χρησιμοποιώντας τις πρώτες 24 ώρες πρόγνωσης του συστήματος Σκίρων εκτιμήθηκε η γεωγραφική κατανομή της συνολικής μάζας σωματιδίων σκόνης που εναποτίθεται στην επιφάνεια σε μηνιαία βάση κατά την περίοδο Ιανουάριος 2000 - Δεκέμβριος 2004 (συνολικά 60 μήνες). Καθώς το μοντέλο έχει τη δυνατότητα εκτίμησης της ξηρής και υγρής εναπόθεσης ως διακριτές συνιστώσες του κύκλου της σκόνης στην ατμόσφαιρα, οι κλιματικές τιμές προέκυψαν από την άθροιση των συγκεκριμένων συνιστώσεων για κάθε 24ωρο στο σύνολο των 60 μηνών. Τα πρώτα 3 έτη οι υπολογισμοί προέκυψαν από προσομοιώσεις του συστήματος με θεώρηση 1 μεγέθους σωματιδίου σκόνης ενώ τα 2 επόμενα έτη χρησιμοποιείται η αναβαθμισμένη έκδοση του μοντέλου που προσομοιώνει 4 κλάσεις σωματιδίων σκόνης (Πίνακας 1).

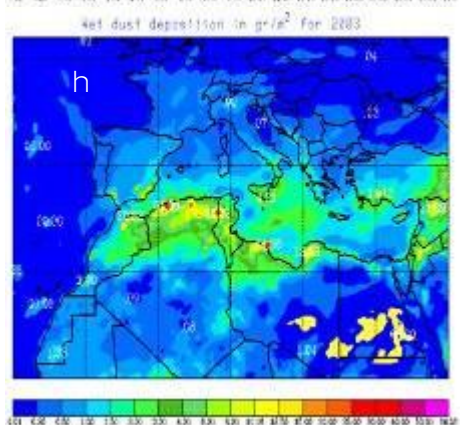
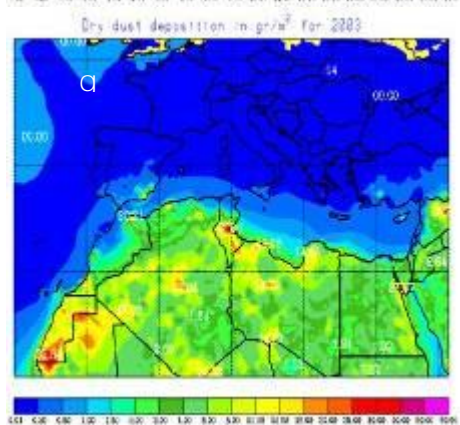
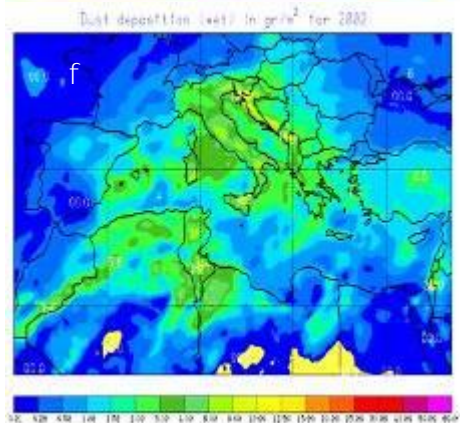
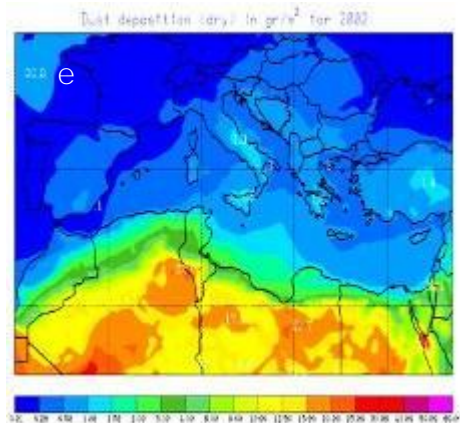
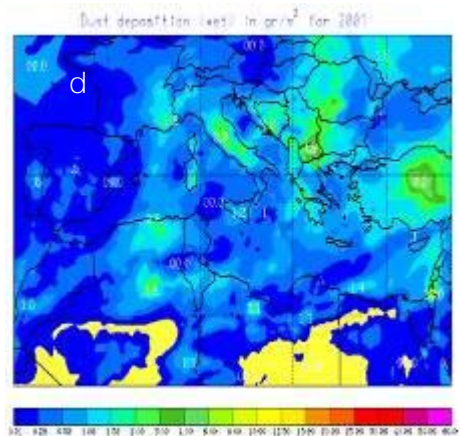
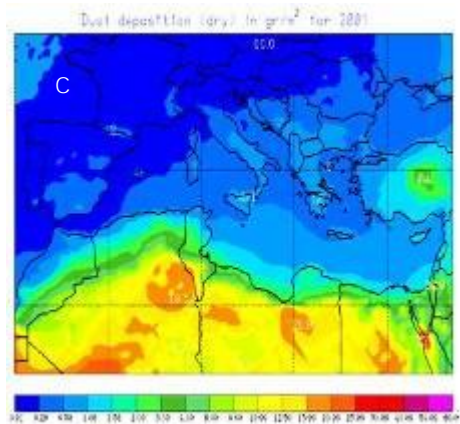
Πίνακας 1. Κλάσεις σωματιδίων σκόνης. Καταγράφονται επίσης το είδος, η ακτίνα και η πυκνότητα των σωματιδίων (Nickovic et al., 2001)

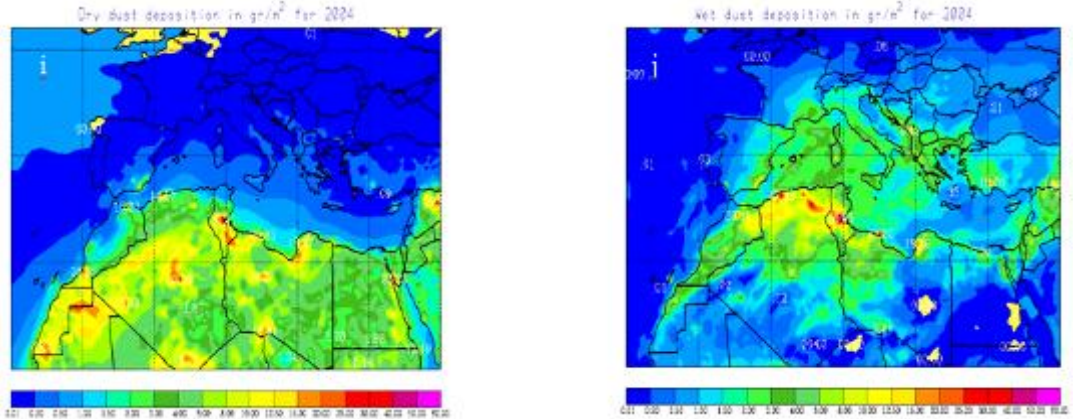
κ	Είδος	Τυπική Ακτίνα R_k (μm)	Πυκνότητα ρ_k (g/cm^3)
1	πηλός (clay)	0.73	2.50
2	ιλύς, μικρή (silt, small)	6.10	2.65
3	ιλύς, μεγάλη (silt, large)	18.00	2.65
4	άμμος (sand)	38.00	2.65

3. Εκτίμηση των ετήσιων και εποχιακών ποσοτήτων σκόνης

Η γεωγραφική κατανομή της ξηρής και υγρής εναπόθεσης σε μονάδες μάζας ανά μονάδα επιφάνειας (gr/m^2) για το έτος 2000 απεικονίζεται στα Σχήματα 2a και 2b αντίστοιχα. Ανάλογα στα Σχήματα 2c έως 2j, για τα έτη 2001, 2002, 2003 και 2004. Τα δεδομένα των σχημάτων προέρχονται από τις πρώτες 24 ώρες πρόγνωσης του μοντέλου Σκίρων ακολουθώντας τη μεθοδολογία που έχει περιγραφεί στην παράγραφο (2) ενώ η γεωγραφική κατανομή των προγνωστικών δεδομένων έχει οπτικοποιηθεί μέσω του πακέτου NCAR Graphics. Με βάση τα συγκεκριμένα αποτελέσματα είναι φανερό πως τα ποσά σκόνης που εναποτίθενται στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο εμφανίζουν σημαντική ετήσια διακύμανση που οφείλεται κυρίως στις συνοπτικές συνθήκες ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας καθώς και στα κλιματικά χαρακτηριστικά των περιοχών. Η ένταση και η συχνότητα επεισοδίων σκόνης από τη Σαχάρα επηρεάζουν την ετήσια εναπόθεση καθώς η μάζα που εναποτίθεται κατά τη διάρκεια ενός μόνο επεισοδίου σε μία περιοχή μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά τις αντίστοιχες ποσότητες σε μηνιαία και ετήσια βάση για τη συγκεκριμένη περιοχή. Η γεωγραφική κατανομή της εναπόθεσης εμφανίζει επίσης τις περιοχές που δέχονται τα σημαντικότερα ποσά σκόνης από τη Σαχάρα. Το έτος 2000 η μεγαλύτερη μάζα σκόνης εναποτέθηκε στην Ευρώπη με τοπικό μέγιστο τη Νότια Ιταλία κυρίως από συνεισφορά της υγρής εναπόθεσης (Σχήμα 2a και 2b). Το 2001 οι ποσότητες σκόνης στην Ευρώπη (όπως επίσης και στη Βόρεια Αφρική) εμφανίζονται μειωμένες με τα τοπικά μέγιστα να τοποθετούνται ανατολικότερα (Σχήμα 2c και 2d). Συνολικά οι περιοχές της ΝοτιοΑνατολικής Ιβηρικής, της Νότιας Ιταλίας καθώς και η ΝοτιοΔυτική Ελλάδα με την Κρήτη και την Κύπρο είναι οι περιοχές της Μεσογείου που εμφανίζουν τα σημαντικότερα ποσά εναπόθεσης. Αξίζει πάντως να σημειωθεί πως ο υψηλός βαθμός χωροχρονικής μεταβλητότητας των ποσοτήτων εναπόθεσης σε συνδυασμό με τη ραγδιαιότητα των επεισοδίων σκόνης εγείρουν αβεβαιότητες σχετικά με τον ακριβή εντοπισμό και το μέγεθος των μεγίστων και σε κάθε περίπτωση απαιτούνται χρονοσειρές μεγαλύτερης διάρκειας για την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων.

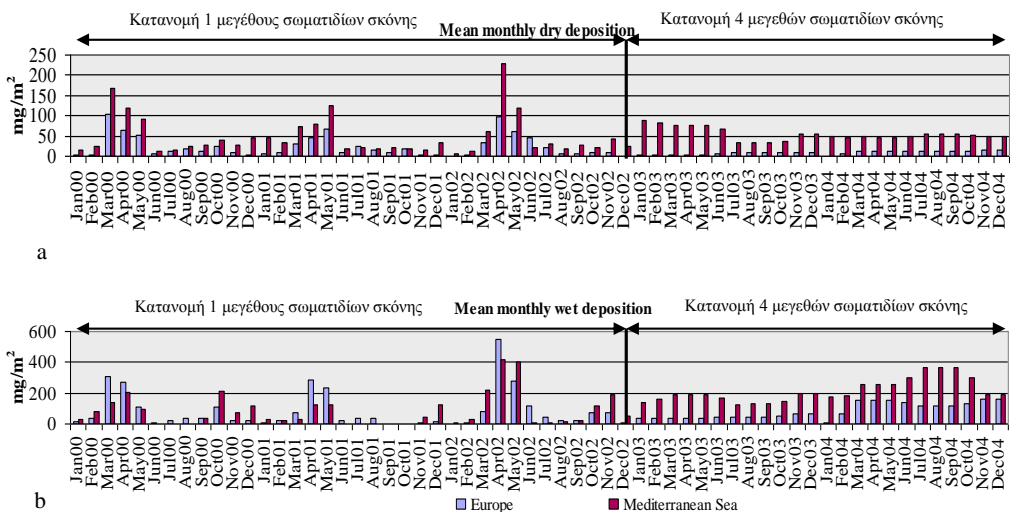






Σχήμα 2. Γεωγραφική κατανομή μέσης ετήσιας εναπόθεσης (ξηρής και υγρής) σκόνης από τη Σαχάρα για την περίοδο 2000-2004 (κλίμακα 0-60 gr/m^2). Τα σχήματα δημιουργήθηκαν με το πακέτο NCAR Graphics (4-4-2).

Τα Σχήματα 3α και 3β απεικονίζουν τα διαγράμματα της μέσης μηνιαίας ξηρής και υγρής εναπόθεσης σκόνης αντίστοιχα για την Ευρώπη και τη Μεσόγειο Θάλασσα. Όπως είναι αναμενόμενο εμφανίζεται περιοδικότητα των μέγιστων ποσοτήτων που εντοπίζονται κατά τους εαρινούς μήνες. Δευτερεύον μέγιστο παρατηρείται κατά τους φθινοπωρινούς μήνες. Η μάζα που εναποτίθεται στην επιφάνεια υπό μορφή ξηρής εναπόθεσης εμφανίζεται συστηματικά μεγαλύτερη πάνω από τη Μεσόγειο Θάλασσα ενώ στην περίπτωση της υγρής εναπόθεσης δεν υπάρχει σαφές συμπέρασμα. Ο μηχανισμός της υγρής εναπόθεσης είναι σαφώς πιο πολύπλοκος καθώς σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η κατανομή του υετού πάνω από την Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Επίσης τον Απρίλιο 2002 εμφανίζονται οι μέγιστες ποσότητες πενταετίας πάνω από την Ευρώπη και τη Μεσόγειο ενώ και οι υπόλοιποι εαρινοί μήνες του 2002 χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα σημαντική δραστηριότητα μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα.



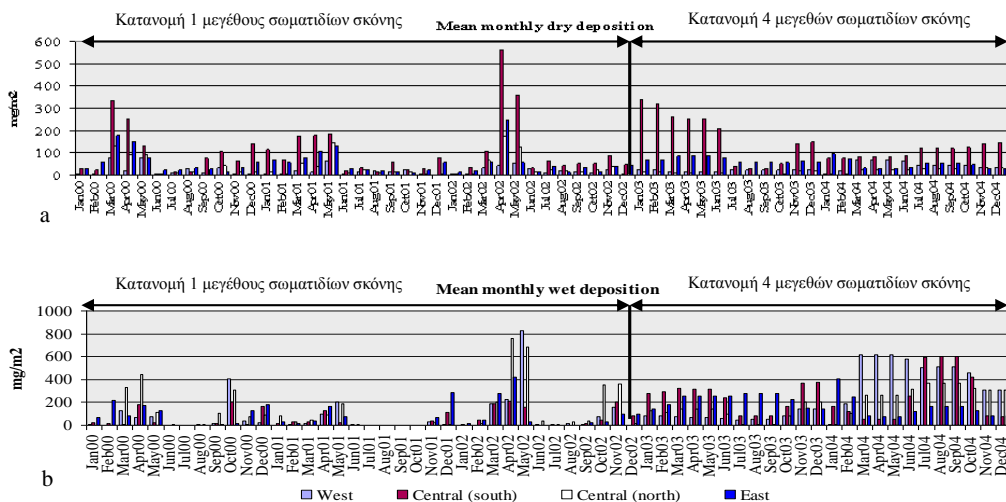
Σχήμα 3. Μέση μηνιαία εναπόθεση σκόνης (ξηρή και υγρή) κατά την περίοδο 2000-2004 για την Ευρώπη και τη Μεσόγειο Θάλασσα (μονάδες σε mgr/m^2)

Αξίζει να σημειωθεί πως στους συγκεκριμένους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη οι ποσότητες σκόνης που εναποτίθενται μόνο πάνω από σημεία του πλέγματος που θεωρούνται ξηρά για την περιοχή της Ευρώπης, ενώ μόνο τα θαλάσσια σημεία πλέγματος προσμετρώνται για την περίπτωση της Μεσογείου Θάλασσας και των τεσσάρων υποπεριοχών της. Το πλήθος των σημείων πλέγματος που χρησιμοποιούνται για κάθε υποπεριοχή παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Δεδομένου ότι κάθε υποπεριοχή εμφανίζει διαφορετικό πλήθος σημείων πλέγματος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η κατανομή των σημείων στα οποία έχει υπολογιστεί το ποσό της εναπόθεσης για την ορθή εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων.

Πίνακας 2. Πλήθος σημείων πλέγματος κάθε υποπεριοχής που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των ποσοτήτων σκόνης που εναποτίθενται στη Μεσόγειο και την Ευρώπη.

Ευρώπη		Μεσόγειος				
		Συνολικά	Δυτικά	Κεντρικά-Νότια	Κεντρικά Βόρεια	Ανατολικά
Πλήθος σημείων ξηράς	5783	-	-	-	-	-
Πλήθος σημείων θάλασσας	-	4344	1105	694	1000	1545

Τα διαγράμματα της ξηρής και υγρής εναπόθεσης σε μέση μηνιαία βάση για τις τέσσερις υποπεριοχές της Μεσογείου απεικονίζονται στο Σχήμα 4. Κάθε υποπεριοχή εμφανίζει σημαντική μεταβλητότητα στις ποσότητες εναπόθεσης, γεγονός που κυρίως οφείλεται στις συνοπτικές συνθήκες καθώς και στα ιδιαίτερα γεωγραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων περιοχών. Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια των χειμερινών και εαρινών περιόδων η Μεσόγειος επηρεάζεται από δύο συστήματα ανώτερης ατμόσφαιρας: τον πολικό αεροχείμαρρο που τοποθετείται πάνω από την Ευρώπη και τον υποτροπικό αεροχείμαρρο που συνήθως εντοπίζεται πάνω από τη Βόρεια Αφρική. Ο συνδυασμός των συγκεκριμένων συστημάτων κατά τους χειμερινούς και εαρινούς μήνες ευνοεί τη διάδοση κυκλωνικών συστημάτων μέσω πλατών προς ανατολικές και νοτιοανατολικές διευθύνσεις με αποτέλεσμα τη μεταφορά σκόνης στη Μεσόγειο. Επίσης, κατά τη διάρκεια των μεταβατικών εποχών οι θαλάσσιες επιφάνειες στην περιοχή είναι σχετικά ψυχρότερες, περιορίζοντας τη δημιουργία συστημάτων κατακόρυφης ανάπτυξης που σχετίζονται με βροχή και συνεπώς με διαδικασίες υγρής απομάκρυνσης των σωματιδίων σκόνης από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Η Κεντρική-Νότια περιοχή της Μεσογείου επιδεικνύει τα σημαντικότερα ποσά ξηρής εναπόθεσης στο σύνολο των πέντε ετών σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές ακολουθούμενη από τις Ανατολικές περιοχές. Η γεινίαση των συγκεκριμένων περιοχών με εκτεταμένες ερημικές εκτάσεις της Λιβύης, της Αιγύπτου και της Μέσης Ανατολής έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη μεταφορά σωματιδίων σκόνης και την τελική απομάκρυνσή τους από την ατμόσφαιρα υπό μορφή ξηρής εναπόθεσης. Η Δυτική Μεσόγειος εμφανίζει αυξημένη δραστηριότητα υγρής εναπόθεσης, κυρίως κατά τη διάρκεια εαρινών μηνών, γεγονός που αποδίδεται στη συνεργετική δράση των σωματιδίων σκόνης και της έντονης υφειακής δραστηριότητας στην περιοχή. Κατά την περίοδο Μαρτίου-Μαΐου η περιοχή επηρεάζεται από τη διέλευση χαμηλών που δημιουργούνται από ορογραφικά αίτια σε περιοχές νότια της οροσειράς του Άτλαντα (Thorncroft and Flocas 1997). Επίσης, η περιοχή επηρεάζεται από την ανάπτυξη θερμικών χαμηλών στην Ιβηρική χερσόνησο με μέγιστη δραστηριότητα τους εαρινούς και θερινούς μήνες (Triggo et al., 1999). Η Ανατολική Μεσόγειος δέχεται σημαντικά ποσά υγρής εναπόθεσης καθώς το μεγαλύτερο μέρος του υετού στην περιοχή προέρχεται κυρίως από το χαμηλό της Κύπρου καθώς και από κυκλωνικά συστήματα που κινούνται κατά μήκος των ακτών της Βόρειας Αφρικής. Τα συστήματα αυτά δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες παραγωγής σκόνης σε περιοχές της Ανατολικής Αλγερίας και της Λιβύης η οποία μεταφέρεται προς την Ανατολική Μεσόγειο και τη Μέση Ανατολή.



Σχήμα 4. Μέση μηνιαία εναπόθεση σκόνης (ξηρή και υγρή) κατά την περίοδο 2000-2004 για τις 4 υποπεριοχές της Μεσογείου (μονάδες σε mg/m^2)

Με βάση τα μηνιαία ποσά ξηρής και υγρής εναπόθεσης, εκτιμήθηκε η συνολική μάζα σκόνης (σε μονάδες 103 τόννους) που συσσωρεύτηκε στην επιφάνεια της Ευρώπης και της Μεσογείου Θάλασσας κατά την περίοδο 2000-2004. Οι ποσότητες αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 ενώ η συνολική εναπόθεση αναφέρεται στο άθροισμα ξηρής και υγρής εναπόθεσης. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν σημαντική χωροχρονική μεταβλητότητα των ποσοτήτων και εμφανίζουν έτη με περιορισμένη δραστηριότητα μεταφοράς σκόνης (όπως το 2001) που ακολουθούνται συνήθως από περιόδους με αυξημένη δραστηριότητα (2002). Συνολικά η εναπόθεση σκόνης για την περίοδο 2000-2004 είναι της τάξης των $18 \cdot 10^6$ τόννων στην Ευρώπη ενώ στη Μεσόγειο Θάλασσα εκτιμάται σε $28 \cdot 10^6$ τόννους. Σε αντίστοιχη μελέτη οι Guerzoni et al. (1999) εκτίμησαν τη συνολική ποσότητα σκόνης που εναποτίθεται στη Μεσόγειο σε περίπου $40 \cdot 10^6$ τόννους. Οι τιμές που προέκυψαν στην παρούσα μελέτη φαίνεται να υπολείπονται περίπου κατά μία τάξη μεγέθους. Όμως η ακολουθούμενη μεθοδολογία στην περίπτωση της πρώτης μελέτης χαρακτηρίζεται από χαμηλή χωρική ανάλυση, καθώς τα αποτελέσματα προέκυψαν από 9 παράκτιους μετρητικούς σταθμούς. Επίσης, δεν είναι σαφής η διάκριση ανάμεσα στη μεγάλη κλίμακα μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα και τη συνεισφορά των τοπικών ανθρωπογενών πηγών στις συγκεκριμένες μετρήσεις. Οι εκτιμώμενες ποσότητες σκόνης όπως προέκυψαν από την εφαρμογή του συστήματος Σκίρων προσφέρουν σαφώς υψηλότερη χωρική ανάλυση και συνεπώς περισσότερη παρεχόμενη πληροφορία για τις υποπεριοχές της Μεσογείου και της Ευρώπης. Η πρόσφατη έκδοση του μοντέλου που περιλαμβάνει την προσομοίωση 4 κατηγοριών σωματιδίων σκόνης προσφέρει σημαντικά βελτιωμένες δυνατότητες ανάλυσης και πρόγνωσης όλων των συνιστωσών του κύκλου της σκόνης στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον με περισσότερο ομογενοποιημένα χαρακτηριστικά εναπόθεσης. Οι προγνωστικές δυνατότητες του συστήματος έχουν συνολικά αξιολογηθεί τόσο στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (Kishcha et al., in press) όσο και σε περιπτώσεις μακρινής μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα προς τις ΗΠΑ (Kallos et al. 2005).

Πίνακας 3. Κατανομή ετήσιας εναπόθεσης σκόνης (σε 103 τόννους) στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο Θάλασσα.

	Ευρώπη			Μεσόγειος Θάλασσα		
	Συνολικά	Ξηρή	Υγρή	Συνολικά	Ξηρή	Υγρή
2000	3914	936	2978	3962	1541	2421
2001	2909	725	2184	2500	1255	1245
2002	4723	883	3840	5132	1546	3586
2003	1999	256	1743	6752	1828	4924
2004	4933	398	4535	9306	1504	7802

4. Συμπεράσματα

Ο ρόλος της σκόνης φυσικής προελεύσεως στην ατμόσφαιρα θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικός λόγω των ποικίλων επιδράσεων στο παγκόσμιο και περιοχικό κλίμα, την ποιότητα του αέρα, τα οικοσυστήματα, τον καιρό και τον υετό. Με την εφαρμογή του συστήματος Σκίρων σε πλήρη σύζευξη με μοντέλο προσομοίωσης του κύκλου της σκόνης στην ατμόσφαιρα δημιουργήθηκε βάση δεδομένων των ετήσιων και εποχιακών ποσοτήτων σκόνης από τη Σαχάρα που εναποτίθενται μέσω των μηχανισμών της ξηρής και υγρής εναπόθεσης στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο Θάλασσα. Καθώς τα χαρακτηριστικά της μεταφοράς και εναπόθεσης σκόνης από τη Σαχάρα στη Μεσόγειο μεταβάλλονται σε σημαντικό βαθμό με βάση τις επικρατούσες κλιματικές και συνοπτικές συνθήκες, ανάλογη ετήσια και εποχιακή μεταβλητότητα παρουσιάζουν και οι εκτιμώμενες ποσότητες σκόνης που εναποτίθενται στην Ευρώπη και την υδάτινη επιφάνεια της Μεσογείου. Η ένταση και η συχνότητα επεισοδίων σκόνης καθορίζουν την ετήσια και εποχιακή συμπεριφορά της εναπόθεσης ενώ σε ακραίες περιπτώσεις η μάζα που εναποτίθεται σε ένα μεμονωμένο επεισόδιο μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά τις συνολικές ποσότητες ακόμα και σε ετήσια βάση. Παρά τη σημαντική μεταβλητότητα, και με βάση την ανάλυση των αποτελεσμάτων, εντοπίζεται εποχικότητα των μεγίστων ποσών εναπόθεσης σκόνης στη Μεσόγειο και την Ευρώπη με τους εαρινούς μήνες κάθε έτους να αποτελούν την περίοδο της μέγιστης δραστηριότητας. Οι περιοχές της ΝοτιοΑνατολικής Ιβηρικής Χερσονήσου, της Νότιας Ιταλίας καθώς και η ΝοτιοΔυτική Ελλάδα με την Κρήτη και την Κύπρο είναι οι περιοχές της Μεσογείου που εμφανίζουν τα σημαντικότερα ποσά εναπόθεσης. Ειδικότερα, τα μέγιστα της ξηρής εναπόθεσης εντοπίζονται στις Κεντρικές-Νότιες περιοχές της Μεσογείου ενώ η Ανατολική Μεσόγειος εμφανίζει αυξημένη δραστηριότητα ξηρής και υγρής εναπόθεσης κατά τη διάρκεια της περιόδου 2000-2004. Συνολικά η εναπόθεση σκόνης για την συγκεκριμένη περίοδο είναι της τάξης των 107 τόννων για την Ευρώπη και την Μεσόγειο Θάλασσα. Οι αβεβαιότητες που προκύπτουν κατά την εκτίμηση των ποσοτήτων εναπόθεσης οδηγούν στο συμπέρασμα πως απαιτούνται χρονοσειρές μεγαλύτερης διάρκειας σε συνδυασμό με ένα πυκνό δίκτυο μετρήσεων για την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων. Το σύστημα Σκίρων εμφανίζει ιδιαίτερες δυνατότητες στην ανάλυση και πρόγνωση όλων των συνιστωσών του κύκλου της σκόνης στην ατμόσφαιρα και μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την προσομοίωση και παραγωγή κλιματολογικής πληροφορίας σε περιπτώσεις έλλειψης μετρητικών δεδομένων.

Βιβλιογραφία

Charlson, R. J., J. Langner, H. Rodhe, C. Leovt, S. Warren, 1991: Perturbation of the Northern Hemisphere radiative balance by backscattering from anthropogenic sulfate aerosols. Tellus, 43AB, 152-163.

Guerzoni, S., R. Chester, F. Dulac, B. Herut, M.-D. Loye-Pilot, C. Measures, C. Migon, E. Molinaroli, C. Moulin, P. Rossini, C. Saydam, A. Soudine, and P. Ziveri, 1999, The role of atmosphere deposition in the biogeochemistry of the Mediterranean Sea, Prog. Oceanogr.

44: 147-190.

Jones, A., D. L. Roberts, A. Slingo, 1994: A climate model study of the indirect radiative forcing by anthropogenic sulfate aerosols. *Nature*, 370, 450-453.

Kallos, G., A. Papadopoulos, P. Katsafados and S. Nickovic, 2005: Trans-Atlantic Saharan dust transport: Model simulation and results, *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, 111, D09204, doi: 10.1029/2005JD006207.

Kishcha P., P. Alpert, A. Shtivelman, S.O. Krichak, J.H. Joseph, G. Kallos, P. Katsafados, C. Spyrou, G.P. Gobbi, F. Barnaba, S. Nickovic, C. Perez, and J.M. Baldasano, 2006: **"Forecast errors in dust vertical distributions over Rome (Italy): Multiple particle size representation and cloud contributions"**. *Journal of Geophysical Research-Atmosphere* (in press).

Nickovic, S., G. Kallos, A. Papadopoulos, and O. Kakaliagou, 2001: A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere, *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, 106:18113-18129.

Papadopoulos A., G. Kallos, P. Katsafados, and S. Nickovic, 2002: The Poseidon weather forecasting system: An overview, *Global Atmospheric-Ocean System*, 8: 219-237.

Thorncroft, C. D., and H. A. Flocas, 1997: A case study of Saharan cyclogenesis. *Monthly Weather Review*, 125, 1147-1165.

Trigo, I., Davies, T., and Bigg, G., 1999: Objective Climatology of Cyclones in the Mediterranean Region, *Journal of Climate*, 12, 1685-1696.

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΘΕΣΜΟΥ ΕΠΕ, ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Μανούρης Γ.¹, Κασσιός Κ.²

¹ Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων

² ΕΜΠ., Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η συμβολή του θεσμού της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην προστασία των φυσικών πόρων στην Ελλάδα. Ο βασικότερος στόχος του εν λόγω θεσμού είναι η εκ των προτέρων εκτίμηση πάσης φύσεως περιβαλλοντικών επιπτώσεων από έργα / δραστηριότητες / σχέδια και προγράμματα. Ο θεσμός αυτός, πρέπει να αποτελεί το βασικό εργαλείο της περιβαλλοντικής διαχείρισης των οπτικών πόρων, οι οποίοι άπτονται εκτός των άλλων και ευαίσθητων οικοσυστημάτων, καθότι μέσω της εξέτασης εναλλακτικών λύσεων και σεναρίων, θα επιλεγεί το πλέον πρόσφορο σενάριο ή λύση για την προστασία των εξεταζόμενων πόρων.

Η εξέταση του θέματος γίνεται κατά τρόπο συνθετικό. Ειδικότερα, στην αρχή εντοπίζονται τα βασικά τεχνικά στοιχεία μιας διαδικασίας ΕΠΕ καθώς και των ΜΠΕ. Στη συνέχεια εξετάζονται συγκριτικά βασικές μέθοδοι και τεχνικές εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων εξειδικευμένες στην περίπτωση των οπτικών πόρων. Στην επόμενη ενότητα εξετάζεται το θέμα της οικονομικής αποτίμησης των εν λόγω πόρων καθώς και των επιπτώσεων σε αυτούς, θέμα το οποίο εμφανίζει ιδιαιτερότητες που επηρεάζουν τη διαδικασία ΕΠΕ. Ακολουθεί η κριτική αξιολόγηση του υπάρχοντος νομοθετικού και εν γένει κανονιστικού πλαισίου, τόσο του ειδικού όσο και του γενικότερου. Οι θέσεις της νομολογίας και η καταλληλότητα και δυνατότητα του οργανωτικού πλαισίου των φορέων που ασχολούνται με τα εξεταζόμενα θέματα, αποτελούν αντικείμενα ιδιαιτέρων ενοτήτων. Τέλος η εργασία ολοκληρώνεται με μια σειρά συμπερασμάτων και προτάσεων που προέκυψαν από τη συνθετική αυτή προσέγγιση.

CONTRIBUTION OF THE EIA TO THE PROTECTION OF THE VISUAL RESOURCES IN GREECE

Manouris G.¹, Cassios C.²

¹ Hellenic Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works

² National Technical University of Athens (NTUA), Faculty of Rural and Surveying Engineering

Abstract

The Environmental Impact Assessment (EIA) from projects, activities and programmes, plays an important role in the protection of visual resources. In the present work, this issue is examined in an integrated way. The main topics which are examined, are the notion of the EIA in general, the methods and assessment techniques on the basis of the suitability of their use, the economic aspects, the legal framework, the positions of case-law and in general, the action and the situation of the Public Administration concerning the above-mentioned issue. This paper, presents some conclusions and proposals which are drawn by the afore-mentioned integrated approach.

Λέξεις κλειδιά: περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οπτικοί πόροι, μέθοδοι εκτίμησης.

Key words: environmental impacts, visual resources, impact assessment methods.

1. Εισαγωγή

Τα διάφορα προβλήματα που συνδέονται με τη μόλυνση, τη ρύπανση και την εν γένει υποβάθμιση του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, καθίστανται με την πάροδο του χρόνου οξύτερα, οι δε αρνητικές επιπτώσεις τους επεκτείνονται με ολοένα αυξανόμενους ρυθμούς. Το γεγονός αυτό, μεταξύ άλλων, έχει ως αποτέλεσμα αφενός μεν την αντικατάσταση της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει» από τις αρχές της πρόληψης και της προφύλαξης, αφετέρου δε την αντικατάσταση της κλασικής μορφής οικονομικής ανάπτυξης από τη βιώσιμη (αειφορική) ανάπτυξη. Βασική προϋπόθεση όμως υλοποίησης των ως άνω αλλαγών, είναι η δημιουργία εκτεταμένης και πρόσφορης περιβαλλοντικής διαχείρισης. Η διαχείριση αυτή, όπως είναι ευνόητο, μπορεί να επιτευχθεί, μόνο εφόσον καταστεί δυνατό να εκτιμηθούν εκ των προτέρων οι κάθε είδους επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον από έργα, δραστηριότητες, σχέδια και προγράμματα, δηλαδή μέσω του θεσμού της Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΠΕ) καθοριστικό στοιχείο του οποίου είναι η εκπόνηση αξιόπιστων, πρόσφορων και ολοκληρωμένων Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ).

Η προαναφερθείσα διαχείριση περιλαμβάνει και τη διαχείριση των οπτικών πόρων, (όπως είναι τα τοπία, οι ακτές, τα ρέματα κ.λ.π), στα πλαίσια της οποίας θα πρέπει οι εν λόγω οπτικοί πόροι να τύχουν κατάλληλης προστασίας, λαμβανομένου υπόψη και του γεγονότος ότι άπτονται, εκτός των άλλων και «ευαίσθητων» οικοσυστημάτων. Είναι φανερό, κατόπιν των προαναφερθέντων η σημασία του θεσμού της ΕΠΕ και των ΜΠΕ, στην προστασία των εν λόγω πόρων.

2. Θεσμός εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Οι αρχές της πρόληψης και της προφύλαξης, αντικατέστησαν στην πρώτη θέση των περιβαλλοντικών αρχών, την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει». Το γεγονός αυτό, οφείλεται σε μια σειρά λόγων, όπως είναι η ύπαρξη πληθώρας περιβαλλοντικών προβλημάτων πολλά από τα οποία έχουν αποκτήσει καθολικό χαρακτήρα, η σημαντική πολλές φορές μείωση της «φέρουσας ικανότητας» των διαφόρων οικοσυστημάτων, οι εκτεταμένες επιδράσεις που δημιουργούν ιδιαίτερα τα μεγάλα έργα και τα προγράμματα στους παράγοντες και μεταβλητές του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος και η υιοθέτηση σε διεθνές επίπεδο, της αρχής της βιώσιμης ανάπτυξης. Με τις αρχές της πρόληψης και της προφύλαξης, μετατοπίστηκε το βάρος της περιβαλλοντικής προστασίας, από την αποκατάσταση στην πρόληψη.

Η υλοποίηση των αρχών αυτών, επιτυγχάνεται σε σημαντικό βαθμό, μέσω της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΕ), στα πλαίσια της οποίας επιχειρείται να εκτιμηθούν εκ των προτέρων, πάσης φύσεως επιδράσεις (θετικές-αρνητικές, μεγάλες-μικρές, άμεσες-έμμεσες, κ.λ.π) που προκαλούνται στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, από το σχεδιασμό και υλοποίηση έργων, δραστηριοτήτων και προγραμμάτων (Κασσιός, 1991). Στην περίπτωση των προγραμμάτων (αναπτυξιακά προγράμματα, προγράμματα χάραξης περιφερειακής πολιτικής, κατάστροφση χωροταξικών σχεδίων κ.λ.π), η εν λόγω εκτίμηση αναφέρεται ως στρατηγική εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (SEA) (Lee and Walsh, 1992)

Αν και ο θεσμός της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δεν περιορίζεται μόνο στην εκπόνηση των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), εν τούτοις οι τελευταίες αποτελούν τον βασικό μηχανισμό λειτουργίας του. Η πληρότητα, η αξιοπιστία αλλά και η σφαιρική προσέγγιση των επιδράσεων μιας ΜΠΕ, είναι προφανές ότι συμβάλουν αποτελεσματικά στην υλοποίηση της αρχής της πρόληψης. Βασικά στοιχεία που επηρεάζουν μεταξύ των άλλων την αξιοπιστία των μελετών αυτών, είναι η συνύπαρξη ποσοτικών και ποιοτικών μεταβλητών, η υποκειμενικότητα των κρίσεων, η καταλληλότητα των χρησιμοποιούμενων μεθόδων και τεχνικών εκτίμησης, η ιδιαιτερότητα των σχεδίων και προγραμμάτων και οι διαφορές τους με τα έργα, η οριοθέτηση του πεδίου μελέτης (scoring), η επιλογή των έργων που υποβάλλονται σε εκτίμηση (screening), η πρόβλεψη στα πλαίσια

της μελέτης μηχανισμού παρακολούθησης της λειτουργίας του έργου και της υλοποίησης του προγράμματος κ.λ.π. (Κασσιός, 2006, Λαζαρίδης, 1998)

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να επισημανθούν και τα ακόλουθα:

α) Στις σύγχρονες ιδίως μορφές των ΜΠΕ, συνυπάρχουν ποσοτικοί παράγοντες ή μεταβλητές (οι οποίοι είναι μετρήσιμοι), αλλά και αντίστοιχοι ποιοτικοί (κατ' αρχάς μη μετρήσιμοι). Η ανάγκη συνεξέτασης των εν λόγω ποσοτικών και ποιοτικών παραγόντων, επιβάλλει την αναζήτηση μεθόδων και τεχνικών που επιτυγχάνουν σχετική τουλάχιστον ποσοτικοποίηση ποιοτικών μεταβλητών, με αποτέλεσμα, εκτός των άλλων, τον περιορισμό της υποκειμενικότητας των κρίσεων. Η αναζήτηση αυτή επιβάλλεται, για να εξευρεθούν εναλλακτικές λύσεις και να επιλεγεί η πλέον πρόσφορη από αυτές. Η διαπίστωση αυτή, ισχύει ιδιαίτερα στην περίπτωση των οπτικών πόρων, για την εκτίμηση των οποίων χρησιμοποιούνται κατά κανόνα, μέθοδοι και τεχνικές που δεν προσοδιάζουν στην «κλασική» μορφή αντίστοιχων μεθόδων και τεχνικών αποτίμησης ποσοτικού χαρακτήρα παραγόντων και μεταβλητών. Ας σημειωθεί ότι στα πλαίσια των προσπαθειών σχετικής «αντικειμενικοποίησης» της διερεύνησης της αξίας των φυσικών πόρων, οι σχετικές έρευνες συνέκλιναν στο να αναγνωρίσουν ότι κάθε συνθετικός οπτικός πόρος, είναι το αποτέλεσμα των συνδυασμών τεσσάρων βασικών στοιχείων και ειδικότερα της μορφής, της γραμμής, του χρώματος και της υψής, με ιεράρχηση και σπουδαιότητα επικράτησης από το πρώτο προς το τελευταίο (Κασσιός, 2000, 2004).

β) η οριοθέτηση του πεδίου μελέτης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα, ο οποίος θα καθορίσει την εκπόνηση των αναγκαίων μελετών, οι οποίες πρέπει να καλύψουν όλα τα στάδια σχεδιασμού και υλοποίησης των προγραμμάτων.

γ) τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, η εφαρμογή του θεσμού ΕΠΕ στα προγράμματα, επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις διαφορές, έργων και προγραμμάτων. (Κασσιός, 1991)

3. Μέθοδοι και τεχνικές εκτίμησης

Κατόπιν των προαναφερθεισών επισημάνσεων, καθίσταται προφανές ότι οι μέθοδοι και τεχνικές εκτίμησης που χρησιμοποιούνται δεν μπορεί να χαρακτηρισθούν από τον ίδιο βαθμό καταλληλότητας για την εξεταζόμενη περίπτωση. Στα πλαίσια της ενότητας αυτής, επιχειρείται μία συγκριτική αξιολόγηση γνωστών μεθόδων και τεχνικών.

Η χρήση των «κλασικών» μεθόδων, είναι περιορισμένη και έχει κατά κανόνα συμπληρωματικό χαρακτήρα, διότι για τη χρήση των μεθόδων αυτών, επιβάλλεται να ισχύουν ορισμένες προϋποθέσεις, όπως το μη αβέβαιο περιβάλλον, το περιβάλλον εκλογικευμένης επιλογής και το στατικό περιβάλλον, προϋποθέσεις που ουδόλως ισχύουν στην περίπτωση των οπτικών πόρων. Σημαντικές ατέλειες των ιδίων μεθόδων είναι, μεταξύ άλλων, η αδυναμία ενσωμάτωσης διαφορετικών συντελεστών και η αδυναμία χειρισμού ποιοτικών δεδομένων, ζήτημα ιδιαίτερα σημαντικό για τους οπτικούς πόρους.

Οι μέθοδοι «πολυκριτηριακής» ανάλυσης, παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις κλασικές κυρίως διότι,

α) μπορεί να αναπτυχθούν σε αβέβαιο περιβάλλον,

β) το περιβάλλον μπορεί να είναι μη στατικό, με αποτέλεσμα ο σχεδιασμός να διαμορφώνεται στο πλαίσιο μιας διαρκούς διάδρασης σκοπών και μέσων,

γ) τα αποτελέσματα των εν λόγω μεθόδων μπορούν να σχετίζονται με διαφορετικές διαβαθμίσεις, εναλλακτικά ως προς κάποια κριτήρια, με διαφορετικές προτεραιότητες (ειδικά βάρη κριτηρίων). Επίσης, δίδεται δυνατότητα χειρισμού ποιοτικών δεδομένων, διότι στις πολυκριτηριακές προσεγγίσεις, είναι δυνατός ο χειρισμός μητρώων μικτών ή και αποκλειστικά μητρώων ποιοτικών δεδομένων (αριθμητικές/η και τακτικές κλιμακώσεις τιμών στα κριτήρια).

Για τους λόγους αυτούς, κρίνονται κατ' αρχήν κατάλληλες για την εκτίμηση των επιπτώσεων στους οπτικούς πόρους, αν και η καταλληλότητά τους αυτή μπορεί να περιορισθεί, λόγω της ύπαρξης διαφόρων προβλημάτων. Μεταξύ αυτών, περιλαμβάνονται προβλήματα αδυναμίας στα θέματα «αντικειμενικής» αποτίμησης και μέτρησης ποιοτικών μεταβλητών, προσδιορισμού του συνόλου των σχέσεων μεταξύ των περιβαλλοντικών παραγόντων και μεταβλητών, καθώς και αδυναμίας πλήρους προσδιορισμού και «εσωτερικοποίησης» του εξωτερικού κόστους, θέμα για το οποίο θα γίνει ειδικότερη αναφορά στη συνέχεια.

Τα πολυκριτηριακά μοντέλα λήψης περιβαλλοντικών αποφάσεων, που ονομάζονται και διαχειριστικά ή τεχνολογικά μοντέλα, έχουν καθοριστική συμβολή στην περιγραφή των περιβαλλοντικών συστημάτων και συνεπακόλουθα στη λήψη των περιβαλλοντικών αποφάσεων, και θεωρούνται κατ' αρχήν κατάλληλα για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων επί των οπτικών πόρων. Παρ' όλα αυτά, αρκετές φορές τα αποτελέσματα χρήσης τους δεν είναι ικανοποιητικά, διότι μεταξύ άλλων:

α) ανακύπτουν θεωρητικές δυσκολίες, που έχουν σχέση με τη σύνθεση των μοντέλων. Οι δυσκολίες αυτές, οφείλονται κυρίως στην αδυναμία ακριβούς μαθηματικού προσδιορισμού διαφόρων εννοιών που περιγράφουν τα πραγματικά φαινόμενα,

β) η προϋπόθεση της ύπαρξης επαρκών και αξιόπιστων στοιχείων δεν ισχύει πάντα, με αποτέλεσμα την αδυναμία κατασκευής κατάλληλων μοντέλων,

γ) η έλλειψη επαρκών γνώσεων για τα περιβαλλοντικά προβλήματα και των αλληλοσυσχετίσεων και αλληλεπιδράσεων των προσδιοριστικών τους παραγόντων (ιδιαίτερα αυτών που έχουν καθολικό χαρακτήρα), συντελεί και πάλι στην αδυναμία κατασκευής ενός αξιόπιστου μοντέλου.

Η συστηματική μέθοδος, μπορεί υπό ορισμένες προϋποθέσεις να ενταχθεί στην κατηγορία των κατ' αρχήν κατάλληλων μεθόδων. Πολλές φορές όμως, δημιουργούνται προβλήματα που περιορίζουν την εν λόγω καταλληλότητα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στο στάδιο του προσδιορισμού του συστήματος, προβλήματα μπορεί να δημιουργηθούν από την έλλειψη επαρκών σε ποσότητα και ποιότητα στοιχείων, καθώς και την έλλειψη γνώσης του πλήρους εύρους των στοιχείων του φυσικού περιβάλλοντος και των αλληλεπιδράσεων αυτών. Κατά την κατασκευή του υποδείγματος, μπορεί επιπλέον να δημιουργηθούν πρόσθετα προβλήματα επιλογής των στοιχείων του, αφού είναι γνωστό ότι ένα τέτοιο υπόδειγμα θα πρέπει να περιλαμβάνει για λόγους δυνατότητας χειρισμού, μικρό αριθμό στοιχείων, κατάλληλα επιλεγμένων και τις σχέσεις που τα συνδέουν, κατάλληλα ορισμένες. Στο στάδιο επιλογής/καθορισμού του συνόλου των κριτηρίων, εμφανίζεται επιπλέον το πρόβλημα της ποσοτικοποίησης, αφού όλα τα φαινόμενα θα πρέπει να ποσοτικοποιηθούν κατά τάξη ή πλήθος, γεγονός που όπως είναι ευνόητο δημιουργεί εξαιρετικά σημαντικά προβλήματα στην περίπτωση των οπτικών πόρων. Ανάλογα με τα προηγούμενα προβλήματα, μπορεί να ανακύψουν και σε άλλα στάδια της διαδικασίας, όπως επί παραδείγματι στο στάδιο της εξεύρεσης εναλλακτικών λύσεων, της αξιολόγησης αυτών και στην επιλογή της πιο πρόσφορης.

Πλέον κατάλληλη μέθοδος για την εξεταζόμενη περίπτωση, εμφανίζεται αυτή που στηρίζεται στην ανάλυση αποφάσεων. Σύμφωνα με την εν λόγω μέθοδο, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των έργων/προγραμμάτων περιγράφεται ως μια διαδικασία λήψης αποφάσεων, δηλαδή επιλογής μιας λύσης, μετά πολλών εναλλακτικών σε συνθήκες αβεβαιότητας. Η θεωρία των αποφάσεων δίδει το κατάλληλο πλαίσιο για τη λήψη αυτών σε συνθήκες επικινδυνότητας, διότι παρέχει τη δυνατότητα αποτίμησης και των ανειθύμητων συνεπειών, που είναι αποτέλεσμα αστοχίας των υπό ανάλυση αποφάσεων. Η ανάπτυξη και επίλυση μοντέλων προσομοίωσης των φυσικών φαινομένων που λαμβάνει χώρα, οδηγεί στον υπολογισμό των πιθανοτήτων αστοχίας, δεδομένου ότι η αξιολόγηση των επιπτώσεων από την πιθανή αστοχία των έργων/προγραμμάτων λαμβάνει χώρα στο στάδιο της τεχνικής ανάλυσης, η οποία ενσωματώνεται στην όλη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα της εν λόγω μεθόδου, έναντι κυρίως της κλασικής

κόστους/οφέλους, είναι ότι δίδεται η δυνατότητα αποτίμησης συνεπειών και επιπτώσεων που δεν μεταφράζονται εύκολα σε χρήμα. Η προαναφερθείσα καταλληλότητα της εξεταζόμενης μεθόδου είναι ευχερώς διαπιστώσιμη στην περίπτωση των οπτικών πόρων, καθότι εκτός των άλλων, με την εν λόγω μέθοδο, δίδεται η δυνατότητα εκτίμησης ποικίλων παραγόντων και μεταβλητών αποτιμητών και μη αποτιμητών σε χρήμα. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη συνεξέταση των επιπτώσεων τόσο σε ποιοτικούς πόρους, όπως είναι οι οπτικοί, όσο και σε ποσοτικούς. Βεβαίως και πάλι μπορεί να εμφανισθούν ανάλογα με τα αναφερόμενα στις άλλες μεθόδους και τεχνικές προβλήματα. Σε κάθε όμως περίπτωση, η εξεταζόμενη μέθοδος είναι προσφορότερη από τις λοιπές.

Τέλος επισημαίνεται ότι ιδιαίτερα πόρων, όπως είναι οι για την περίπτωση των οπτικών πόρων, θα πρέπει κατά κανόνα, να επιχειρείται η εφαρμογή ενός συνδυασμού κατάλληλων μεθόδων και τεχνικών, για την επίτευξη όσο το δυνατόν πιο πρόσφορου εκτιμητικού αποτελέσματος (Lee and Wood, 1977).

4. Οικονομική προσέγγιση

Η οικονομική παράμετρος παίζει ιδιαίτερο ρόλο στην εξεταζόμενη εκτίμηση. Θέματα που σχετίζονται με αυτή είναι, μεταξύ άλλων, η δυνατότητα «εσωτερικοποίησης» του εξωτερικού κόστους, η δυνατότητα χρήσης των πλέον πρόσφορων, κατά περίπτωση, οικονομικών μέσων, ο προσδιορισμός της κοινωνικής ευημερίας που προκαλείται από το σχεδιασμό και υλοποίηση των συγκεκριμένων έργων/ δραστηριοτήτων /σχεδίων και προγραμμάτων, ο προσδιορισμός της ίδιας ευημερίας που προέρχεται από τη διατήρηση και προστασία των οπτικών πόρων, ο εντοπισμός και η αξιολόγηση των «οικονομιών κλίμακας» και των «εξωτερικών οικονομιών» (μόλυνση, ρύπανση και υποβάθμιση του περιβάλλοντος), καθώς και η αδυναμία πλήρους λογιστικής απεικόνισης ωφελειών και κόστους, ιδιαίτερα στους ποιοτικούς παράγοντες, όπως είναι οι οπτικοί πόροι (Coase, 1960, Luken, 1990).

Ιδιαίτερη αναφορά, θα πρέπει να γίνει στο είδος των προβλημάτων που δημιουργούνται λόγω της αδυναμίας της οικονομικής επιστήμης να συμπεριλάβει στους διάφορους «Εθνικούς» και άλλους λογαριασμούς την περιβαλλοντική συνιστώσα, ιδίως στην περίπτωση των ποιοτικών μεταβλητών, με αποτέλεσμα, μεταξύ άλλων, ούτε κατάλληλη «εσωτερικοποίηση» του εξωτερικού κόστους να μπορεί να επιτευχθεί, ούτε επίσης επιλογή των πλέον πρόσφορων εναλλακτικών λύσεων.

Η αντιμετώπιση των εξεταζομένων προβλημάτων που δημιουργούνται, θα πρέπει να γίνει, με βάση τις εξής κατευθύνσεις:

α) την κατεύθυνση της πλήρους και πλέον πρόσφορης εκμετάλλευσης των υπαρχόντων μεθόδων και τεχνικών εκτίμησης,

β) την κατεύθυνση της συνεξέτασης των βασικών τουλάχιστον κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων με τις λοιπές τεχνικού, νομικού, οργανωτικού κ.λ.π. χαρακτήρα στα πλαίσια εκπόνησης ΜΠΕ,

γ) την κατεύθυνση της λήψης ενιαίων μέτρων από την πολιτεία, όταν η συμπεριφορά της ιδιωτικής πρωτοβουλίας οδηγεί στη δημιουργία εκτεταμένων αρνητικών εξωτερικών οικονομιών, μεταξύ των οποίων, προέχουσα θέση έχει η υποβάθμιση του περιβάλλοντος γενικότερα και των οπτικών πόρων ειδικότερα.

5. Νομοθετικό πλαίσιο

Η έκδοση των οδηγιών 97/11ΕΕ για την εκτίμηση των επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον (τροποποίηση της οδηγίας 85/337/ΕΟΚ) και 96/61/ΕΕ για την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης, επέβαλαν, μεταξύ άλλων, την ανάγκη τροποποίησης των άρθρων 3,4,5 του Ν.1650/86 για το περιβάλλον, όπως εξειδικεύτηκαν με τις ΚΥΑ 69269/5387/90 και 75308/5512/90. Η τροποποίηση έλαβε χώρα

με την έκδοση του Ν.3010/2002(ΦΕΚ 91Α /25-4-2002) «Εναρμόνιση του Ν. 1650/1986 με τις οδηγίες 97/11 ΕΕ και 96/61 ΕΕ, διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις». Σε συνέχεια του παρόντος νόμου εκδόθηκε, η ΚΥΑ ΗΠ 15393/2332/2002 (ΦΕΚ 1022Β/ 5-8-2002 «Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και υποκατηγορίες, σύμφωνα με το άρθρο 3 του Ν.1650/1986 όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 1 του Ν. 3010/2002 “Εναρμόνιση του Ν 1650/86 με τις οδηγίες 97/11ΕΕ και 96/61ΕΕ κ.α(Α91)”, στα πλαίσια της οποίας τα έργα και οι δραστηριότητες της Α και Β κατηγορίας υποδιαιρούνται στις υποκατηγορίες 1 και 2 (για τη Α) και 3 και 4 (για τη Β).

Ακόμη κατ’ επιταγή του νόμου εκδόθηκαν μέχρις στιγμής τέσσερις ΚΥΑ, που αφορούν την κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, τη διαδικασία προκαταρκτικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και έγκρισης περιβαλλοντικών όρων (ΕΠΟ), τη δημοσιοποίηση και την πρόβλεψη υπογραφής των πράξεων ΕΠΟ των έργων και δραστηριοτήτων κατηγορίας Α, υποκατηγορίας 2, από το Γενικό Γραμματέα Περιφέρειας

Όσον αφορά το θέμα των προγραμμάτων σε επίπεδο κοινοτικού δικαίου έχει εκδοθεί η οδηγία για τη στρατηγική εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (οδηγία 2001/42/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Ιουνίου 2001, σχετικά με την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων και προγραμμάτων, η οποία ενσωματώθηκε στην εσωτερική έννομη τάξη της χώρας μας με ΚΥΑ που δημοσιεύτηκε το Σεπτέμβριο του 2006.

Εκτός της ανωτέρω νομοθεσίας που αφορά την ΕΠΕ, ισχύει κατά περίπτωση και ειδικότερη νομοθεσία που αφορά κατά ένα μεγάλο ποσοστό, οπτικούς πόρους (π.χ. νομοθεσίες για την οριοθέτηση υδατορεμάτων, για εθνικούς δρυμούς, αισθητικά δάση, διατηρητέα μνημεία της φύσης, ακτές, εθνικά πάρκα, προστατευόμενους φυσικούς σχηματισμούς, υδροτόπους, ενδιαιτήματα άγριας ζωής, περιοχές διατήρησης βιολογικής ποικιλομορφίας κ.λ.π). Αξιολογώντας το ανωτέρω θεσμικό πλαίσιο, διαπιστώνεται ότι δεν προωθεί την απαραίτητη σύνδεση του θεσμού της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ως βασικού εργαλείου διαχείρισης και προστασίας των οπτικών πόρων

6. Οι θέσεις της νομολογίας

Η νομολογία έχει κατ’ επανάληψη ασχοληθεί με ζητήματα τα οποία συνδέονται με το εξεταζόμενο θέμα Μεταξύ των θέσεων που έχει διατυπώσει και αναφέρονται στην ΕΠΕ γενικά, περιλαμβάνονται και οι εξής: (Αποφάσεις και πρακτικά Επεξεργασίας ΣΤΕ, ιδίως από 1990 έως σήμερα)

α) η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος απορρέει απ’ ευθείας από το άρθρο 24 του Συντάγματος, το οποίο έχει άμεση ισχύ,

β) η εκτίμηση θα πρέπει να ξεκινά από το κατάλληλο, κατά περίπτωση επίπεδο σχεδιασμού,

γ) η ίδια εκτίμηση πρέπει να είναι σφαιρική, πλήρης, ολοκληρωμένη και στα πλαίσια αυτής να εξετάζονται οι εναλλακτικές λύσεις και της μηδενικής συμπεριλαμβανομένης,

δ) από τις εναλλακτικές, θα πρέπει να επιλέγεται αυτή που προξενεί τις ηπιότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και είναι τεχνικά πρόσφορη,

ε) η ΕΠΕ θα πρέπει να είναι προσανατολισμένη προς την αρχή της βιώσιμης ανάπτυξης, που απορρέει τόσο από το Σύνταγμα, όσο και από το Ευρωπαϊκό Κοινοτικό Δίκαιο, αλλά και από Διεθνείς Συνθήκες,

στ) η προστασία του περιβάλλοντος, αποτελεί τον σπουδαιότερο παράγοντα, από αυτούς που συνθέτουν το δημόσιο συμφέρον.

Εξάλλου, ειδικά για θέματα οπτικών πόρων διατυπώνονται και οι ακόλουθες θέσεις (Μανούρης., 1997):

α) Οι ακτές, κατά τη συνταγματική επιταγή του άρθρου 24 του Συντάγματος, υπόκεινται σε ειδικό προστατευτικό νομικό καθεστώς, αφού αποτελούν ευαίσθητα οικοσυστήματα. Η έννοια της ακτής στις περισσότερες των αποφάσεων, νοείται με την έννοια της παράκτιας ζώνης

β) Οι ακτές, υπό την ανωτέρω έννοια, αποτελούν και πολύτιμους οπτικούς πόρους, με διαρκή αλληλεπίδραση της χερσαίας και της θαλάσσιας ζώνης τους. Με την προαναφερθείσα θέση, προσδίδεται στις ακτές αισθητική αξία, συνταγματικά κατοχυρωμένη και για το λόγο αυτό θα πρέπει να διαφυλάσσεται η μορφολογία

γ) Τα οποιαδήποτε φύσης έργα που πραγματοποιούνται στις παράκτιες ζώνες (λιμενικά, βιομηχανικά, οικοδομικά κ.λ.π), πρέπει να εντάσσονται στη λογική της "ήπιας διαχείρισης". Κατά τη διαμόρφωση αυτής της θέσης της νομολογίας, ιδιαίτερος λαμβάνονται υπόψη, αφ' ενός μεν το γεγονός ότι το έργο επηρεάζει τη χερσαία και θαλάσσια ζώνη μιας παράκτιας περιοχής, των οποίων η πανίδα και η χλωρίδα ευρίσκονται σε στενή αλληλεξάρτηση, ενώ όπως ήδη προαναφέρθηκε, αποτελούν "ευαίσθητα" οικοσυστήματα, αφ' ετέρου δε ότι η επίδραση του έργου στη θαλάσσια υδροδυναμική έχει επιπτώσεις και στα παρακείμενα οικοσυστήματα. Με βάση το ως άνω σκεπτικό, καθόρισε ειδικότερα ότι τα έργα στην παράκτια ζώνη πρέπει, μεταξύ άλλων,

i) να είναι βιώσιμα, δηλαδή "συμβατά" με τα χαρακτηριστικά των ζωνών αυτών, όπως προδιαγράφηκαν,

ii) να μην προκαλούν εκτεταμένη και σοβαρή αλλοίωση της μορφολογίας των ανωτέρων ζωνών,

iii) να μην προσβάλουν την αισθητική του τοπίου,

δ) Τα θέματα των παρακτίων ζωνών είναι μείζονος σημασίας και σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθούν ως θέματα τεχνικού ή λεπτομερειακού χαρακτήρα και γενικά δεν εντάσσονται στις περιπτώσεις, που σύμφωνα με το άρθρο 43 του Συντάγματος, είναι δυνατόν, πάντα βεβαίως κατόπιν εξουσιοδότησης νόμου, να εκδοθούν κανονιστικές πράξεις, από άλλα, πλην του Προέδρου της Δημοκρατίας όργανα της διοίκησης και της αυτοδιοίκησης (Υπουργό, Νομάρχη κ.λ.π). Συνεπώς, εάν υπάρχει σχετική εξουσιοδότηση νόμου, η εκδιδόμενη κανονιστική πράξη, που αφορά θέματα παρακτίων ζωνών, πρέπει να έχει τη μορφή προεδρικού διατάγματος

ε) Η οριοθέτηση υδατορέματος αποσκοπεί αφενός μεν στην εξασφάλιση της απρόσκοπτης απορροής των επιφανειακών υδάτων αφετέρου δε στην περιβαλλοντική προστασία του.

ζ) Τα υδατορέματα αποτελούν "ευαίσθητα οικοσυστήματα", προστατευόμενα ευθέως από το άρθρο 24 του Συντάγματος

στ) Η εκτέλεση των απολύτως αναγκαίων τεχνικών έργων για την διευθέτηση της κοίτης και των πρηνών των υδατορεμάτων, επιτρέπεται μόνο για τη διασφάλιση της ελεύθερης ροής των υδάτων, ενώ η εν λόγω παρέμβαση πρέπει σε κάθε περίπτωση να είναι ηπιού χαρακτήρα

ζ) Η οριοθέτηση θα πρέπει να θεσμοθετείται , με προεδρικό διάταγμα.

7. Η στάση της δημόσιας διοίκησης

Από την προαναφερθείσα ανάλυση, καθίσταται φανερό ότι η δημόσια διοίκηση θα πρέπει να προσαρμόσει αναλόγως την εν γένει στάση και δράση της, τόσο με τις τεχνικές και οικονομικές απαιτήσεις μιας πρόσφορης διαδικασίας ΕΠΕ στην περίπτωση των οπτικών πόρων, όσο και με τις θέσεις της νομολογίας. Ειδικότερα, η συμβατή προς τις θέσεις της

νομολογίας διοικητική δράση, επιβάλλεται, εκτός των άλλων και για το λόγο ότι η διοίκηση έχει από το Σύνταγμα την υποχρέωση να συμμορφώνεται με τις αποφάσεις των δικαστηρίων (άρθρο 95 παρ. 5 Σύνταγματος). Δυστυχώς όμως η κατάσταση που επικρατεί δεν είναι η προαναφερθείσα, γεγονός που οφείλεται τόσο σε έλλειψη σχετικών γνώσεων και εμπειριών στα θέματα αυτά από τα στελέχη της Διοίκησης, όσο και σε γενικότερα οργανωτικά προβλήματα. Επισημαίνεται ιδιαίτερα ότι τα εξεταζόμενα ζητήματα είναι κατά βάση «οριζοντίου» χαρακτήρα, ενώ η διοικητική δομή, βασίζεται σε «καθέτου» χαρακτήρα δράσεις.

Ειδικότερα στην Ελλάδα το θέμα της διαχείρισης των οπτικών πόρων αλλά και η εκτίμηση των επιπτώσεων από έργα, προγράμματα ή σχεδιασμούς σε αυτούς, βρίσκεται ακόμα σε πολύ πρώιμο στάδιο τόσο μεθοδολογικά όσο και στο πεδίο έρευνας και εφαρμογών. Η απουσία Εθνικού Χωροταξικού Σχεδιασμού και χαρτογραφικών υποβάθρων που να εμφανίζουν ύστερα από αξιολόγηση τη σπουδαιότητα προστασίας των Τοπίων της Χώρας αλλά και η απουσία της σχετικής παιδείας στη εκτίμηση και διαχείριση των οπτικών πόρων οδηγούν στην καταστροφή ποιοτικούς πόρους με τεράστια εθνική, οικονομική και οικολογική αξία, χωρίς μελλοντική δυνατότητα αποκατάστασης και επαναφοράς τους όταν καταστραφούν.

Επιβάλλεται, εκτός των άλλων, να αξιοποιηθούν άμεσα οι σύγχρονες τεχνολογικές δυνατότητες που και ο τόπος μας διαθέτει όπως Η/Υ, ΓΣΠ, Τηλεπισκόπηση, Δορυφορικές πληροφορίες, Μεθοδολογίες Εκτίμησης Ποιότητας Τοπίου (Scapreviewer) (Mougiakakou et al., 2005) κλπ προκειμένου οι οπτικοί πόροι να προστατευθούν. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί άμεσα και να κινητοποιήσει φορείς και μελετητές, αν οι αδειοδοτούσες αρχές στις ΜΠΕ απαιτούν σαφή και εμπειρισταμένη διατύπωση της διαχείρισης και των επιπτώσεων των έργων, προγραμμάτων και σχεδιασμών επί των οπτικών πόρων τόσο στις ΜΠΕ όσο και στις ΣΠΕ (Στρατηγικές Περιβαλλοντικές Μελέτες).

8. Συμπεράσματα- Προτάσεις

Από την προαναφερθείσα ανάλυση του θέματος, μπορεί να διατυπωθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα και προτάσεις:

α) Η ΕΠΕ, αποτελεί ένα κατ' εξοχήν μέσο πρόσφορης υλοποίησης των αρχών της πρόληψης και της προφύλαξης. Η εν λόγω εκτίμηση προϋποθέτει, εκτός των άλλων, την εκπόνηση καταλλήλων για την ανωτέρω υλοποίηση ΜΠΕ, στα πλαίσια των οποίων πρέπει να συνεξεταστούν και να συναξιολογηθούν ποσοτικοί με ποιοτικούς παράγοντες και μεταβλητές. Στους τελευταίους περιλαμβάνονται και οι οπτικοί πόροι. Για την εκτίμηση των επιπτώσεων που προκαλούνται στους πόρους αυτούς, από έργα / δραστηριότητες / σχέδια και προγράμματα θα πρέπει να αναζητηθούν, επινοηθούν και εφαρμοστούν κατάλληλες μέθοδοι και τεχνικές εκτίμησης. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα από κάθε ενδιαφερόμενο φορέα (δημόσια διοίκηση, πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα κ.λ.π) για την ανάπτυξη της σχετικής έρευνας.

β) Η χρήση μεθόδων ανάλυσης ευαισθησίας είναι συγκριτικά με άλλες η πλέον κατάλληλη για την εκτίμηση των προαναφερθεισών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η πράξη όμως έχει επανειλημμένα δείξει ότι πολλές φορές, θα πρέπει να αναζητείται και να εφαρμόζεται κατάλληλος συνδυασμός μεθόδων και τεχνικών και όχι αποκλειστικά μία μόνο μέθοδος και τεχνική

γ) Ιδιαίτερα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η οικονομική συνιστώσα των επιδράσεων, με βάση κυρίως τις ανάγκες «εσωτερικοποίησης» του εξωτερικού κόστους, δημιουργίας οικονομιών κλίμακας και αποφυγής δημιουργίας αρνητικών εξωτερικών οικονομιών, της χρήσης οικονομικών μεθόδων για τον περιορισμό της ρύπανσης, ανάγκες που δεν φαίνεται αρκετές φορές να συνεκτιμώνται, κυρίως από τη δημόσια διοίκηση. Η τελευταία, οφείλει να λάβει κατάλληλα μέτρα και κυρίως να ενσωματώσει στις προδιαγραφές των ΜΠΕ σχετικούς όρους, ώστε να λαμβάνεται υπόψη η προαναφερθείσα συνιστώσα

δ) Η νομοθεσία που συνδέεται άμεσα ή έμμεσα με το εξεταζόμενο θέμα, δεν παρουσιάζει

την απαιτούμενη πληρότητα και ευελιξία και θα πρέπει να τροποποιηθεί. Η διαπίστωση αυτή ισχύει τόσο για την κύρια νομοθεσία που αφορά την ΕΠΕ, όσο και την συμπληρωματική που κυρίως αναφέρεται σε κατηγορίες οπτικών πόρων.

ε) Η νομολογία, έχει σε πάρα πολλές περιπτώσεις, διατυπώσει μια σειρά ορθών θέσεων. Δυστυχώς όμως, η δημόσια διοίκηση, για μια σειρά γενικότερων και ειδικότερων λόγων, δεν ακολουθεί πολλές φορές τις θέσεις αυτές, παρότι έχει σχετική υποχρέωση που απορρέει ευθέως από το Σύνταγμα. Οι θέσεις της νομολογίας όμως, πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη, ιδιαίτερα στη φάση της σύνταξης των σχετικών προδιαγραφών των ΜΠΕ.

στ) Η διεπιστημονικότητα που χαρακτηρίζει τόσο τη διαδικασία ΕΠΕ, όσο και τις ΜΠΕ, επιβάλλει την ανάγκη εκπόνησης και ελέγχου των τελευταίων από κατάλληλη κατά περίπτωση, διεπιστημονική ομάδα.

ζ) Τέλος βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από την όλη εξέταση του θέματος, είναι ότι επιβάλλεται να υπάρξουν σύνθετες και ολοκληρωμένες προσεγγίσεις των σχετικών με αυτά θεμάτων. Αυτού του είδους οι προσεγγίσεις, για να έχουν ουσιαστικό πρακτικό αποτέλεσμα, θα πρέπει, εκτός των άλλων, να ενσωματωθούν στις διαδικασίες ΕΠΕ και ιδιαίτερα στις αντίστοιχες προδιαγραφές σύνταξης των ΜΠΕ. Στις εν λόγω προδιαγραφές, θα πρέπει, μεταξύ άλλων, να περιλαμβάνονται :

- Η πρόβλεψη εφαρμογής καταλλήλων μεθόδων και τεχνικών εκτίμησης των αντιστοιχών επιπτώσεων. Εκτιμάται ότι σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να αιτιολογείται σε ικανοποιητικό βαθμό, η επιλογή της μεθόδου ή το ορθότερο του συνδυασμού διαφόρων μεθόδων. Γίνεται φανερό ότι η ανάπτυξη του εκπαιδευτικού και ερευνητικού πεδίου αλλά νέων προσεγγίσεων εκτίμησης επιπτώσεων στις ποιοτικές μεταβλητές των πόρων θα πρέπει να επιταχυνθούν στον τόπο μας.
- Η σαφής πρόβλεψη για την υποχρεωτική εκτίμηση των επιπτώσεων στους οπτικούς πόρους, πέραν των φυσικών και των σχετικών κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων, σε συνδυασμό με την χρήση αναλόγων με την εξεταζόμενη περίπτωση καταλλήλων μεθόδων και τεχνικών εκτίμησης.
- Η ενσωμάτωση στις προδιαγραφές των θέσεων της νομολογίας. Απόλυτα δεκτικές ενσωμάτωσης, είναι ιδιαίτερες οι θέσεις της για την «έγκαιρη» έναρξη της διαδικασίας εκτίμησης, τη σφαιρικότητα της εκτίμησης αυτής, την αναγκαιότητα εξέτασης των εναλλακτικών λύσεων και της επιλογής της πλέον κατάλληλης κατά περίπτωση, την προσεκτική διαχείριση των οπτικών πόρων, καθόσον αυτοί άπτονται ευαίσθητων οικοσυστημάτων καθώς και την προσεκτική και ήπια ανάπτυξη έργων και δραστηριοτήτων στις ίδιες περιπτώσεις.

Βιβλιογραφία

Κασσιός Κ.,1991: «Σημειώσεις επιπτώσεων στο περιβάλλον από τεχνικά έργα και προγράμματα», ΕΜΠ, Αθήνα

Κασσιός Κ., 2000., «Επιπτώσεις στο περιβάλλον από έργα και προγράμματα. Τεχνικές και μέθοδοι αντιμετώπισής τους», ΕΜΠ, Αθήνα

Κασσιός Κ., 2006., «Οι Επιπτώσεις στο περιβάλλον από έργα και προγράμματα. Απόψεις για την αντιμετώπισή τους», ΕΜΠ, Αθήνα

Λαζαρίδης Λ., 1998., «Ο περιβαλλοντικός σχεδιασμός των Υδραυλικών Έργων. Η σημερινή κατάσταση. Προβλήματα και προοπτικές», Σεμινάριο ΜΟΔ με θέμα : Ο θεσμός των ΜΠΕ. Εφαρμογή και Ευαισθητοποίηση, Λουτράκι, 1998

Μανούρης Γεώργιος, 1997., «Διαμόρφωση του νομικού και οικονομικού πλαισίου για την

εφαρμογή σε περιφερειακό κοινοτικό επίπεδο, των μελετών επιπτώσεων στο περιβάλλον από τεχνικά έργα και προγράμματα», Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα, 1997

ΣΤΕ, Αποφάσεις και Πρακτικά Επεξεργασίας ετών 1990 και εντεύθεν

Coase K., 1960: «The problem of Social Cost », Journal of Law and Economics, October, 1960

Lee N.- Wood C., 1977: «Methods of Environmental Impact Assesement for major projects and Physical Plans», EEC, ENV/137/78-EN, December 1977

Lee N.- Walsh.,1992: «Strategic environmental assessment», EIA Leaflet series No 13, Manshester

Luken R.A., 1990: «Efficiency in Environmental Regulation: A Benefit – Cost Analysis of Alternative Approaches» in « Studies in Risk and Uncertainty», Norwell, Mass, Kluwer Academic, 1990

Mougiakakou S, Tsouchlaraki A, Cassios C et.al ,2005 : SCAPEVIEWER.: "Preliminary Results of a Landscape Quality Classification",in "Ecological Engineering", Vol.24 No 1-2, pp.5-15

ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΘΕΣΕΩΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΓΙΑ Χ.Υ.Τ.Α., ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ ΚΑΣΣΑΝΔΡΑΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ, ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ/GIS. ΜΙΑ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.

Οικονομίδης Δ., Νασιάκου Π., Μουρατίδης Α., Αστάρης Θ.

Εργαστήριο Εφαρμογών Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, (oikonomi@geo.auth.gr)

Περίληψη

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο όχι μόνο για την δημιουργία διαφόρων θεματικών χαρτών, αλλά κυρίως για την λήψη αποφάσεων για την ορθολογική διαχείριση του περιβάλλοντος.

Στην παρούσα εργασία τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιήθηκαν για την οριοθέτηση κατάλληλων θέσεων στην περιοχή Κασσάνδρας Χαλκιδικής, για δημιουργία Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμάτων/Χ.Υ.Τ.Α.

Για τον σκοπό αυτό, ψηφιοποιήθηκαν γεωγραφικά-γεωμορφολογικά δεδομένα (κλίσεις πρανών, υδρογραφικό δίκτυο, υδροπερατότητα λιθολογικών σχηματισμών, ρήγματα, οδικό δίκτυο, οικιστικές περιοχές), για την κατασκευή επιπέδων πληροφοριών σε Γ.Σ.Π.. Επίσης, καθορίστηκαν ζώνες περιμετρικής προστασίας ή «ζώνες αποκλεισμού» (buffer zones) γύρω από οικισμούς, ρήγματα, οδικό και υδρογραφικό δίκτυο. Στη συνέχεια, τα ανωτέρω επίπεδα πληροφοριών, συσχετίστηκαν μεταξύ τους (με την βοήθεια της άλγεβρας του Boolean Algebra), κατά την διάρκεια του σταδίου κατασκευής του τελικού θεματικού χάρτη ο οποίος οριοθετεί περιοχές κατάλληλες για δημιουργία Χ.Υ.Τ.Α.

FINDING PROPER PLACES FOR SANITARY LANDFILL SITES AT THE KASSANDRA PENINSULA OF HALKIDIKI WITH THE AID OF GIS. A RATIONAL-ENVIRONMENTAL APPROACH.

Oikonomidis D., Nasiakou P., Mouratidis A., Astaras T.

Laboratory of Remote Sensing and GIS Applications, Department of Physical and Environmental Geography, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki.

Abstract

Geographical Information Systems (GIS) are a very useful tool, not only for creating thematic maps but mainly for decision making and rational management of the environment.

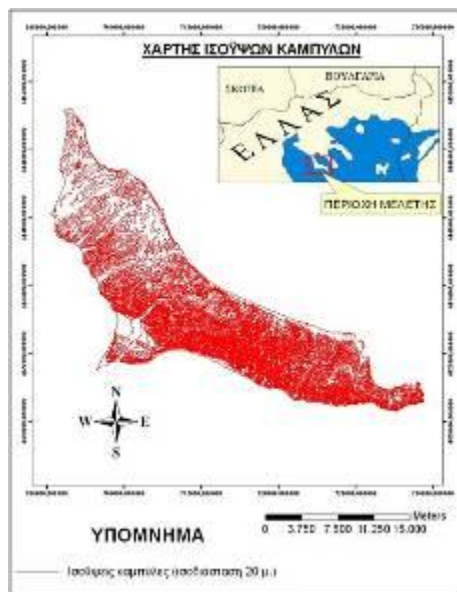
In the present study, GIS were used in order to find proper areas for the placement of sanitary landfill sites, in the Kassandra Peninsula of Halkidiki.

For the above purpose, various geographical and geo-morphological data were digitized (slopes, drainage network, hydro-permeability of lithological units, faults, roads, urban areas), for the creation of GIS layers. Furthermore, buffer zones were created around urban areas, faults, drainage network and roads. All the above GIS layers were associated with the help of Boolean Algebra in order to construct the final map which delineates areas proper for the placement of sanitary landfill sites.

Λέξεις κλειδιά: ΧΥΤΑ, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Κασσάνδρα.

Key words: sanitary landfill sites, GIS, Kassandra.

1. Εισαγωγή-σκοπός της εργασίας



Σχήμα 1. Περιοχή μελέτης και ισοψείς καμπύλες.

Η Ψηφιακή Χαρτογραφία και τα ΓΣΠ αποτελούν σχετικά νέες επιστήμες οι οποίες προέκυψαν τις τελευταίες δεκαετίες και χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο τον τελευταίο καιρό από τους γεωεπιστήμονες σε συνδυασμό πάντα με την παρατήρηση που γίνεται στην ύπαιθρο με σκοπό την ορθολογικότερη διαχείριση του περιβάλλοντος.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση κατάλληλων Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) στην περιοχή της χερσονήσου Κασσάνδρας Χαλκιδικής με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ). Η απόφαση για την οριοθέτηση ενός χώρου ΧΥΤΑ δεν είναι μία απλή υπόθεση, τουναντίον πρέπει να ληφθούν υπόψιν ποικίλοι παράγοντες, γεωγραφικοί, γεωλογικοί αλλά και πολιτικοί. Με την εργασία αυτή επιχειρείται να δοθεί ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων όσον αφορά το καθαρά επιστημονικό μέρος. Το τελικό αποτέλεσμα αυτής της εργασίας ήταν η δημιουργία ενός χάρτη καταλληλότητας οριοθέτησης χώρου ΧΥΤΑ.

2. Περιβάλλον της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι η χερσόνησος Κασσάνδρας του νομού Χαλκιδικής (σχήμα 1). Η διεύθυνσή της είναι ΒΔ-ΝΑ, καλύπτει επιφάνεια 353,087 km².

Σύμφωνα με τον Μπαλαφουτή (1977), η περιοχή μελέτης κατατάσσεται στον Μεσογειακό τύπο κλίματος, Csa (ταξινόμηση Koerppen 1936), δηλαδή χαρακτηρίζεται από θερμά και ξηρά καλοκαίρια, καθώς και από ήπιους και υγρούς χειμώνες.

Τα υψόμετρα της περιοχής μελέτης κυμαίνονται από 0μ.-340μ., επομένως, βάσει της ταξινόμησης κατά Dikau (1989), η περιοχή μελέτης μπορεί να χαρακτηριστεί ως πεδινή-λοφώδης.

Τέλος, όσον αφορά την γεωλογία, απαντώνται σύγχρονες προσχώσεις, μάργες, ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, σχιστόλιθοι και οφιόλιθοι. (ΙΓΜΕ, 1969, σχήμα 6 και πίνακας 1).

3. Δεδομένα και μέθοδος έρευνας

3.1 Δεδομένα

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι χάρτες:

Α) Τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ). Φύλλα:

«Καλάνδρα», «Νικήτας», «Παλιούριον» και «Κασσάνδρα», κλίμακας 1/50.000.

Β) Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ, Φύλλο: «Χερσονήσος Κασσάνδρας», κλίμακας 1:50.000.

Από τους τοπογραφικούς χάρτες ψηφιοποιήθηκαν:

- Οι ισοϋψείς καμπύλες με ισοδιάσταση 20μ.
- Το υδρογραφικό δίκτυο.
- Οι πόλεις και τα χωρία.
- Η ακτογραμμή.
- Το οδικό δίκτυο της περιοχής.

Από το γεωλογικό χάρτη ψηφιοποιήθηκαν:

- Οι γεωλογικοί σχηματισμοί.
- Τα ρήγματα.

3.2. Μέθοδος έρευνας

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε σε προσωπικό υπολογιστή Computer Intel® Pentium® 4 CPU 2.80GHz 512MB of RAM με τη χρήση του προγράμματος ArcGIS 9, συμπεριλαμβανομένων και των τριών εφαρμογών του, ArcMap, ArcCatalog & ArcToolbox.

Αρχικά, ψηφιοποιήθηκαν οι ισοϋψείς καμπύλες της υπό μελέτην περιοχής, με ισοδιάσταση 20m οι οποίες περιλαμβάνουν υψόμετρα: 0m (ακτογραμμή) – 340m (υψηλότερη κορυφή) και οι οποίες παρουσιάζονται στο σχήμα 1.

Ακολούθως, ψηφιοποιήθηκε το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής (διαρκής και περιοδική ροή των ρεμάτων) το οποίο παρουσιάζεται στο σχήμα 2.

Στην συνέχεια, ψηφιοποιήθηκαν το κύριο οδικό δίκτυο (αμαξιτοί οδοί ασφαλτόστρωτοι ή σκυρόστρωτοι 1 και 2 ρευμάτων) και τα χωριά της Χερσονήσου Κασσάνδρας (σχήματα 3 και 4 αντίστοιχα).

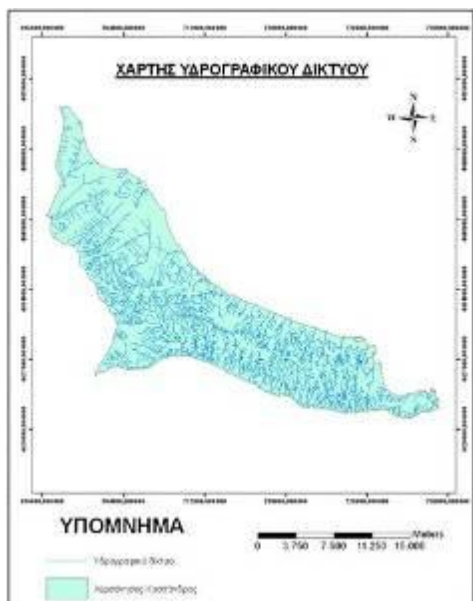
Στον χάρτη του σχήματος 5 παρουσιάζονται οι γεωλογικοί/λιθολογικοί σχηματισμοί και τα ρήγματα της περιοχής μελέτης.

Όλα τα επίπεδα πληροφοριών καθώς και οι τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες, είναι αυστηρά προσανατολισμένα σε ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα, ώστε να καθίσταται δυνατός ο συνδυασμός ορισμένων από αυτά, σύμφωνα με τις επιθυμίες του χρήστη. Στην περίπτωση μας, όλα τα παραπάνω γεωαναφέρθηκαν στο προβολικό σύστημα UTM (WGS84/34N).

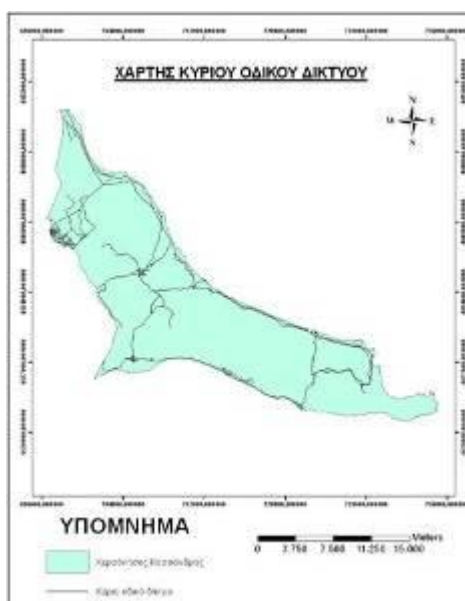
Για την επιλογή θέσης ΧΥΤΑ υπεισέρχονται πολλά κριτήρια, όπως γεωλογικά, υδρογεωλογικά, γεωτεχνικά, χωροταξικά, περιβαλλοντικά, κλιματικά, οικονομικά κ.α., που αναφέρονται σε βιβλία περιβαλλοντικής υδρογεωλογίας.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία για την επιλογή κατάλληλης θέσης για ΧΥΤΑ (buffer zones) είναι τα ακόλουθα (Καλλέργης 2000, από Βουδούρη 2005):

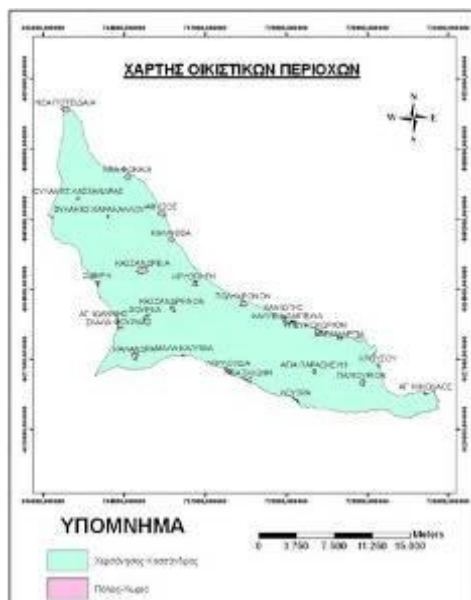
- - Η περιοχή να έχει κλίση μικρότερη από 15% (σχήμα 6).
- - Οι λιθολογικές ενότητες της περιοχής του ΧΥΤΑ να έχουν μικρή υδροπερατότητα, $k \leq 10^{-7}$ (συντελεστής περατότητας k σε cm/s). Στην παρούσα εργασία έχουμε ταξινομήσει τους σχηματισμούς (Σούλιος 1996) σε τρεις κατηγορίες: 1) $10^{-9} \leq k \leq 10^{-7}$ cm/s = μικρή υδροπερατότητα, 2) $10^{-6} \leq k \leq 10^{-4}$ cm/s = μέση υδροπερατότητα, 3) $10^{-3} \leq k \leq 100$ cm/s = μεγάλη υδροπερατότητα (σχήματα 7 και 8).



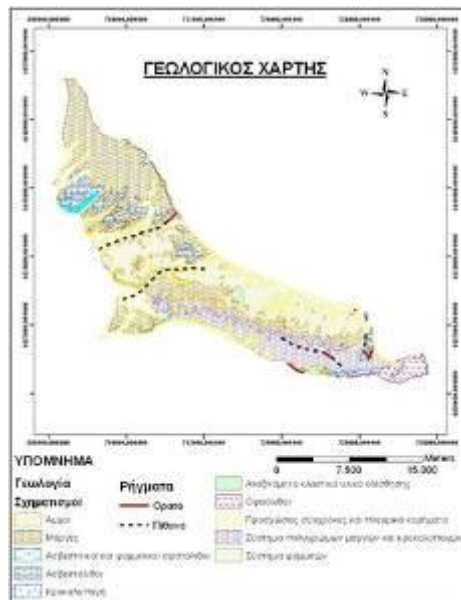
Σχήμα 2. Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης.



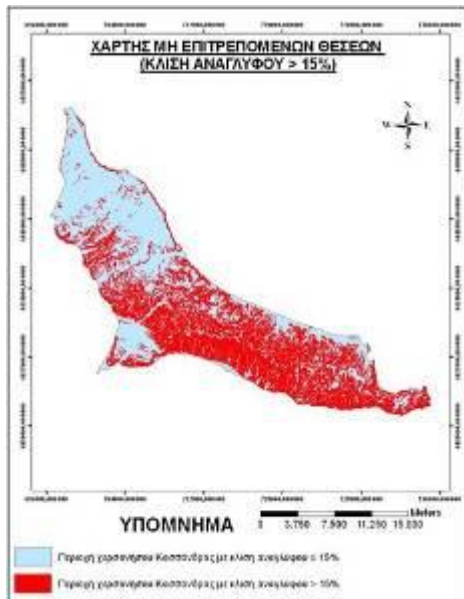
Σχήμα 3. Κύριο οδικό δίκτυο της Χερσονήσου Κασσάνδρας.



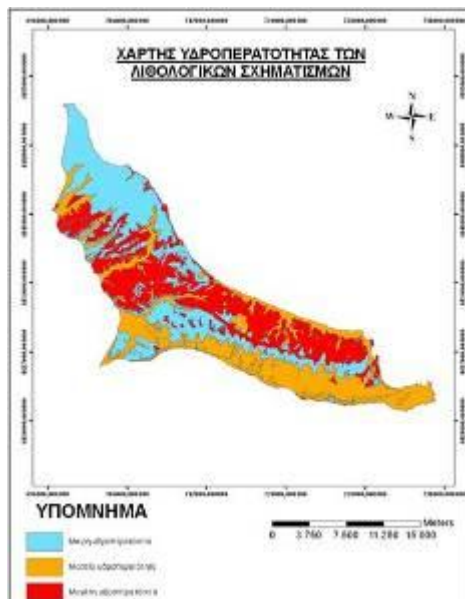
Σχήμα 4. Χωριά και κωμοπόλεις της Χερσονήσου Κασσάνδρας



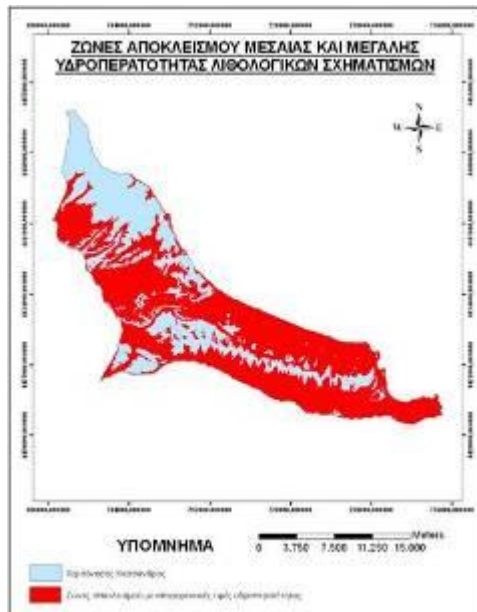
Σχήμα 5. Απολοιποιημένος γεωλογικός χάρτης της Χερσονήσου Κασσάνδρας (από ΙΓΜΕ, φύλλο «Χερσονήσος Κασσάνδρας», 1969).



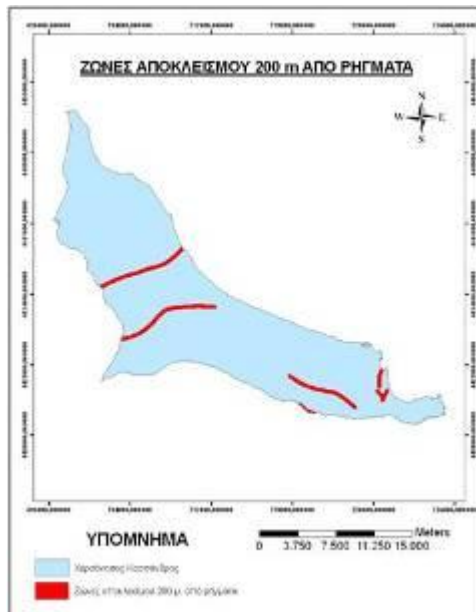
Σχήμα 6. Χάρτης μή επιτρεπόμενων περιοχών για ΧΥΤΑ, όπου η κλίση του αναγλύφου, υπερβαίνει το 15%



Σχήμα 7. Χάρτης υδροπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών, ο οποίος βασίστηκε στον γεωλογικό χάρτη του Σχήματος 5.



Σχήμα 8. Χάρτης μή επιτρεπόμενων θέσεων για δημιουργία ΧΥΤΑ, λόγω πετρωμάτων με μεσαίες και μεγάλες τιμές υδροπερατότητας.



Σχήμα 9. Χάρτης μή επιτρεπόμενων θέσεων για δημιουργία ΧΥΤΑ, λόγω εγγύτητας σε ρήγματα

Επίσης, δημιουργήθηκαν ζώνες αποκλεισμού/buffer zones (Κουτσόπουλος και Ανδρουλακάκης 2003), γύρω από τα ρήγματα, το υδρογραφικό δίκτυο, το οδικό δίκτυο και τις κατοικημένες περιοχές, ως εξής:

- Η περιοχή του ΧΥΤΑ να βρίσκεται σε απόσταση 200 m από τεκτονικές γραμμές/ρήγματα (Αλιβάνης κ.α., 1994), σχήμα 9.

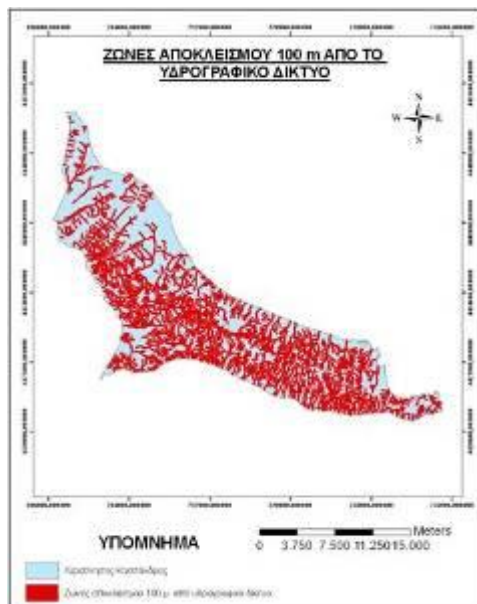
- Η περιοχή του ΧΥΤΑ να βρίσκεται σε απόσταση 100m από το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής (σχήμα 10).

- Η περιοχή του ΧΥΤΑ να βρίσκεται σε απόσταση 300m από το οδικό δίκτυο της περιοχής (σχήμα 11).

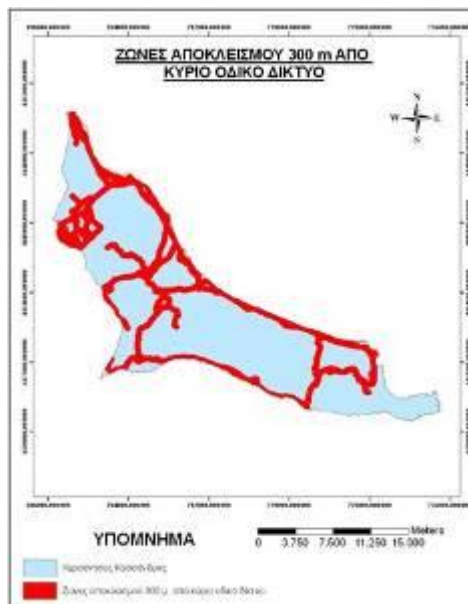
- Η περιοχή του ΧΥΤΑ να βρίσκεται σε απόσταση 2000m από τις πόλεις και τα χωριά της περιοχής (σχήμα 12).

Στη συνέχεια παρατίθενται οι χάρτες που δημιουργήθηκαν με βάση κάθε κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε.

Τέλος, κατά την διάρκεια δημιουργίας του τελικού θεματικού χάρτη, πραγματοποιήθηκε συσχετισμός ανάμεσα στα χωρικά δεδομένα (επίπεδα πληροφοριών). Ο συσχετισμός αυτός είναι σχετικά απλός και απαιτεί χειρισμούς των δεδομένων που βασίζονται στην άλγεβρα του Boole (Φραντζής 1991, Αλιβάνης κ.α. 1994, Χαλκιάς 1995 και Burrough and McDonell 2000). Με την χρήση των κατάλληλων αλγορίθμων που σχετίζονται με την παραπάνω μεθοδολογία (Boole), κατασκευάστηκε ο τελικός χάρτης, ο οποίος παρουσιάζει τους χώρους οι οποίοι πληρούν τις προαναφερθείσες προϋποθέσεις για να αποτελέσουν πιθανούς ΧΥΤΑ.

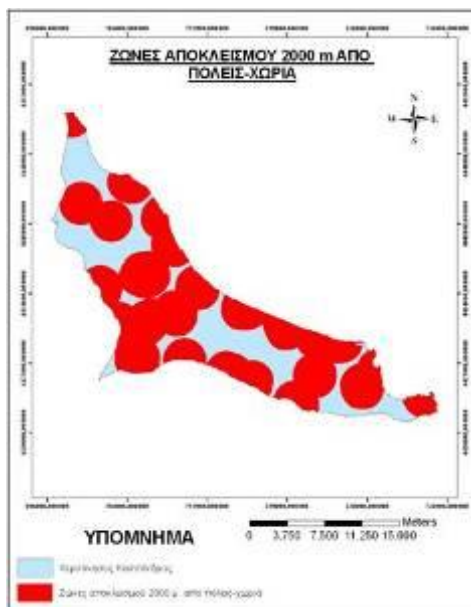


Σχήμα 10. Χάρτης μη επιτρεπομένων θέσεων για δημιουργία ΧΥΤΑ, λόγω εγγύτητας σε κλάδους (κοίτες) του

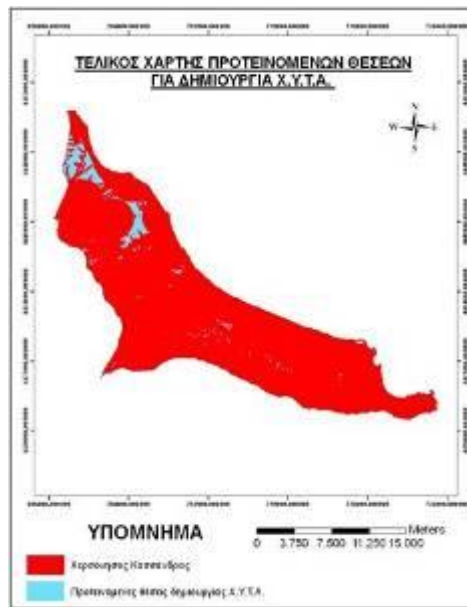


Σχήμα 11. Χάρτης μη επιτρεπομένων θέσεων για δημιουργία ΧΥΤΑ, λόγω εγγύτητας στο κύριο οδικό δίκτυο.

Στο σχήμα 13, παρουσιάζεται ο χάρτης επιτρεπομένων/προτεινομένων περιοχών για δημιουργία ΧΥΤΑ, με βάση το συνδυασμό και συναξιολόγηση όλων των παραπάνω κριτηρίων. Η έκταση των προτεινόμενων περιοχών για ΧΥΤΑ ανέρχεται σε 14,838 km² σε σύνολο 353.087 km² που καταλαμβάνει η χερσόνησος της Κασσάνδρας.



Σχήμα 12. Χάρτης μη επιτρεπομένων θέσεων για δημιουργία ΧΥΤΑ, λόγω εγγύτητας σε κατοικημένες περιοχές.



Σχήμα 13. Χάρτης επιτρεπομένων / προτεινομένων θέσεων για δημιουργία ΧΥΤΑ, στην χερσόνησο Κασσάνδρας.

Η έκταση των προτεινόμενων περιοχών ΧΥΤΑ που υπολογίζεται με τα προαναφερθέντα κριτήρια, δύναται να αυξηθεί (με επιφυλάξεις), αν οι ζώνες αποκλεισμού των 100 μ. από το υδρογραφικό δίκτυο, υπολογισθούν για ρέματα 2ης τάξης και άνω (κατά Strahler, 1957). Τα ρέματα 1ης τάξης, τα οποία στην ύπαιθρο είναι «μή διακλαδιζόμενες ταπεινώσεις (εκβαθνώσεις) του αναγλύφου που δείχνουν μαρτυρία προϋπάρχουσας ροής ύδατος» (Αστάρης 1980), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξηθεί ο χώρος των ΧΥΤΑ, υπό την εξής προϋπόθεση: να μεταφερθούν στα ρέματα 1ης τάξης, υλικά επικάλυψης από φυσικά πρανή της περιοχής και να τοποθετηθούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί αφ' ενός η ελάττωση των κλίσεων και αφ'ετέρου η αύξηση της επιφανειακής αποστράγγισης και η παροχέτευση των επιφανειακών απορροών (Βουδούρης 2005).

4. Συζήτηση-Συμπεράσματα

Οι καταλληλότερες θέσεις για εγκατάσταση ΧΥΤΑ εντοπίζονται στην πλειοψηφία τους στο ΒΔ τμήμα της χερσονήσου της Κασσάνδρας και ανέρχονται σε έκταση 14,838 km².

Η εγκατάσταση ενός χώρου ΧΥΤΑ σε μία από τις προτεινόμενες θέσεις πρέπει να θωρακιστεί με τα ασφαλέστερα μέτρα προστασίας έτσι ώστε να ελαττωθεί, αν όχι να εξαλειφθεί η πιθανότητα ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και γενικότερα της γύρω περιοχής.

Επίσης ένα από πιο θετικά αποτελέσματα που μπορεί να προκύψει από τη λειτουργία ενός ΧΥΤΑ είναι η μείωση έως και η εξάλειψη των ανεξέλεγκτων χωματερών που υπάρχουν σε

περιοχές της χερσονήσου. Η δημιουργία οργανωμένων ΧΥΤΑ θα έχει επίσης επιπτώσεις στην ανάπτυξη των υποδομών και τη βελτίωση του περιβάλλοντος.

Από την μελέτη εργασιών που αναφέρονται στην χρήση ΓΣΠ στην Ελλάδα και το εξωτερικό, προκύπτει ότι η χρησιμοποίηση ενός ΓΣΠ μπορεί να έχει σημαντικές θετικές επιδράσεις στη λειτουργία ενός δημόσιου οργανισμού, όπως οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ), Νομαρχίες, Περιφέρειες κ.α., επειδή βελτιώνει την ικανότητα επεξεργασίας δεδομένων και εξαγωγής αποτελεσμάτων, υπό την προϋπόθεση ότι ο χρήστης θα κάνει σαφή προσδιορισμό των κριτηρίων. Επιτρέπει τον γρήγορο έλεγχο των εναλλακτικών ιδεών και προτάσεων, με βάση κάποιο δείγμα από τα πραγματικά δεδομένα. Έτσι διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων σχετικά με την αποτελεσματικότητα των ελεγχόμενων ιδεών και προτάσεων (Χατζόπουλος κ.α. 1990, Burrough 1991, Καρτέρης 1991, Αλιβάνης κ.α. 1994, Burrough and McDonnell 2000).

Σαν γενικό συμπέρασμα μπορεί να λεχθεί ότι η χρήση των Γ.Σ.Π. σε μελέτες και έρευνες που άπτονται περιβαλλοντικών θεμάτων, πρέπει να προωθηθεί. Οι προτεινόμενες περιοχές ΧΥΤΑ στην χερσόνησο της Κασσάνδρας, σε μελλοντική εργασία θα συσχετισθούν και με υπάρχοντες χώρους αναψυχής/κολύμβησης. Παράλληλα, δεν πρέπει να υποβαθμίζεται ο ρόλος της έρευνας πεδίου (εκτός στόχων της παρούσης εργασίας), ο οποίος παίζει κύριο ρόλο στην τελική επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Όλα τα παραπάνω, εφόσον γίνουν με επιστημονικό και ορθολογικό τρόπο, θα μετριάσουν πιθανώς τις αντιδράσεις των τοπικών κοινωνιών στην εγκατάσταση ΧΥΤΑ.

Βιβλιογραφία

Αλιβάνης Κ., Αστάρης Θ. και Σουλακέλλης Ν., 1994: Η χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) στην εξεύρεση –επιλογή νέων χώρων υγειονομικής ταφής (Χ.Υ.Τ.) μεϊζονος Θεσσαλονίκης. Πρακτικά του 3ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας. Τόμος Β, σελ. 470-483.

Αστάρης Θ., 1980: Ποσοτική-γεωμορφολογική μελέτη τμημάτων των Δ. πλευρών του όρους Βερτίσκον (κ. Μακεδονία). Διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 212 σελ.

Αστάρης Θ. και Οικονομίδης Δ., 2004: Εργαστηριακές σημειώσεις στο μάθημα : Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.) Τεύχος 1 ArcGIS. Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη, 38 σελ.

Βουδούρης Κ., 2005: Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος, Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 175 σελ.

Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού/ΓΥΣ: Τοπογραφικοί χάρτες Φύλλα: «Καλάνδρα»/1969, «Κασσανδρεία»/1983, «Παλιούριον»/1983 και «Νικήτας»/1969). Κλίμακα 1:50.000

Ινστιτούτον Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους (ΙΓΜΕ), 1969: Γεωλογικός Χάρτης Φύλλον «Χερσόνησος Κασσάνδρας», κλίμακα 1/50.000.

Καλλέργης Γ., 2000: Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Τόμος Β΄ ΤΕΕ, Αθήνα.

Καρτέρης Μ., 1991: Τηλεπισκόπηση Φυσικών Πόρων και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 247 σελ.

Κουτσόπουλος Κ. Και Ανδρουλακάκης, Ν., 2003: Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με χρήση του λογισμικού ArcGIS. Παπασωτηρίου, Αθήνα, 397 σελ.

Μπαλαφούτης Χ., 1977: Συμβολή εις την μελέτην του κλίματος της Μακεδονίας και Δυτικής Θράκης. Διατριβή επί διδακτορία, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 121 σελ.

Σούλιος Γ., 1996: Γενική Υδρογεωλογία, πρώτος τόμος. UNIVERSITY STUDIO PRESS,

Θεσσαλονίκη, σελ. 215-217.

Φραντζής Γ., 1991: Επιλογή χώρων διάθεσης απορριμάτων. Πρακτικά ΙΙ Συνεδρίου, Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Μυτιλήνη, σελ. 384-390.

Χαλκιάς Χ., 1998: Βασικές αρχές ανάλυσης στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Αθήνα, σελ.673-687.

Χατζόπουλος Ι., Γαζής Δ. και Ελευθεριάδης Μ., 1990: Τηλεπισκόπηση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφόρησης στην Επιλογή της Καταλληλότερης Περιοχής Εναπόθεσης Τοξικών Αποβλήτων. Πρακτικά Συνεδρίου «Χημικά-Τοξικά στο περιβάλλον», Μόλυβος Μυτιλήνης, Σεπτ. 1990, σελ. 339-355.

Burrough P.A., 1991: Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Monographs on soil and resources survey, No 12, Clarendon Press, Oxford, 194 p.

Burrough P.A. and McDonell R.A., 2000: Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, 333 p.

Dikau R., 1989: The application of a digital relief model to landform analysis. In: Raper, J. F. (ed.) 1989: Three dimensional applications in Geographical Information Systems. Taylor and Francis, London, pp 51-77.

Koeppen W., 1936: Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie. Berlin.

Strahler A., 1957: Quantitative analysis of watershed geomorphology. Amer. Geophys. Union Trans., 38(6), 913-20.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ ΤΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΑΝΟΔΟ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ Γ.Σ.Π.

Σενή Α.¹, Γάκη-Παπαναστασίου Κ.², Καρύμπαλης Ε.¹, Ζούβα Χ.²

¹ *Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας*

² *Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας*

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η πιλοτική εφαρμογή της βαθμονόμησης της παράκτιας ζώνης του Αργολικού πεδίου και τμήματος των ανατολικών ακτών του Αργολικού κόλπου ως προς την τρωτότητα σε μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Η μεθοδολογία βασίστηκε στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index) τροποποιημένου ώστε να λαμβάνει υπόψη και τον παράγοντα της γεωλογίας.

ANTICIPATED SEA-LEVEL RISE VULNERABILITY ASSESSMENT ALONG PART OF THE EASTERN ARGOLIC GULF AND THE ARGIVE PLAIN WITH THE USE OF G.I.S.

Seni A.¹, Gaki-Papanastasiou K.², Karymbalis E.¹, Zouva C.²

¹ *Harokopio University, Department of Geography*

² *National and Kapodistrian University of Athens, Department of Geology and Geoenvironment, Division of Geography and Climatology*

Abstract

In this study, an application of the coastal zone classification according to the vulnerability of an anticipated future sea-level rise is attempted. The study area is the Argive plain and part of the coastal zone along the eastern Argolic gulf. The applied methodology is based on the estimation of the Coastal Vulnerability Index utilizing Geographic Information Systems technology. The Coastal Vulnerability Index equation is modified in order to take into account the important factor of geology.

Λέξεις κλειδιά: Αργολικός κόλπος, άνοδος θαλάσσιας στάθμης, Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας.

Key words: Argolic gulf, sea-level rise, Coastal Vulnerability Index

1. Εισαγωγή

1.1 Η Μελλοντική άνοδος της στάθμης της θάλασσας

Ένα από τα σύγχρονα παγκόσμια κλίμακας μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα, που αποτελεί μια αρνητική συνέπεια των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι συνεχώς αυξανόμενες εκπομπές CO₂ προκαλούν την αλλαγή των κλιματολογικών συνθηκών του πλανήτη, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του αέρα σε παγκόσμια κλίμακα με αποτέλεσμα τη γρήγορη άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Τα παγκόσμια κλιματικά δεδομένα, η χρήση μαθηματικών μοντέλων καθώς και οι πρόσφατες μελέτες και αναφορές παγκόσμιων οργανισμών και φορέων που ασχολούνται συστηματικά με τις κλιματικές αλλαγές στον πλανήτη εκτιμούν ότι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του αέρα σε παγκόσμια κλίμακα μέχρι το έτος 2050, θα φθάσει τον 1°C ενώ μέχρι το έτος 2100 αναμένεται να αγγίξει τους 2°C σε σχέση με τη σημερινή. Κάτι τέτοιο θα προκαλέσει την τήξη των πάγων στους πόλους και τις ενδοηπειρωτικές περιοχές και την ταυτόχρονη διαστολή των ωκεάνιων και θαλάσσιων μαζών, που θα οδηγήσει στην άνοδο της θαλάσσια στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο. Χρησιμοποιώντας στοιχεία του παρελθόντος, σύγχρονες μετρήσεις καθώς και δορυφορικές παρατηρήσεις, επιστήμονες διάφορων ειδικοτήτων, διατύπωσαν διάφορα σενάρια μελλοντικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης σύμφωνα με τα οποία εκτιμάται ότι θα είναι κατά 15cm υψηλότερη μέχρι το έτος 2050 ενώ θα έχει αυξηθεί κατά 50cm έως το 2100, υπολογίζοντας έτσι ότι ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης έως το 2100 θα φτάσει τα 4,5mm/έτος (IPCC, 2001).

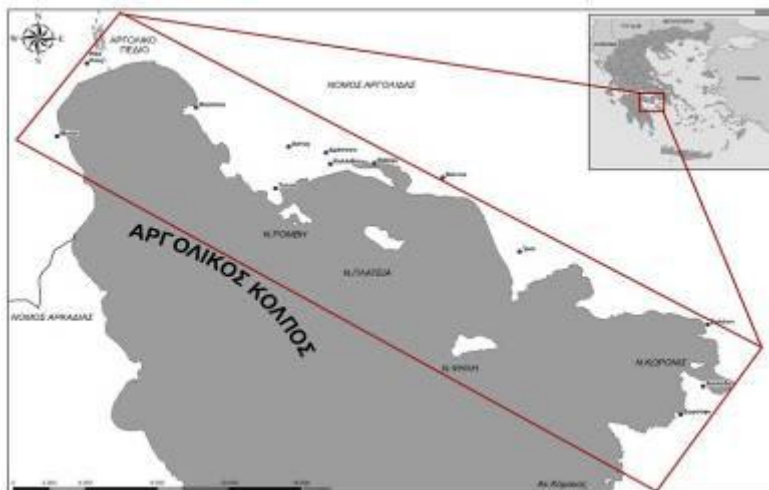
Κατά καιρούς έχουν εφαρμοσθεί διάφορες μεθοδολογίες για την εκτίμηση κυρίως των επιπτώσεων στις παράκτιες περιοχές από τη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης τόσο σε τοπική κλίμακα όσο και σε επίπεδο κρατών (Titus et al., 1991; Gaki-Papanastasiou et al., 1997; El-Raey, 1997; Li et al., 2000; Karaca, 2000; Titus and Richman, 2001; Γάκη Παπαναστασίου κ.α., 2005; Karymbalis and Chalkias, 2005; Karymbalis and Seni, 2005). Οι περισσότερες πρακτικές που εφαρμόζονται στοχεύουν στην αναγνώριση και εκτίμηση των οικολογικών – γεωμορφολογικών και κοινωνικοοικονομικών συνεπειών από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών και οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες επιδρούν στην επικινδυνότητα, την ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των αρνητικών αποτελεσμάτων και τελικά τη σύνταξη προτάσεων και τη λήψη μέτρων προστασίας ώστε να περιοριστούν οι αρνητικές επιπτώσεις.

Στην Ελλάδα οι επιπτώσεις από μια πιθανή άνοδο της θαλάσσιας στάθμης δεν έχουν διερευνηθεί ικανοποιητικά και οργανωμένα σε εθνικό επίπεδο. Οι επιπτώσεις στις χαμηλές ακτές της ηπειρωτικής χώρας έχουν εξετασθεί από τους Gaki-Papanastasiou et al. (1997) και έχουν εξαχθεί κάποιες πρώτες εκτιμήσεις και αποτελέσματα. Επιπλέον έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες που αφορούν τις επιπτώσεις της ανόδου στον παράκτιο χώρο της νησιωτικής Ελλάδας (Georgas, 2000; Παυλόπουλος κ.α., 2002).

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η εκτίμηση της τρωτότητας από μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στην ευαίσθητη περιοχή του Αργολικού πεδίου και στις ανατολικές ακτές του Αργολικού κόλπου με την εφαρμογή του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας, ελαφρώς τροποποιημένου ώστε να συυπολογίζεται και η παράμετρος της γεωλογίας, αξιοποιώντας την τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

1.2 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νομό Αργολίδας εκτείνεται από τους Μύλους στα δυτικά του Αργολικού πεδίου έως το ακρωτήριο Κόρακας στις ανατολικές ακτές του Αργολικού κόλπου και έχει συνολικό μήκος ακτογραμμής 138.6 km. Λόγω των ευνοϊκών περιβαλλοντικών συνθηκών απετέλεσε πόλο έλξης για τον άνθρωπο με συνεχή κατοίκηση από την Παλαιολιθική εποχή έως σήμερα με ιδιαίτερη ακμή κατά την Μυκηναϊκή, Κλασική και Ρωμαϊκή περίοδο, όπως μαρτυρούν οι αρχαιολογικοί χώροι και τα ευρήματα. Σήμερα παρουσιάζει ιδιαίτερο κοινωνικοοικονομικό ενδιαφέρον δεδομένου ότι περιλαμβάνει αρκετούς παράκτιους οικισμούς (κατά μήκος της παράκτιας ζώνης από τα δυτικά προς τα ανατολικά – νοτιοανατολικά συναντώνται οι Μύλοι, η Νέα Κίος, η ιστορική πόλη του Ναυπλίου, το Τολό, η Ασίνη, το Δρέπανο, η Καλλιθέα, το Βιβάρι, η Κάντια, τα Ίρια, το Σαλάντι, η Κοιλιάδα και το Δορούφι)(Σχήμα 1). Φιλοξενεί σημαντικές δραστηριότητες του πρωτογενούς κυρίως τομέα της παραγωγής (σημαντικές εκτάσεις καλλιέργειών στο Αργολικό πεδίο) ενώ ιδιαίτερα έντονη υπήρξε η τουριστική ανάπτυξη στην στενή ζώνη κατά μήκος της ακτογραμμής κατά τις τελευταίες δεκαετίες.



Σχήμα 1. Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης.

Η επιλογή του τμήματος αυτού της παράκτιας ζώνης του Αργολικού κόλπου έγινε κυρίως διότι εμφανίζει μια ποικιλία στα γεωμορφολογικά και λιθολογικά χαρακτηριστικά κατά μήκος της ακτογραμμής, καθιστώντας την ιδανική για την πιλοτική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας βαθμονόμησης ως προς την τρωτότητα στη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Πέραν αυτού το Αργολικό πεδίο είναι μια από τις περιοχές που πρώτη παρουσίασε έντονα φαινόμενα υφαλμύρισης των υπόγειων υδάτων (Γιαννουλόπουλος, 2002) φαινόμενο που αν και έχει μερικώς αντιμετωπιστεί, αναμένεται να ενταθεί από μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.

2. Μεθοδολογία – Υπολογισμός Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index)

Ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index) αποτελεί μια μαθηματική έκφραση που έχει προταθεί από την διακυβερνητική επιτροπή για τις κλιματικές αλλαγές (IPCC) και περιλαμβάνει παραμέτρους σχετικές με την τοπογραφία (μορφολογική κλίση), τη γεωμορφολογία, τον κυματισμό, την παλίρροια και τις πρόσφατες μεταβολές της ακτογραμμής (προέλαση – υποχώρηση) (Pendleton et al., 2005). Για την εκτίμηση της τρωτότητας από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή μελέτης εφαρμόστηκε ο μαθηματικός τύπος του δείκτη με την εισαγωγή μιας επιπλέον παραμέτρου, αυτής της γεωλογίας, η οποία δε λαμβάνεται υπόψη στη αρχική του μορφή, αξιοποιώντας την τεχνολογία των Γ.Σ.Π. Μετά τη συμπλήρωση αυτή η τύπος του δείκτη παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$C.V.I. = \sqrt{[(a*b*c*d*e*f*g)/7]} \quad (1)$$

Όπου: a: παράγοντας που αφορά τη γεωμορφολογία, b: παράγοντας που αφορά την παράκτια κλίση, c: παράγοντας που αφορά τα σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, d: παράγοντας που αφορά τη διάβρωση-υποχώρηση της ακτογραμμής, e: παράγοντας που αφορά το μέσο σημαντικό ύψος κυμάτων, f: παράγοντας που αφορά το μέσο εύρος παλίρροιας και τέλος g: παράγοντας που αφορά τη γεωλογία.

Όλες οι παραπάνω μεταβλητές λαμβάνουν ακέραιες τιμές που κυμαίνονται από 1 έως 5 με τις μεγαλύτερες τιμές να χαρακτηρίζουν τις περισσότερες τρωτές ως προς τη συγκεκριμένη παράμετρο περιοχές. Ο Πίνακας 1 περιλαμβάνει τη βαθμονόμηση της ακτής σε πέντε

κατηγορίες καθώς και τα κριτήρια με τα οποία γίνεται αυτή για κάθε παράμετρο του δείκτη παράκτιας τρωτότητας. Ακολουθεί η ανάλυση της κάθε παραμέτρου καθώς και ο τρόπος υπολογισμού τους. Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας καθώς και την χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS 9x.

2.1. Γεωμορφολογία:

Για τη βαθμονόμηση της ακτογραμμής με βάση την παράκτια γεωμορφολογία πραγματοποιήθηκε λεπτομερής υπαίθρια χαρτογράφηση χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5000. Οι παράκτιες γεωμορφές που αναγνωρίστηκαν και αποτυπώθηκαν ομαδοποιήθηκαν σε πέντε κατηγορίες που περιλαμβάνουν κρημνούς, κρημνούς με ίζημα, αιγιαλούς με αδρομερές υλικό, αιγιαλούς με ανάμεικτο υλικό και αμμώδεις αιγιαλούς. Μεταξύ των παραπάνω γεωμορφών ως λιγότερο τρωτό θεωρήθηκε το τμήμα εκείνο της ακτογραμμής που καταλαμβάνεται από κρημνούς (τιμή βαθμονόμησης 1) ενώ ως μεγαλύτερης τρωτότητας οι περιοχές των αμμωδών αιγιαλών (τιμή βαθμονόμησης 5). Τμήματα όπου κατά μήκος της παράκτιας ζώνης εντοπίστηκαν θίνες, οι οποίες προστατεύουν ως φυσικά φράγματα τις πίσω από αυτές περιοχές, βαθμονομήθηκαν με την τιμή 5.

2.2 Παράκτια κλίση:

Η παράμετρος αυτή αφορά τη μορφολογική κλίση της παράκτιας ζώνης και υπολογίστηκε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) το οποίο δημιουργήθηκε για την περιοχή από τοπογραφικά διαγράμματα της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού κλίμακας 1:5000. Για την κατασκευή του DEM χρησιμοποιήθηκαν τα θεματικά επίπεδα των ισοϋψών καμπυλών (contour-lines), των υψομετρικών σημείων (points), του υδρογραφικού δικτύου (drainage network) και της ακτογραμμής (coastline) με μέγεθος ψηφίδας 15 m και περιορίστηκε μόνο στο τμήμα της παράκτιας ζώνης από την ακτογραμμή έως την ισοϋψή καμπύλη των 4 m, έως εκεί δηλαδή που εκτείνεται το ανώτερο σενάριο ανόδου. Δημιουργήθηκε το μοντέλο κλίσεων αναγλύφου και βάσει του ιστογράμματος των τιμών των κλίσεων που προέκυψε, οι παράκτιες κλίσεις διακρίθηκαν σε πέντε κλάσεις. Ακολούθησε η επαναταξινόμηση (reclassify) του αρχείου των κλίσεων σε πέντε κατηγορίες, τα εύρη τιμών των οποίων δίνονται στον Πίνακα 1. Οι περιοχές με μικρές μορφολογικές κλίσεις προφανώς θεωρήθηκε ότι έχουν μεγάλη πιθανότητα κατάκλισης και συνεπώς χαρακτηρίστηκαν ως μεγάλης τρωτότητας ενώ οι περιοχές με όλο και μεγαλύτερες κλίσεις βαθμονομήθηκαν με σταδιακά μικρότερες τιμές.

2.3 Άνοδος θαλάσσιας στάθμης:

Για τη μεταβλητή αυτή ελήφθησαν υπόψη πέντε σενάρια μελλοντικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης (0-0.5 m, 0.5-1 m, 1-2 m, 2-3 m και 3-4 m). Αρχικά δημιουργήθηκαν θεματικά επίπεδα διανυσματικής μορφής (vector) των αντίστοιχων χαμηλών υψομετρικών ζωνών. Οι υψομετρικές αυτές ζώνες, που αποτελούν και τις ζώνες κατάκλισης από την ενδεχόμενη αντίστοιχη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, βαθμονομήθηκαν από 1 έως 5 θεωρώντας ότι η χαμηλότερη έχει και τη μεγαλύτερη πιθανότητα άμεσης κατάκλισης και άρα χαρακτηρίζεται ως μεγαλύτερης τρωτότητας.

2.4 Διάβρωση-υποχώρηση της ακτογραμμής:

Σε τμήματα της παράκτιας ζώνης όπου παρατηρήθηκε υποχώρηση της ακτογραμμής δόθηκε η τιμή 5 ενώ σε εκείνα που η ακτογραμμή παραμένει σταθερή δόθηκε η τιμή 1. Ενδιάμεσες κατηγορίες ως προς τη μεταβλητή αυτή δεν υπήρξαν ενώ είναι χαρακτηριστική η απουσία περιοχών προέλασης της χέρσου.

2.5 Μέσο σημαντικό ύψος κύματος:

Από την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων των μετεωρολογικών σταθμών του Ναυπλίου (1975-1988), του Άστρους, του Άργους (1974-1997), των Σπετσών (1974-1996)

και της Πυργέλας (1980-1997) προκύπτει ότι οι συχνότεροι και ισχυρότεροι άνεμοι που επικρατούν στον κόλπο είναι οι νοτιοανατολικοί. Μελέτες μέτρησης του μέσου σημαντικού ύψους κύματος για τις ελληνικές θάλασσες τοποθετούν την περιοχή μελέτης μεταξύ των μέσων ετήσιων τιμών από 0.1 m έως 0.25 m (Soukissian, 2005).

Λαμβάνοντας υπόψη τόσο το ανεμολογικό καθεστώς και το μήκος αναπτύγματος του κυματισμού όσο και το φαινόμενο της περίθλασης των κυμάτων που προκαλείται από τα νησιά Ρόμβη, Ψηλή, Πλατεία και Κωρονίς, τα τμήματα της ακτογραμμής που βρίσκονται στην κυματική σκιά των εν λόγω νησιών και προστατεύονται από αυτά θεωρήθηκε ότι δέχονται μικρότερα μέσα ύψη κύματος και τους δόθηκε η τιμή 1. Τα προστατευμένα αυτά τμήματα της ακτογραμμής εντοπίζονται στην περιοχή του Τολού, στην Καλλιθέα και στο Βιβάρι καθώς και στην περιοχή του όρμου της Κοιλιάδας.

2.6 Μέσο παλίρροιακό εύρος:

Το μέσο εύρος παλίρροιας θεωρήθηκε ότι δεν παρουσιάζει διαφοροποιήσεις σε όλο το μήκος της περιοχή μελέτης και ότι δεν ξεπερνά τα 0.15 m σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού (Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, 1991).

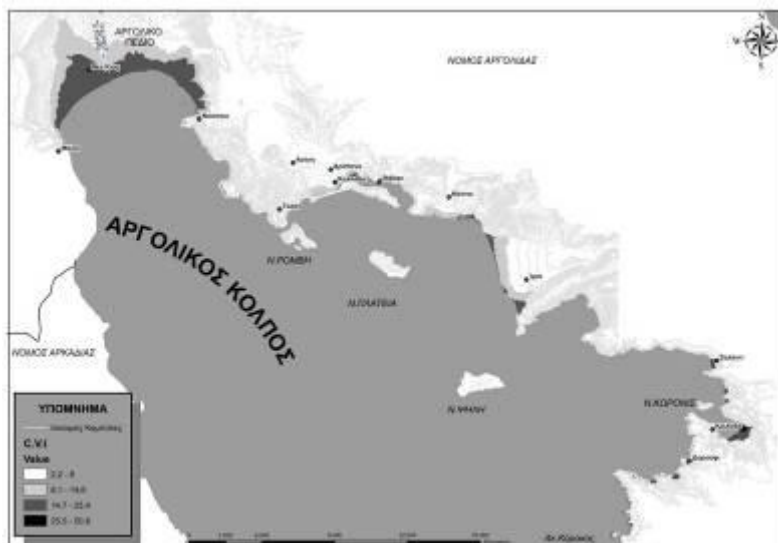
2.7 Γεωλογία:

Δεδομένου ότι οι ρυθμοί διάβρωσης και υποχώρησης των ακτών εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από τη λιθολογία και την τεκτονική καταπόνηση των γεωλογικών σχηματισμών που καταλήγουν στη θάλασσα και τον τρόπο που αλληλεπιδρούν με τις θαλάσσιες διεργασίες όπως τον κυματισμό, τα παράκτια ρεύματα και τις παλίρροιες, στις μεταβλητές του δείκτη παράκτιας τρωτότητας προστέθηκε αυτή της γεωλογίας. Για τον εντοπισμό των γεωλογικών σχηματισμών κατά μήκος της ακτογραμμής αρχικά χρησιμοποιήθηκαν ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ κλίμακα 1:500000 (1983) και ο γεωλογικός χάρτης της Πελοποννήσου του Dufaure (1978). Οι γεωλογικοί σχηματισμοί κατά μήκος της ακτογραμμής αναγνωρίστηκαν, πιστοποιήθηκαν και οριοθετήθηκαν κατά την υπαίθρια χαρτογράφηση. Η περιοχή μελέτης κατηγοριοποιήθηκε σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που απαντήθηκαν, σε πέντε κατηγορίες που περιλαμβάνουν κατά αύξουσα σειρά τρωτότητας τους ασβεστόλιθους, τα κροκαλοπαγή, τον φλύσχη και τα ηφαιστειακά πετρώματα και τις χαλαρές ποταμοχειμάρριες αλλουβιακές αποθέσεις και έλη με τιμές από 1 έως 4 αντίστοιχα. Κριτήριο για την κλιμάκωση αυτή στη βαθμονόμηση απετέλεσαν οι ρυθμοί υποχώρησης των παράκτιων κρημών ανάλογα με τον τύπο των πετρωμάτων στους οποίους αναπτύσσονται (Emery and Kuhn, 1980).

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικός πίνακας κατηγοριοποίησης και βαθμονόμησης των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI) για την περιοχή μελέτης.

Ταξινόμηση	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ Υψηλή
Τιμή	1	2	3	4	5
Παράκτια Κλίση	5>	3-5	2-3	1-2	0-1
Σενάρια ανόδου θαλάσσιας στάθμης	0-4.0	0-3.0	0-2.0	0-1.0	0-0.5
Γεωμορφολογία	Κρημνός	Κρημνός με ίζημα	Αιγιαλός με χονδρόκοκκο υλικό	Αιγιαλός με χαλικώδες υλικό	Αιγιαλός με αμμώδες υλικό, αμμώδεις θίνες

Ταξινόμηση	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ Υψηλή
Γεωλογία	Ασβεστόλιθοι Θίνες	Κροκαλοπαγή	Φλύσχη, Ηφαιστειακά	Ποταμοχειμάρριες χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις Έλη	
Υποχώρηση / προέλαση ακτογραμμής	Χωρίς ενδείξεις διάβρωσης				Ακτογραμμή υπο διάβρωση
Μέσο μέγιστο ύψος κύματος (m)	0.1-0.15	0.15-0.2	0.2-0.25		
Μέσο εύρος παλίρροιας		0.15			



Σχήμα 2. Χάρτης τρωτότητας ως προς την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης του Αργολικού πεδίου και των ακτών του ανατολικού Αργολικού κόλπου. Τα όρια των κατηγοριών του υπομνήματος αντιστοιχούν σε τιμές του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (C.V.I). Οι περιοχές με τιμές του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας από 2.2 έως 8 χαρακτηρίζονται χαμηλής τρωτότητας και από 8.1-14.6, 14.7-25.4, 25.5-50.8 χαρακτηρίζονται από μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή τρωτότητα αντίστοιχα.

Τα θεματικά επίπεδα των μεταβλητών που αφορούν τα σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, τη γεωλογία και την παράκτια μορφολογική κλίση είναι πολυγωνικά ενώ τα θεματικά επίπεδα της γεωμορφολογίας, της διάβρωσης-υποχώρησης της ακτογραμμής, του μέσου σημαντικού ύψους κύματος και του μέσου εύρους παλίρροιας είναι γραμμικά διανυσματικής μορφής (vector) (Χαλκιάς, 2006). Τα γραμμικά θεματικά επίπεδα αφορούν παραμέτρους που η δράση τους περιορίζεται στην στενή περιοχή κατά μήκος της ακτογραμμής. Για τον υπολογισμό του δείκτη και την χαρτογραφική απεικόνιση της

κατανομή των τιμών του στην περιοχή μελέτης απαιτήθηκε η μετατροπή όλων των μεταβλητών σε πλεγματικού τύπου με ίδιο μέγεθος ψηφίδας (pixel size) ίσο με 15X15 m.

3. Αποτελέσματα

Ο υπολογισμός του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI) οδήγησε στην βαθμονόμησης της παράκτιας ζώνης του Αργολικού πεδίου και των ανατολικών ακτών του Αργολικού κόλπου και τον χαρακτηρισμό των επιμέρους περιοχών ως χαμηλής, μέτριας, υψηλής και πολύ υψηλής τρωτότητας σε μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Είναι προφανές ότι από την εφαρμογή του τύπου οι περιοχές που θα αντιμετωπίσουν πρόβλημα από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης είναι εκείνες που χαρακτηρίζονται από χαμηλά υψόμετρα, ήπιες μορφολογικές κλίσεις, σαθρούς γεωλογικούς σχηματισμούς, ευάλωτες γεωμορφές και τμηματική υποχώρηση της ακτογραμμής.

Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 2.2 έως 50.8. Οι τιμές αυτές κατηγοριοποιήθηκαν με τη μέθοδο των φυσικών διαστημάτων και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με διαβαθμίσεις του γκρι στον τελικό χάρτη τρωτότητας του Σχήματος 2. Οι περιοχές χαμηλής τρωτότητας εμφανίζουν τιμές του δείκτη από 2.2 έως 8 ενώ εκείνες με τιμές από 8.1 έως 14.6 χαρακτηρίστηκαν ως μέτριας τρωτότητας. Το μεγαλύτερο μήκος της ακτογραμμής ανήκει στις δύο αυτές κατηγορίες. Υψηλής τρωτότητας θεωρήθηκαν οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από τιμές του δείκτη μεταξύ 14 και 25 και εντοπίζονται στη Νέα Κίο σε τμήμα της πόλης του Ναυπλίου στο Αργολικό πεδίο στην παράκτια ζώνη του Τολού, της Καλλιθέας, του Δρεπάνου και στο Βιβάρι. Τις μεγαλύτερες τιμές του δείκτη (25.5-50.8) εμφανίζουν το σύνολο της παραλίας στα Ίρια, το Σαλάντι, την Κοιλάδα, και το Δορούφι, περιοχές που χαρακτηρίζονται ως πολύ υψηλής τρωτότητας.

Για την ποιοτική παρατήρηση των εκτάσεων που αναμένεται να χαθούν στην περιοχή μελέτης από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης εκτιμήθηκαν οι χρήσεις γης που εντοπίζονται από την ακτογραμμή έως τα 4 m. Αυτές ελήφθησαν από τους χάρτες του προγράμματος corine κλίμακας 1:100000 του ΟΚΧΕ για την Αργολίδα και ομαδοποιήθηκαν σε δεκατέσσερις βασικές κατηγορίες που περιλαμβάνουν συνεχή και διακεκομμένη αστική δόμηση, βιομηχανική ζώνη, σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, οπωροφόρα δένδρα, αμπελώνες, μη αρδευσιμη αρώσιμη γη, ελαιώνες, γεωργική γη, μεταβατικές εκτάσεις, παράκτιες λιμνοθάλασσες, σκληροφυλλική βλάστηση, φυσικούς βοσκοτόπους και δάση κωνοφόρων δένδρων. Στον Πίνακα 2 φαίνεται η έκταση (σε km²) που καταλαμβάνει κάθε χρήση γης στις διάφορες υψομετρικές ζώνες καθώς και το ποσοστό (%) της έκτασης αυτής στο σύνολό τους για το σύνολο της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 2. Χρήσεις γης και έκταση αυτών ανά χαμηλή υψομετρική ζώνη για την περιοχή μελέτης.

Βιομηχανική ζώνη	Υψομετρική ζώνη (m)									
	0-0.5 m		0.5-1 m		1-2m		2-3m		3-4m	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Συνεχής αστική δόμηση					0.32	4.79	0.04	0.4	0.12	1.7
Διακεκομμένη αστική δόμηση	0.15	6.47	0.25	4.88	0.51	7.62	0.152	1.64	0.106	1.5
Βιομηχανική ζώνη			0.08	1.56	0.02	0.29				
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	1.13	48.71	3.57	69.78	3.583	53.56	6.79	73.1	3.90	54.5

Βιομηχανική ζώνη	Υψομετρική ζώνη (m)									
	0-0.5 m		0.5-1 m		1-2m		2-3m		3-4m	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Οπωροφόρα	0.743	32	0.68	13.29	0.11	1.64	0.6	6.45	2.39	33.4
Αμπελώνες			0.05	0.97	0.54	8.07				
Μη αρδεύσιμη αρώσιμη γη	0.13	5.6	0.02	0.39	1.43	21.39	1.43	15.3	0.03	0.5
Ελαιώνας	0.05	2.16	0.002	0.03	0.03	0.46	0.045	0.48	0.065	0.9
Γεωργική γη			0.02	0.30	0.06	0.89	0.156	1.66	0.1	1.4
Μεταβατικές εκτάσεις	0.001	0.05	0.002	0.03	0.012	0.17	0.015	0.16	0.032	0.5
Παράκτιες λιμνοθάλασσες	0.04	1.72	0.21	4.1					0.009	0.13
Σκληροφυλλική βλάστηση	0.07	3.02	0.268	5.24	0.06	0.89	0.075	0.81	0.275	3.84
Φυσικοί βοσκότοποι	0.005	0.22	0.009	0.17	0.009				0.002	0.03
Δάσος κωνοφόρων	0.001	0.05	0.002	0.03	0.006	0.09			0.11	1.6
Σύνολο	2.32	100	5.116	100	6.69	100	9.29	100	7.157	100

4. Συζήτηση - Προτάσεις

Στα πλαίσια της εργασια αυτής έγινε μια πρώτη προσπάθεια εντοπισμού και οριοθέτησης περιοχών που εμφανίζουν μεγάλη τρωτότητα στην αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας στις ακτές του ανατολικού Αργολικού κόλπου και του Αργολικού πεδίου. Ο εν λόγω δείκτης, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τα φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής, τροποποιήθηκε ώστε να περιλάβει και την παράμετρο της γεωλογίας. Η πιλοτική εφαρμογή του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας έδειξε ότι η εκτίμησή του αποτελεί μια αξιόπιστη μεθοδολογία εντοπισμού τρωτών περιοχών με κριτήριο τις μορφολογικές γεωλογικές και ωκεανογραφικές παραμέτρους της εκάστοτε παράκτιας περιοχής. Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στη λεπτομερή κλίμακα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, στην επιτόπια υπαίθρια χαρτογράφηση, που δίνει άμεση εικόνα για τα επιμέρους γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής καθώς και στην αξιοποίηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και επεξεργασίας των δεδομένων που προσφέρει η τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Δεδομένου ότι ανάλογες ενέργειες καθορισμού παράκτιων περιοχών υψηλής τρωτότητας, σε μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, δεν έχουν πραγματοποιηθεί σε εθνικό επίπεδο, προτείνεται σε πρώτη φάση η εκτίμηση του τροποποιημένου δείκτη για το σύνολο των ακτών της χώρας. Κάτι τέτοιο θα βοηθούσε την Πολιτεία και τους αρμόδιους φορείς να εστιάσουν στις πραγματικά τρωτές παράκτιες περιοχές και να ρυθμίσουν μελλοντικές ενέργειες αποφυγής των αρνητικών συνεπειών, αξιοποιώντας τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ως συστήματα λήψης αποφάσεων. Το δεύτερο βήμα που θεωρείται αναγκαίο είναι η ποσοτική εκτίμηση των οικονομικών συνεπειών σε τοπικό επίπεδο καθώς και ένας οικονομικός προγραμματισμός για το κόστος που απαιτείται για τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν μακροπρόθεσμα ώστε να μειωθούν οι αρνητικές συνέπειες. Δηλαδή αυτό που διεθνώς καλείται «Holding back the sea» (Titus and Richman, 2001). Για την αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης ακολουθούνται σε

παγκόσμια κλίμακα τακτικές οι οποίες εστιάζουν περισσότερο στις αλλαγές των χρήσεων γης και στη μετακίνηση κατασκευών και δραστηριοτήτων σε ασφαλέστερες περιοχές (Titus and Richman, 2001) ενέργειες που απαιτούν τον εντοπισμό και την οριοθέτηση των τρωτών περιοχών και ένα σωστά μεθοδευμένο και ουσιαστικό προγραμματισμό και σχεδιασμό.

Βιβλιογραφία

Γάκη Παπαναστασίου Κ., Ε. Καρύμπαλης και Α. Σενή, 2005: Εκτίμηση των επιπτώσεων από την αναμενόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας στο Αργολικό Πεδίο (Πελοπόννησος). 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο για την Διαχείριση και βελτίωση παράκτιων ζωνών, Αθήνα 22-25 Νοεμβρίου 2005.

Γιαννουλόπουλος Π., Σ. Αλεξανδρής, Μ.Ψυχογιού και Α.Πουλοβασίλης, 2002. Υφαλμύρωση και ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών του Αργολικού πεδίου. 6ο Πανελλήνιο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Ξάνθη.

ΙΓΜΕ, 1983: Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακα 1:500000. Έκδ. ΙΓΜΕ.

Παυλόπουλος Κ., Χ.Ν. Χαλκιάς και Ε. Καρύμπαλης, 2002: Εκτίμηση επιπτώσεων από τη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στα νησιά Μύκονο, Δήλο, Ρήνεια. 6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη 3-6 Οκτωβρίου 2002.

Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, 1991: Παλίρροιες των Ελληνικών Λιμένων. 4 Έκδοση, Αθήνα.

Χαλκιάς Ν.Χ., 2006: Όροι και έννοιες επιστήμης γεωγραφικών πληροφοριών. Geographical information science. Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.

Dufaure J.J., 1978: Le Peloponnese: Carte Geologique.

EI-Raey M., 1997: Vulnerability assessment of the coastal zone of the Nile delta of Egypt, to the impacts of sea level rise, Ocean & Coastal Management, 37, 1, 29-40.

Emery K.O. and G.G. Kuhn, 1980: Erosion of rock shores at La Jolla. Marine Geology, 37, 197-208.

Gaki-Papanastasiou K., H. Maroukian, K. Pavlopoulos and A. Zamani, 1997: The implications of the expected sea level rise on the low lying areas of continental Greece in the next century, Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment, 121-126.

Georgas D., 2000: Implications of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR) for Greece, Proceeding of SURVAS Expert Workshop on European Vulnerability and Adaptation to impacts of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR), Hamburg, 32-33.

IPCC., 2001: Climate Change, Synthesis Report. - Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.), Geneva, 184 pp (Stand-alone edition).

Karaca M., 2000: Implications of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR) for Turkey, Proceeding of SURVAS Expert Workshop on European Vulnerability and Adaptation to impacts of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR), Hamburg, 29-31.

Karymbalis E., and C.Chalkias, 2005: A GIS-RS approach in vulnerability assessment of deltaic coastal zone due to the impact of sea-level rise, Proceedings of the International Symposium Geographical Information Systems and Remote Sensing: Environmental Applications. Volos 7-9 November 2003. 299-306.

Karymbalis E. and A. Seni, 2005: Coastal Geomorphology and Future Sea-level Rise

Impacts at the Eastern Gulf of Argos (Greece). Proceedings of the Seventh International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 05, E. Ozhan (Editor), 25-29 October, Kusadasi, 1287-1298.

Li C.X., D.D. Fan, B. Deng and D.J. Wang, 2000: Some problems of vulnerability assessment in the coastal zone of China, Proceedings of the APN/SURVAS/LOICZ Joint Conference on Coastal Impacts of Climate Change and Adaption in the Asia-Pacific Region, Kobe, 1-8

Pendleton A.E., E.R. Thieler and S. Jeffress Williams, 2005: Coastal Vulnerability Assessment of Dry Tortugas National Park to Sea Level Rise. USGS, Open-File Report 2004-1416.

Soukissian T., 2005: The wave climate of the Aegean Sea: wind waves. State of the Hellenic Marine Environment, Institute of Oceanography. 65-70.

Titus J.G., R.A. Park, S. Leatherman, R. Weggel, M.S. Green, M. Treehan, S. Brown and G. Yohe, 1991: Greenhouse Effect and Sea Level Rise: The Cost of Holding Back the Sea, Coastal Management, 19, 171-204.

Titus J.G., and C. Richman, 2001: Maps of Lands Vulnerable to Sea Level Rise: Modeled Elevations along the U.S. Atlantic and Gulf Coasts, Climate Research, 18, 205-228.

ΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Σπύρου Χ.², Κατσαφάδος Π.¹, Αστήθα Μ.², Παπαδόπουλος Α.³, Κάλλος Γ.²

¹Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας

²Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Φυσικής, Τομέας Φυσικής Εφαρμογών

³Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών, Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων

Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει γίνει σαφής η σημασία της επίδρασης των σωματιδίων φυσικής προέλευσης (σκόνη από ερημικές εκτάσεις) στο κλίμα του πλανήτη. Για την πληρέστερη κατανόηση του κύκλου της σκόνης στην ατμόσφαιρα, απαιτείται η όσο το δυνατόν καλύτερη αναπαράσταση της κατανομής των σωματιδίων σκόνης και των διεργασιών μεταφοράς και εναπόθεσής τους. Το σύστημα πρόγνωσης καιρού Σκίρων, σε πλήρη σύζευξη με ένα μοντέλο προσομοίωσης του κύκλου σκόνης στην ατμόσφαιρα, μπορεί να προσφέρει αξιόπιστη πρόγνωση επεισοδίων σκόνης καθώς και παραγωγή κλιματολογικών δεδομένων σκόνης. Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζονται οι βελτιώσεις του μοντέλου στα σχήματα παραγωγής και εναπόθεσης σκόνης. Οι μηχανισμοί παραγωγής περιλαμβάνουν μια σειρά παραμέτρων, όπως την επίδραση της υψής του εδάφους, την κατανομή της βλάστησης, της υγρασίας του εδάφους, της ταχύτητας τριβής του ανέμου και του ιξώδους υποστρώματος. Με βάση τη νέα έκδοση του μοντέλου τα σωματίδια στις πηγές χωρίζονται σε κλάσεις (bins) ανάλογα με το μέγεθός τους. Σε κάθε κλάση θεωρείται ότι η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων είναι λογαριθμική. Το μέγεθος των σωματιδίων δεν ξεπερνά τα 10μm ώστε η προσομοίωση της μεταφοράς να είναι περισσότερο ρεαλιστική για μεγάλης κλίμακας κινήσεις, καθώς μεγαλύτερα σωματίδια εμφανίζουν περιορισμένο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα. Αναπτύχθηκαν επίσης βελτιωμένοι μηχανισμοί ξηρής εναπόθεσης (βαρυτική καθίζηση, επιφανειακή τυρβώδης διάχυση, κίνηση Brown) και υγρής απομάκρυνσης (μέσω υετού) των σωματιδίων. Το σύστημα εφαρμόστηκε για την περίοδο 27 - 30 Απριλίου 2005 για την περίπτωση επεισοδίου σκόνης στην Κίνα από την έρημο Gobi και τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με βάση επίγειες μετρήσεις PM10 από σταθμούς σε μια ευρεία περιοχή. Το μοντέλο μπόρεσε να αποδώσει σε ικανοποιητικό βαθμό την ανάπτυξη και εξέλιξη του επεισοδίου.

A MODEL TO SIMULATE THE ATMOSPHERIC DUST CYCLE: SENSITIVITY TESTS

Spyrou C.², Katsafados P.¹, Astitha M.², Papadopoulos A.³, Kallos G.²

¹Harokopio University of Athens, Department of Geography.

²National and Kapodistrian University of Athens, Department of Physics, Division of Applied Physics.

³Hellenic Centre for Marine Research, Institute of Inland Waters.

Abstract

Several studies over the past decades have shown that desert dust aerosols have a distinct effect in global climate. For a more accurate representation of the mechanisms involved in the desert dust cycle a detailed description of particle distributions, production, transport and deposition is essential. The Skiron weather forecasting system, fully coupled with a model describing the dust cycle in the atmosphere, is capable to predict dust episodes on an accurate way and it can be used to derive dust climatology as well. Model further improvements on dust production and deposition schemes are discussed in this study. The production mechanisms incorporate a series of parameters (soil texture,

vegetation cover, viscous sublayer effects and more). Based on this new version of the model dust particles are divided in bins according to their size. In each bin a lognormal sub-bin distribution of mass is considered. Particle sizes are limited to diameters up to 10 μ m thus, the modeled dust cycle is considered more realistic for long – range transports. The dry and wet removal processes have also been updated with new and more accurate algorithms (gravitational settling, surface turbulent diffusion, Brownian diffusion, incloud scavenging). The system was tested for a desert dust episode in China from the Gobi desert during the period 27-30 of April 2005. The results were evaluated using a series of data from PM10 monitoring stations at various locations in the area. The model was able to reproduce the spatiotemporal development of this dust episode.

Λέξεις κλειδιά: Κατανομή σωματιδίων σκόνης, σύστημα Σκίρων, κύκλος της σκόνης, έρημος Gobi.

Key words: Particle size distribution, dust deposition, Skiron system, dust cycle, Gobi desert.

1. Εισαγωγή

Ο κύκλος της σκόνης στην ατμόσφαιρα παρουσιάζει έντονη εποχιακή διακύμανση και συνδέεται άμεσα με την ευρύτερη ατμοσφαιρική κυκλοφορία (Kallos *et al.*, 2006). Με βάση επιτόπιες μετρήσεις, δορυφορικές εικόνες και προσομοιώσεις με τη χρήση αριθμητικών μοντέλων υπολογίζεται ότι η ποσότητα αυτή είναι της τάξης των 10⁷ τόνων το χρόνο (Guerzoni *et al.*, 1999). Παρά το γεγονός ότι η σκόνη δεν θεωρείται σημαντικός κλιματικός παράγοντας, σύγχρονες μελέτες έχουν αποδείξει το αντίθετο (Tegen and Fung, 1994). Η ύπαρξη σωματιδίων στην ατμόσφαιρα έχει σημαντική επίδραση στο κλίμα και την ποιότητα του αέρα. Μεταβάλλοντας το ισοζύγιο ακτινοβολιών στην ατμόσφαιρα και στο έδαφος, σκεδάζοντας, απορροφώντας και επανεκπέμποντας την ηλιακή ακτινοβολία, επηρεάζει την ίδια τη δυναμική της ατμόσφαιρας, καθώς και διάφορες παραμέτρους όπως την εξάτμιση, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την ευστάθεια (Charlson *et al.*, 1991). Έντονη είναι επίσης η επίδραση στην ποιότητα του αέρα και συνεπώς στην ανθρώπινη υγεία. Κατά την τελευταία δεκαετία μια σειρά από επιδημιολογικές μελέτες έδειξαν έντονη συσχέτιση μεταξύ σωματιδίων σκόνης και υγείας (Dockery and Pope, 1996).

Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζονται βελτιώσεις του μοντέλου προσομοίωσης των διεργασιών του κύκλου σκόνης στην ατμόσφαιρα, ως υποσύστημα του ατμοσφαιρικού μοντέλου Σκίρων, που αφορούν κυρίως τα σχήματα παραγωγής και εναπόθεσης. Αναλύθηκε επίσης η αξιοπιστία των νέων σχημάτων μέσα από μία σειρά ελέγχων ευαισθησίας για τη περίπτωση επεισοδίου σκόνης στην ευρύτερη περιοχή της Κίνας από την έρημο Gobi για την περίοδο 27 – 30 Απριλίου 2005. Η επιλογή της περιοχής μελέτης έγινε λόγω της διαθεσιμότητας δεδομένων συγκέντρωσης σωματιδίων από σταθμούς ελέγχου ποιότητας αέρα.

2. Περιγραφή νέων σχημάτων κατανομής σωματιδίων και διεργασιών εναπόθεσης

Το σύστημα Σκίρων βρίσκεται σε επιχειρησιακή λειτουργία από το 1998 παρέχοντας 72 ωρών προγνώσεις καιρού για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου καθώς και μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα (<http://forecast.uoa.gr/dustindx.html>). Λειτουργεί επίσης επιχειρησιακά σε μία σειρά ερευνητικών προγραμμάτων παρέχοντας προγνωστικά πεδία μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα προγράμματα POSEIDON (Monitoring, Forecasting and Information System for the Greek Seas) και ADIOS (Atmospheric Deposition and Impact of pollutants, key elements and nutrients on the Open Mediterranean Sea). Προσπάτως το μοντέλο Σκίρων αποτελεί το βασικό προγνωστικό σύστημα προειδοποίησης και διαχείρισης επεισοδίων μεταφοράς σκόνης του ΥΠΕΧΩΔΕ και αξιολογείται καθημερινά με βάση τους επίγειους σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικών σωματιδίων και ποιότητας αέρα της υπηρεσίας ΕΑΡΘ.

Η κύρια συνιστώσα του συστήματος είναι το περιορισμένης περιοχής μοντέλο πρόγνωσης καιρού Eta, το οποίο περιγράφεται αναλυτικά σε πλήθος εργασιών και δημοσιεύσεων (Kallos et al. 1997; Janjic 1990; Mesinger et al. 1988; Katsafados 2003). Η πρώτη έκδοση του συστήματος πρόγνωσης καιρού Σκίρων με τη συνιστώσα για την περιγραφή του κύκλου σκόνης φυσικής προέλευσης αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο Αθηνών και περιλαμβάνει μια σειρά παραμετροποιήσεων για την προσομοίωση των διεργασιών παραγωγής, μεταφοράς και εναπόθεσης ατμοσφαιρικών σωματιδίων. Αναλυτική περιγραφή της έκδοσης αυτής υπάρχει στις εργασίες των Nickovic et al. (2001) και Kallos et al. (2006) και στην παρούσα εργασία θα αναφέρεται ως SKIRON_v1. Στη συγκεκριμένη έκδοση τα σωματίδια σκόνης χωρίζονται σε 4 διακριτές κλάσεις ανάλογα με το μέγεθός τους, όπως περιγράφεται στον Πίνακα 1:

Πίνακας 1. Διακριτές κλάσεις σωματιδίων της προηγούμενης έκδοσης του μοντέλου (SKIRON_v1). Καταγράφονται επίσης το είδος, η ακτίνα και η πυκνότητα των σωματιδίων.

k	Είδος	Τυπική Ακτίνα R_k (μm)	Πυκνότητα ρ_k (g/cm^{-3})
1	πηλός (clay)	0.73	2.50
2	ιλύς, μικρή (silt, small)	6.10	2.65
3	ιλύς, μεγάλη (silt, large)	18.00	2.65
4	άμμος (sand)	38.00	2.65

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης πραγματοποιήθηκε περαιτέρω ανάπτυξη των αλγορίθμων προσομοίωσης με σκοπό την βελτίωση και την αναλυτικότερη περιγραφή του κύκλου σκόνης. Η έκδοση αυτή του συστήματος θα αναφέρεται εδώ ως SKIRON_v2 και οι τροποποιήσεις αναφέρονται στη συνέχεια. Στη νέα έκδοση τα σωματίδια χωρίζονται σε κλάσεις (bins) ανάλογα με το μέγεθός τους, όπως περιγράφεται στην εργασία των Zender et al. (2003). Σε κάθε κλάση η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων θεωρείται λογαριθμική με μέση διάμετρο μάζας (mass median diameter) $D_v = 2.524$ (Shettle, 1984) και τυπική γεωμετρική απόκλιση (geometric standard deviation) $\sigma_g = 2$ (Schulz et al., 1998). Στον Πίνακα 2 περιγράφονται αναλυτικά οι 4 νέες κλάσεις που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 2. Κλάσεις σωματιδίων στην βελτιωμένη έκδοση του μοντέλου (SKIRON_v2). Καταγράφονται επίσης η μέγιστη και ελάχιστη διάμετρος κάθε κλάσης (D_{\max} , D_{\min}), η μέση διάμετρος μάζας (D_v) και η τυπική γεωμετρική απόκλιση (σ_g).

Bins	D_{\min} (μm)	D_{\max} (μm)	D_v	σ_g
1	0.1	1.0	2.524	2.0
2	1.0	2.5	2.524	2.0
3	2.5	5.0	2.524	2.0
4	5.0	10.0	2.524	2.0

Η διαδικασία της μεταφοράς περιγράφεται με την εξίσωση της συνέχειας τύπου Euler, η οποία ολοκληρώνεται χρονικά ταυτόχρονα με άλλες προγνωστικές εξισώσεις του μοντέλου. Η εξίσωση συνέχειας που χρησιμοποιείται είναι της μορφής που δίνεται παρακάτω:

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} = -u \frac{\partial C_k}{\partial x} - v \frac{\partial C_k}{\partial y} - (w - v_{gk}) \frac{\partial C_k}{\partial z} - \nabla \cdot (K_H \nabla C_k) - \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial C_k}{\partial z}) + (\frac{\partial C_k}{\partial t})_{SOURCE} - (\frac{\partial C_k}{\partial t})_{SINK} \quad (1)$$

Στην παραπάνω εξίσωση, u και v είναι οι οριζόντιες συνιστώσες του ανέμου, w η κατακόρυφη ταχύτητα, v_{gk} η ταχύτητα εναπόθεσης, KH ο πλευρικός συντελεστής διάχυσης και Kz ο συντελεστής τυρβώδους διάχυσης. Ο τελευταίος όρος περιλαμβάνει τις διεργασίες ξηρής και υγρής εναπόθεσης.

Η παραμετροποίηση των διαδικασιών της ξηρής εναπόθεσης βελτιώθηκε χρησιμοποιώντας το σχήμα αντιστάσεων (resistances) των Slinn and Slinn (1980), όπου η ταχύτητα εναπόθεσης των σωματιδίων υπολογίζεται ως:

$$V_d = V_{sed} + \frac{1}{r_a + r_b + r_a r_b V_{sed}} \quad (2)$$

Όπου V_{sed} είναι η ταχύτητα βαρυτικής εναπόθεσης, r_a η αεροδυναμική αντίσταση και r_b η αντίσταση της επιφάνειας (boundary resistance). Η υγρή εναπόθεση περιλαμβάνει διεργασίες συλλογής μέσα και κάτω από το νέφος και περιγράφεται από τους Seinfeld και Pandis (1998). Στο συγκεκριμένο σχήμα, η μεταβολή της συγκέντρωσης της σκόνης περιγράφεται ως:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -4.2 \times 10^{-7} \frac{EP}{d_d} C \quad (3)$$

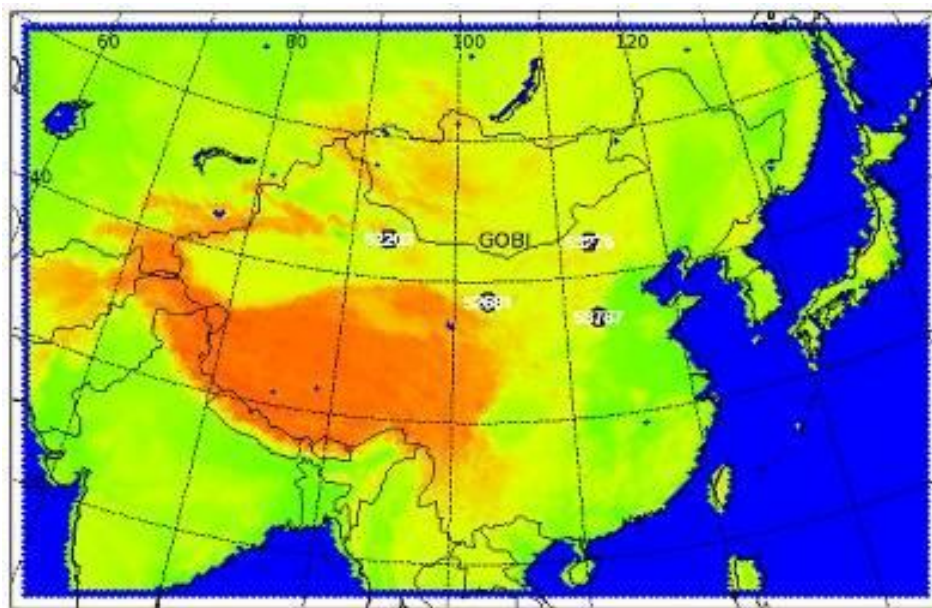
Όπου E η ικανότητα συλλογής (collection efficiency), P ο ρυθμός βροχόπτωσης (precipitation rate) και d_d η διάμετρος των υδροσταγόνων.

3. Δεδομένα μετρήσεων επιφανείας

Η Κινέζικη Ακαδημία Μετεωρολογικών Επιστημών διαθέτει πλήθος μετρήσεων από την τοπική Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας. Οι μετρήσεις αυτές οι οποίες αφορούν συγκεντρώσεις σωματιδίων (Particulate Matter-PM10) προέρχονται από μετρητικούς σταθμούς στην ευρύτερη περιοχή της Κίνας. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα συγκέντρωσης σωματιδίων από 4 μετρητικούς σταθμούς για την περίοδο 27-30 Απριλίου 2005. Τα δεδομένα διατέθηκαν στο πλαίσιο του διακρατικού ερευνητικού προγράμματος "Προγνωστικά συστήματα προσομοίωσης του κύκλου της σκόνης από τη Σαχάρα και την έρημο της ανατολικής Ασίας Γκόμπι στην ατμόσφαιρα. Συγκριτική αξιολόγηση δύο συστημάτων" που χρηματοδοτείται από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας. Οι συντεταγμένες των σταθμών δίνονται στον Πίνακα 3 που ακολουθεί και αποτυπώνονται στο Σχήμα 1.

Πίνακας 3. Συντεταγμένες και υψόμετρο του δικτύου των μετρητικών σταθμών.

Κωδικός Σταθμού	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Υψόμετρο (m)
52203	42.82 °	93.52 °	737.2
52681	38.63 °	103.08 °	1367.0
53276	42.40 °	112.90 °	1150.8
53787	37.07 °	112.98 °	1041.4



Σχήμα 1. Οι θέσεις των σταθμών μέτρησης της επιφανειακής συγκέντρωσης σωματιδίων PM10. Στο σχήμα αποτυπώνεται επίσης και η περιοχή ολοκλήρωσης με την τοπογραφία του μοντέλου.

4. Σχεδιασμός πειραματικής διαδικασίας

Για την αξιολόγηση της βελτιωμένη έκδοσης του συστήματος (SKIRON_v2) επιλέχθηκε η περίπτωση επεισοδίου μεταφοράς σκόνης από την έρημο Gobi στην ευρύτερη περιοχή της Κίνας κατά την περίοδο 27 – 30 Απριλίου 2005. Ο χαρακτηρισμός των πηγών σκόνης πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια δεδομένων βλάστησης με ανάλυση 30x30 δευτερολέπτων, σύμφωνα με την ταξινόμηση Olson World Ecosystems. Οι απαραίτητες αρχικές και οριακές συνθήκες για την εφαρμογή του συστήματος προέρχονται από δεδομένα ανάλυσης του ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts). Το σύστημα εφαρμόστηκε αρχικά για την περίοδο 23-27 Απριλίου, ώστε να δημιουργηθεί ένα ικανοποιητικό υπόβαθρο σκόνης στην περιοχή ολοκλήρωσης, και στη συνέχεια για την περίοδο ενδιαφέροντος.

4.1. Αξιολόγηση με βάση δορυφορικές εικόνες

Σε πρώτη φάση, με τη χρήση δορυφορικών εικόνων τύπου TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) και προγνωστικών εικόνων του μοντέλου Σκίρων, εξετάστηκε και διαπιστώθηκε η ικανότητα του συστήματος να προβλέψει τη χωροχρονική εξέλιξη του επεισοδίου (Σχήμα 2). Οι εικόνες τύπου TOMS στηρίζονται στη γραμμική αναλογία μεταξύ της πυκνότητας των αερολυμάτων με το οπτικό τους βάθος (Aerosol Index, AI). Η μέτρηση του οπτικού βάθους πραγματοποιείται μέσω της μέτρησης της οπισθοσκεδαζόμενης UV ακτινοβολίας σε πολλαπλά μήκη κύματος, η οποία εξαρτάται άμεσα από τη συγκέντρωση των σωματιδίων στην ατμοσφαιρική στήλη. Οι εικόνες στην αριστερή στήλη του σχήματος 2 προέρχονται από τα αποτελέσματα του συστήματος Σκίρων και οπτικοποιήθηκαν με το λογισμικό NCAR Graphics (version 4.4.2).

4.2. Αξιολόγηση με βάση επιτόπιες μετρήσεις

Η συγκεκριμένη αξιολόγηση βασίζεται στην άμεση σύγκριση διαθέσιμων πειραματικών

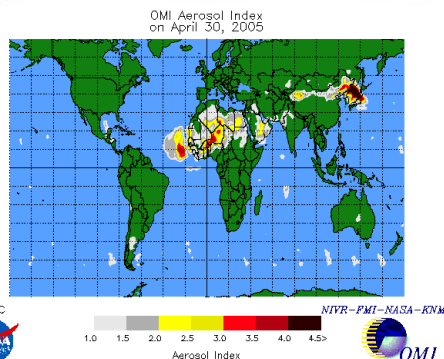
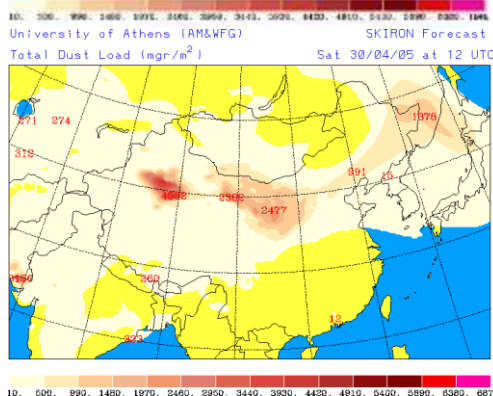
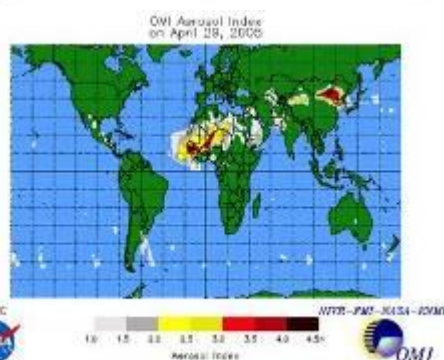
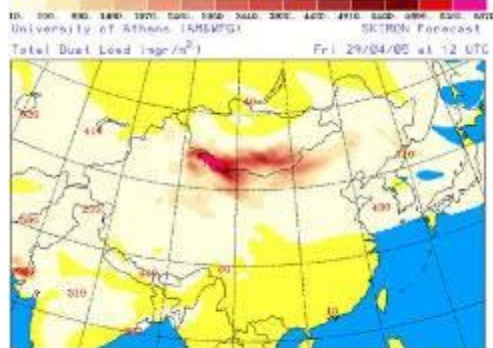
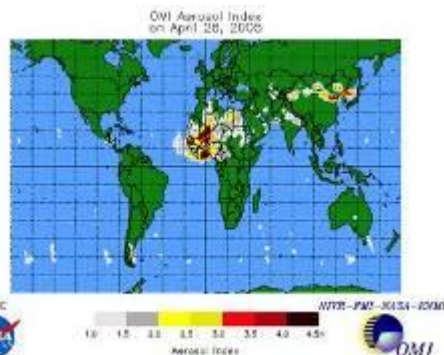
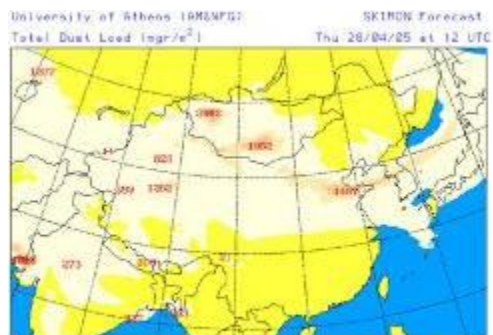
δεδομένων και αποτελεσμάτων του συστήματος και αποσκοπεί στο να ελέγξει ποσοτικά τις επιδόσεις του τελευταίου. Ακολουθεί η διαδικασία αξιολόγησης:

- Πραγματοποιήθηκε ποσοτική αξιολόγηση του συνόλου των μετρήσεων ώστε να χρησιμοποιηθούν εκείνες που θεωρήθηκαν ως οι πιο αξιόπιστες.
- Αναπτύχθηκε κατάλληλη διαδικασία για την εξαγωγή των συγκεντρώσεων σκόνης από τα προγνωστικά πεδία του μοντέλου Σκίρων στις τοποθεσίες των σταθμών ενδιαφέροντος.
- Δημιουργήθηκαν συγκριτικά διαγράμματα χρονικής εξέλιξης της συγκέντρωσης σκόνης για κάθε σταθμό (Σχήματα 3 – 6) μεταξύ των διαθέσιμων παρατηρήσεων και των προγνωστικών τιμών των δύο εκδόσεων του συστήματος.
- Για κάθε σταθμό εκτιμήθηκε το στατιστικό μέγεθος του συστηματικού σφάλματος BIAS, όπως περιγράφεται στη διεθνή βιβλιογραφία (Wilks, 1995). Ειδικότερα, ο δείκτης εκτιμά την αντιστοιχία ανάμεσα στη μέση τιμή πρόγνωσης και παρατήρησης. Το μέγεθος αυτό προκύπτει από το άθροισμα των διαφορών σε σύνολο N τιμών:

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \quad (4)$$

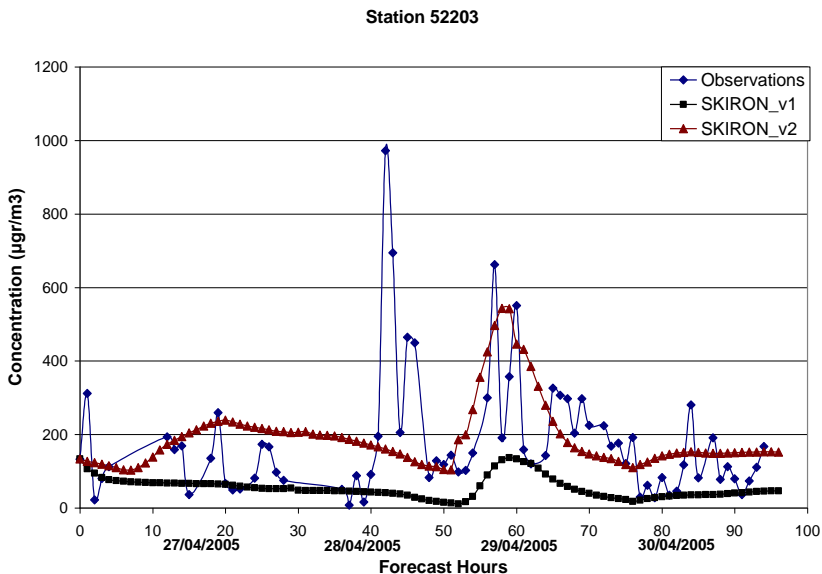
Σε περίπτωση όπου $BIAS < 0$ το μοντέλο υποεκτιμά τις μετρούμενες συγκεντρώσεις, ενώ τιμές με $BIAS > 0$ σχετίζονται με υπερεκτίμηση των αντίστοιχων τιμών παρατήρησης. Ιδανικές προγνώσεις εμφανίζουν $BIAS = 0$ (Σχήμα 7).

- Η διαδικασία αξιολόγησης επαναλήφθηκε και για την προηγούμενη έκδοση της συνιστώσας περιγραφής του κύκλου σκόνης, όπως αυτή αναφέρεται από τους Nickovic *et al.* (2001).

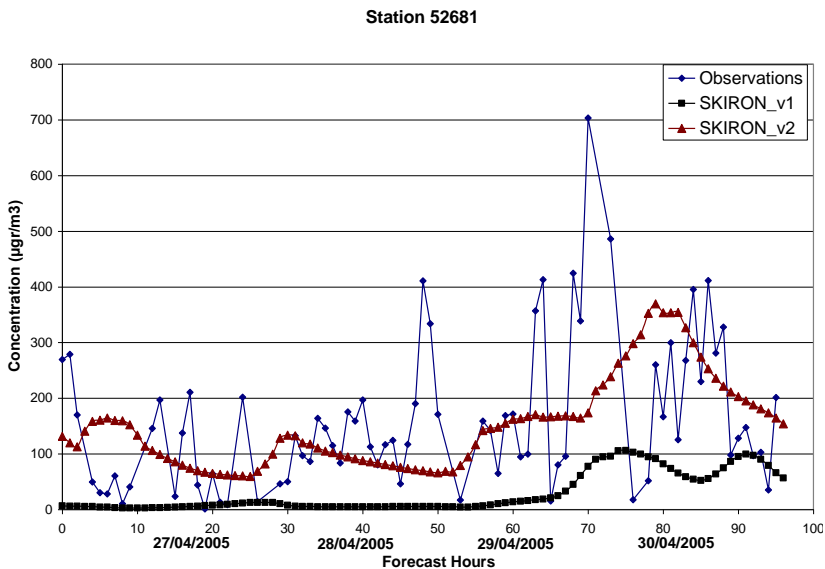


Σχήμα 2. Εικόνες φορτίου σκόνης (mgr/m^2) από το σύστημα Σκίρων (αριστερά) και Aerosol Index (δεξιά) για την περίοδο 28 - 30 Απριλίου 2005. Οι εικόνες του δημιουργήθηκαν με το λογισμικό NCAR Graphics.

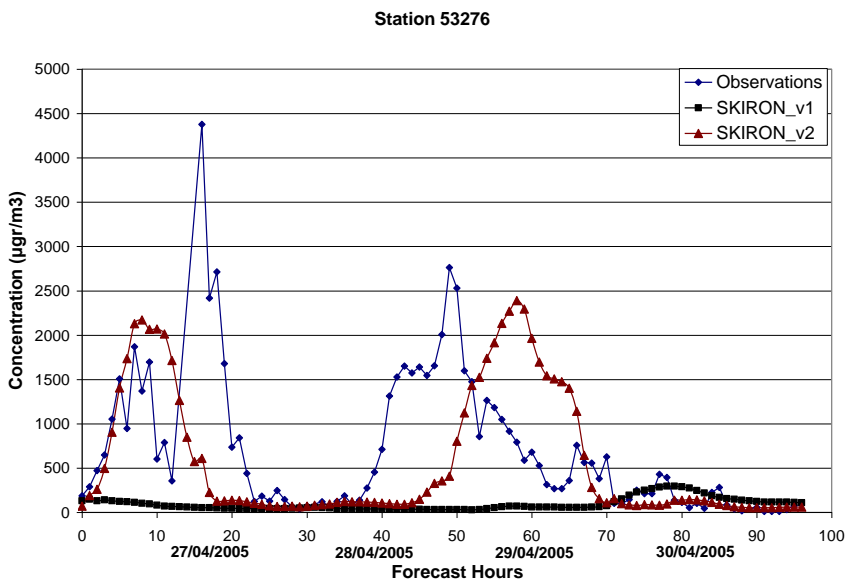
Στα Σχήματα 3-6 η βελτιωμένη έκδοση αναφέρεται ως SKIRON_v2, ενώ η προηγούμενη ως SKIRON_v1.



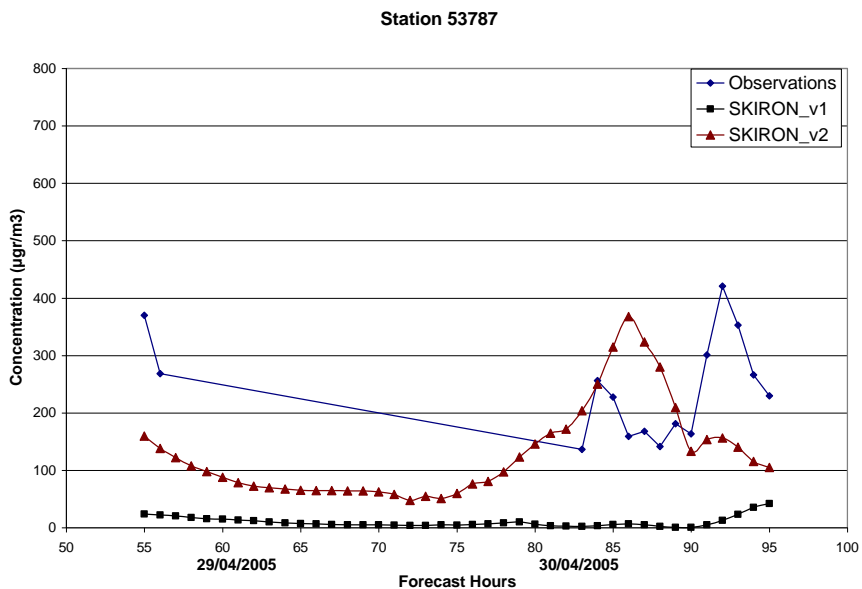
Σχήμα 3. Χρονοδιάγραμμα συγκέντρωσης σκόνης στον σταθμό 52203.



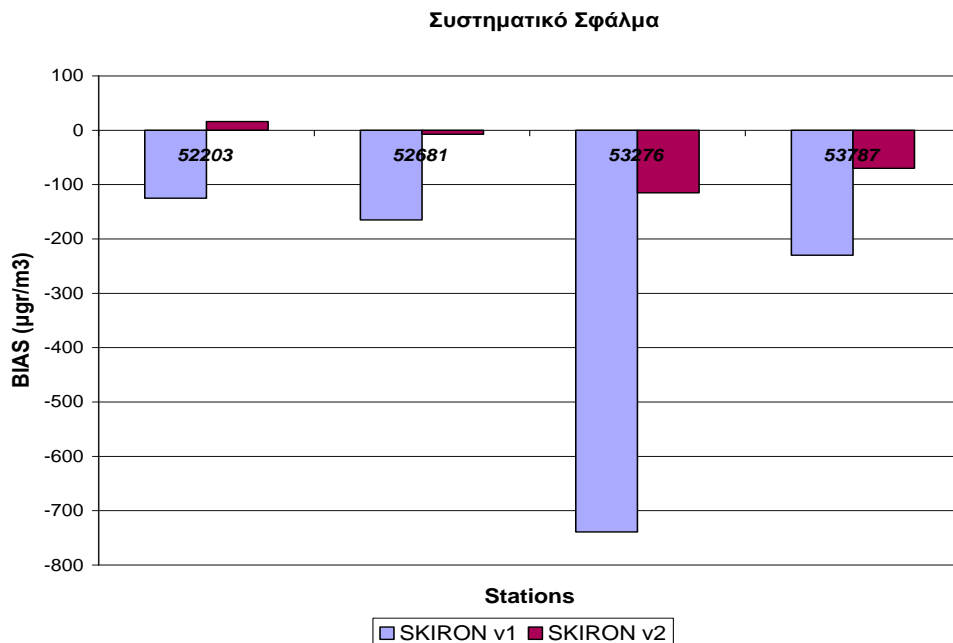
Σχήμα 4. Χρονοδιάγραμμα συγκέντρωσης σκόνης στον σταθμό 52681.



Σχήμα 5. Χρονοδιάγραμμα συγκέντρωσης σκόνης στον σταθμό 53276.



Σχήμα 6. Χρονοδιάγραμμα συγκέντρωσης σκόνης στον σταθμό 53787.



Σχήμα 7. Συστηματικό σφάλμα BIAS για κάθε σταθμό για τις δύο εκδόσεις του συστήματος Σκίρων. Η βελτιωμένη έκδοση αναφέρεται ως SKIRON_v2, ενώ η προηγούμενη ως SKIRON_v1.

Όπως φαίνεται από τα χρονοδιαγράμματα και το συστηματικό σφάλμα, η νέα έκδοση του συστήματος εμφανίζει σημαντική βελτίωση στην αποτύπωση του κύκλου σκόνης στην ατμόσφαιρα. Ιδιαίτερα στους σταθμούς 52203, 52681 και 53276 το μοντέλο καταφέρνει να περιγράψει με αρκετά καλή ακρίβεια την εξέλιξη του επεισοδίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αξιοπιστία των διαθέσιμων μετρήσεων δεν είναι δεδομένη, καθώς η επίδραση τοπικών πηγών ρύπανσης και ανθρωπογενών διεργασιών εισάγει σφάλματα στις μετρήσεις των PM10.

5. Συμπεράσματα

Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάστηκε μια βελτιωμένη έκδοση ενός συστήματος για την προσομοίωση του κύκλου σκόνης φυσικής προέλευσης στην ατμόσφαιρα. Η συνιστώσα για την περιγραφή των διεργασιών παραγωγής, μεταφοράς και εναπόθεσης σωματιδίων τροποποιήθηκε για να λειτουργεί στη δομή του ατμοσφαιρικού μοντέλου Σκίρων. Τα νέα σχήματα ενσωματώθηκαν στο μοντέλο σκόνης και αξιολογήθηκαν με ελέγχους ευαισθησίας για την περίπτωση επεισοδίου σκόνης στην Κίνα από την έρημο Gobi κατά την περίοδο 27 – 30 Απριλίου 2005. Η προσαρμοστικότητα του μοντέλου σε οποιαδήποτε περιοχή του κόσμου σε συνδυασμό με την αξιοπιστία των αριθμητικών σχημάτων του επέτρεψαν την πρωτότυπη εφαρμογή του για μία απομακρυσμένη περιοχή της Ανατολικής Ασίας. Το σύστημα Σκίρων αξιολογήθηκε με τη βοήθεια δορυφορικών εικόνων τύπου TOMS και αναλύθηκαν ποιοτικά οι δυνατότητες του στην πρόγνωση ενός επεισοδίου σκόνης. Η συγκεκριμένη αξιολόγηση ανέδειξε τη δυνατότητα του μοντέλου να προσομοιώνει τη μεγάλης κλίμακας μεταφορά σκόνης από ερημικές περιοχές καθώς και τη χωροχρονική εξέλιξή της. Για την ποσοτική αξιολόγηση του συστήματος εφαρμόστηκαν συγκριτικά διαγράμματα χρονικής εξέλιξης της συγκέντρωσης σκόνης σε συνδυασμό με στατιστική μέθοδο. Με βάση τα αποτελέσματα της

αξιολόγησης, το μοντέλο γενικά υποεκτιμά τις μέγιστες τιμές των μετρούμενων συγκεντρώσεων, ενώ παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση στην προγνωστική ικανότητα του συστήματος με την εφαρμογή των νέων σχημάτων παραγωγής και εναπόθεσης. Αν ληφθούν υπόψη η αβεβαιότητα που υπάρχει στις μετρήσεις σκόνης (περιορισμένος δειγματικός χώρος, επίδραση τοπικών πηγών) καθώς και η σχετικά αραιή χωρική ανάλυση πλέγματος των προσομοιώσεων (περίπου 25 χιλιόμετρα), τότε η απόδοση του συστήματος μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική. Συνολικά, η ευελιξία του και η αξιοπιστία του το καθιστούν ένα χρήσιμο εργαλείο σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου για την υποστήριξη συστημάτων προειδοποίησης και λήψης αποφάσεων περιβαλλοντικού χαρακτήρα σε οποιαδήποτε περιοχή του πλανήτη. Πρόγνωσης του κύκλου της σκόνης στην ατμόσφαιρα για την περιοχή της Ανατολικής Ασίας σε επιχειρησιακή βάση είναι διαθέσιμες στην ιστοσελίδα <http://forecast.uoa.gr/meteo-envi.html>.

Ευχαριστίες

Η συγκεκριμένη εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος "Προγνωστικά συστήματα προσομοίωσης του κύκλου της σκόνης από τη Σαχάρα και την έρημο της ανατολικής Ασίας Γκόμπι στην ατμόσφαιρα. Συγκριτική αξιολόγηση δύο συστημάτων". Πρόγραμμα Ε+Τ Συνεργασίας Ελλάδας-Κίνας, ΓΓΕΤ 120-γ, ΕΠΑν Μ. 4.3.6.1.γ.

Βιβλιογραφία

Charlson, R. J., J. Langner, H. Rodhe, C. Leovt, S. Warren, 1991: Perturbation of the Northern Hemisphere radiative balance by backscattering from anthropogenic sulfate aerosols. *Tellus*, 43AB, 152-163.

Dockery, D., Pope, A., 1996: Epidemiology of acute health effects: summary of time-series studies. In: Wilson, R., Spenger, J.D. (Eds), *Particles in our Air: Concentration and Health Effects*. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, pp. 123-147.

Guerzoni, S., R. Chester, F. Dulac, B. Herut, M. D. Loye-Pilot, C. Measures, C. Mignon, C. Molinaroli, C. Moulin, P. Rossini, C. Saydam, A. Soudine, P. Zivery, 1999: The role of atmospheric deposition in the biochemistry of the Mediterranean Sea, *Prog. Oceanogr.*, 44, 147-190.

Janjic, Z. I., 1990: The step-mountain coordinate: Physical package. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1429-1443.

Kallos, G., A. Papadopoulos, P. Katsafados and S. Nickovic, 2006: Transatlantic Saharan dust transport: Model simulation and results, *Journal of Geophysical Research*, 111, D09204, doi:10.1029/2005JD006207,

Kallos, G., S. Nickovic, A. Papadopoulos, D. Jovic, O. Kakaliagou, N. Misirlis, L. Boukas, N. Mimikou, G. Sakellaris, J. Papageorgiou, E. Anadranistakis, and M. Manousakis, 1997: The regional weather forecasting system SKIRON: An overview, in: *Proceedings of the International Symposium on Regional Weather Prediction on Parallel Computer Environments*.

Katsafados, P., 2003: Factors and parameterizations contributing the medium range forecast skill of limited area models, PhD Thesis, University of Athens, Greece.

Mesinger, F., T.L Black, and Z. I. Janjic, 1988: A summary of the NMC step-mountain (ETA) coordinate model. *Proc. Workshop on Limited-area Modeling Intercomparison*, Boulder, Colorado, NCAR, 91-98.

Nickovic, S., G. Kallos, A. Papadopoulos, O. Kakaliagou, 2001: A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere, *Journal of Geophysical Research*, 106, 18,113-18,129.

Schulz, M., Y. J. Balkanski, W. Guelle, and F. Dulac, 1998 : Role of aerosol size distribution and source location in a three-dimensional simulation of a Saharan dust episode tested against satellite-derived optical thickness, *Journal of Geophysical Research*, 103, 10,579– 10,592, 1998.

Seinfeld, J.H., and S.N. Pandis. 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics, From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley and Sons, Inc., NY.

Shettle, E. P., 1984: Optical and radiative properties of a desert aerosol model, in *IRS '84: Current Problems in Atmospheric Radiation*, edited by G. Fiocco, pp. 74– 77, A. Deepak, Hampton, Va.

Slinn S.A. and W.G.N. Slinn. 1980. Predictions for particle deposition on natural waters. *Atmos. Environ.*, 24, 1013-1016.

Tegen, I, and I Fung, 1994: Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport and optical thickness, *Journal of Geophysical Research*, 99,22,987-22,914.

Wilks, D.S., 1995: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Academic Press NY, pp 233-283.

Zender, C. S., H. Bian, and D. Newman 2003, Mineral Dust Entrainment and Deposition (DEAD) model: Description and 1990s dust climatology, *Journal of Geophysical Research*, 108(D14), 4416, doi:10.1029/2002JD002775.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΤΩ ΣΟΥΛΙΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ (ΒΑ ΑΤΤΙΚΗ)

Σωτηρόπουλος Π.¹, Τζάνης Α.²

¹ TerraMentor E.O.O.Σ., Σαρανταπόρου 26 και Στρατηγού Τόμπρα, Αγ. Παρασκευή 15342.
E-mail terramen@otenet.gr

² Τομέας Γεωφυσικής – Γεωθερμίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών,
Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου 15784. E-mail: atzanis@geol.uoa.gr

Περίληψη

Οι επιφανειακοί και υπόγειοι υδάτινοι πόροι αποτελούν σημαντικότατο παράγοντα οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας για τον πληθυσμό μίας περιοχής· είναι ανανεώσιμοι και με την κατάλληλη διαχείριση μπορούν να συμβάλλουν στην αειφόρο ανάπτυξη. Δυστυχώς, η επέκταση της βιομηχανικής και αγροτικής δραστηριότητας οδηγεί σε αυξανόμενη άντληση υπογείων υδάτων, υπέρμετρη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων και (συχνά) παράνομη διάθεση των βιομηχανικών αποβλήτων. Αυτά συνεπάγονται την δραματική μείωση και υποβάθμιση της ποιότητας των υδατικών αποθεμάτων. Κατά συνέπεια, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη ανάπτυξης προηγμένων τεχνικών ολιγοδάπανης παρακολούθησης και αποτίμησης των ποσοτικών και ποιοτικών στοιχείων των υδατινών πόρων. Η εργασία αυτή περιγράφει ένα πολυ-οδικό σύστημα μέτρησης και ψηφιακής καταγραφής έως και 15 φυσικών και χημικών παραμέτρων (συγκέντρωση ρυπαντών) που αποτιμούν την ποιότητα των υδατινών πόρων σε πραγματικό χρόνο, το οποίο αναπτύχθηκε για να καλύψει τις απαιτήσεις και προδιαγραφές της Κοινοτικής Οδηγίας 2000/60. Το σύστημα (Ονομαζόμενο Watertool™), χρησιμοποιεί τεχνολογία ιοντοεπιλεκτικών ηλεκτροδίων και οι επιδόσεις και αποτελεσματικότητά του παρουσιάζονται διεξοδικά με εφαρμογή στην περιοχή του Κάτω Σουλίου (ΒΑ Αττική), η οποία εμφανίζει σημαντικά προβλήματα υφαλμύρισης και ρύπανσης του υπογείου υδροφορέα. Καταδεικνύεται η αποτελεσματικότητα της μεθόδου για ταχεία, ολιγοδάπανη και ακριβή αποτύπωση της ποιότητας των υπόγειων υδατικών πόρων και τα πολλαπλά οφέλη που προσφέρονται στους διαχειριστές υδατινών πόρων.

Abstract

Surface and groundwater resources are important assets for the economic and social welfare of the population of a given area; they are renewable and with proper management, they contribute substantially to sustained development. Unfortunately, the expansion of industrial and agricultural activities lead to increasing withdrawal of water from the aquifers, excessive use of pesticides and fertilizers and (frequently illicit) disposal of industrial waste. This results in rapid reduction in the quantity and quality of water reserves. There is a compelling call for the development of advanced and inexpensive means to monitor the quantitative and qualitative characteristics of water resources. This paper introduces a multi-channel system, developed in response to the requirements specified by Directive 2000/60 of the European Commission for water quality monitoring. The system can measure up to 15 physical and chemical parameters (pollutant concentration) facilitating the evaluation of water quality in real time. It implements the Ion-Selective Electrode technology and its effectiveness is demonstrated with an application in the area of Kato Souli (NE Attica), which suffers from intense salination (sea-water intrusion) and pollution of the aquifer. It is shown that the system comprises an inexpensive, accurate and fast method to map the quality of groundwater reserves and assist aquifer managers in making effective decisions.

Λέξεις κλειδιά: Ποιότητα νερού, ρύπανση υδάτων, διαχείριση υδροφορέων, ιοντοεπιλεκτικά ηλεκτρόδια.

Key words: Water quality, water pollution, aquifer management, Ion-selective electrodes.

1. Εισαγωγή

Η δραματική ελάττωση των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη επιδείνωση της ποιότητας του νερού λόγω διαφόρων μορφών ρύπανσης αποτελούν δύο σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζονται από τους διαχειριστές υδατικών πόρων. Τα προβλήματα αυτά έχουν αρκετές αρνητικές επιδράσεις στην αγροτική δραστηριότητα, την οικονομία, το φυσικό περιβάλλον και, το σημαντικότερο, στην υγεία των καταναλωτών νερού. Εάν αφεθούν ανεξέλεγκτα μπορούν να διακυβεύσουν την ευημερία ολοκλήρων πληθυσμών! Η πρόληψη και μετρίαση τέτοιων κινδύνων απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και τολμηρά διοικητικά μέτρα, τα οποία για να είναι αποτελεσματικά, ιδίως σε περιπτώσεις εξελισσομένων κρίσεων, πρέπει να ληφθούν στην βάση αξιόπιστης πληροφόρησης, παραδοτέας στους σχεδιαστές και λήπτες αποφάσεων με ασφάλεια και ταχύτητα.

Ουσιώδη τέτοιου είδους πληροφόρηση είναι η ποιότητα του νερού των υδροφορέων και συγκεκριμένα η παρουσία ή μη, υψηλών συγκεντρώσεων ανεπιθύμητων χημικών ενώσεων (ρυπαντών). Οι συμβατικές μέθοδοι αποτίμησης της ποιότητας νερού απαιτούν άμεση δειγματοληψία του υδροφορέα (μέσω φρεάτων ή γεωτρήσεων) και χημική ανάλυση στο εργαστήριο, αν και ορισμένες παράμετροι μπορούν να μετρηθούν *in situ* με εξειδικευμένο χημικό εξοπλισμό. Σε κάθε περίπτωση, η χημική ανάλυση είναι ακριβής και αξιόπιστη, αλλά ταυτοχρόνως αργή και μάλλον δαπανηρή διαδικασία (π.χ. Wilson and Hunt, 1986, Clesceri *et al.*, 1989). Η ταχεία και ολιγοδάπανη πρόσκτηση έγκυρων δεδομένων απαιτεί την εφαρμογή νέων τεχνολογιών, ελάχιστα εξαρτημένων από την χημική ανάλυση.

Η εργασία αυτή παρουσιάζει την εφαρμογή μίας τέτοιας τεχνολογίας, η οποία εκμεταλλεύεται τις φυσικοχημικές ιδιότητες ιόντων εν διαλύσει, προκειμένου να μετρήσει την συγκέντρωσή τους: ουσιαστικά εκτελεί χημική ανάλυση χρησιμοποιώντας τις φυσικές ιδιότητες των ιόντων. Η τεχνολογία αυτή υλοποιείται σε ένα πρωτοποριακό σύστημα μέτρησης έως και 15 φυσικοχημικών παραμέτρων ταυτοχρόνως (Watertool™), το οποίο περιγράφεται εν συντομία και επιδεικνύεται με μία εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες υπαίθρου, στην περιοχή Κάτω Σουλίου Μαραθώνα (BA Αττικής).

2. Συσκευή μετρήσεων και αισθητήρες

Το σύστημα αποτελείται από ένα βυθιζόμενο φωρατή που περιλαμβάνει τους αισθητήρες και περιέχεται σε μία στιβαρή κυλινδρική θήκη από τιτάνιο (Εικόνα 1). Έχοντας διαστάσεις 600×48mm, ο φωρατής μπορεί εύκολα να εισαχθεί σε σωλήνες γεωτρήσεων διαμέτρου 60mm. Άλλα σπουδαία εξαρτήματα του συστήματος είναι η μονάδα ψηφιοποίησης, η μονάδα ελέγχου/ αποθήκευσης δεδομένων και η μονάδα μετάδοσης δεδομένων.

Οι μετρούμενες παράμετροι περιλαμβάνουν θερμοκρασία, πυκνότητα, ολική σκληρότητα, ηλεκτρική ειδική αγωγιμότητα, pH (με ακρίβεια 0,05 μονάδες), Eh, διαλυμένο οξυγόνο (με ακρίβεια 0,05mg/l) και συγκεντρώσεις ρυπαντών (NH_4^+ , NO_3^- , Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , F^- και H_2S , όλα με ακρίβεια τουλάχιστον 0,1 mg/l). Ο αισθητήρας αγωγιμότητας προσφέρει μεγάλο δυναμικό εύρος ($10 \cdot 10^{-2}$ S/m με ακρίβεια μέχρι 0,03%) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλά διαφορετικά τα περιβάλλοντα, από γλυκά νερά μέχρι και άλμη.

Οι ιοντικές συγκεντρώσεις μετρούνται με ιοντο-επιλεκτικά ηλεκτρόδια (ion-selective electrodes - ISE). Ένα ιοντο-επιλεκτικό ηλεκτρόδιο επίσης αποτελεί φωρατή που μετατρέπει την δραστηριότητα ενός συγκεκριμένου ιόντος σε ηλεκτρικό δυναμικό, το οποίο μπορεί να μετρηθεί με βολτόμετρο. Η φυσική βάση όλων των ποτενσιομετρικών μετρήσεων αυτού του

είδους είναι η εξίσωση Nernst και οι φυσικές και κατασκευαστικές λεπτομέρειες των ISE μπορούν να μελετηθούν σε πληθώρα τυπικών δημοσιευμάτων (π.χ. Covington, 1979· Morf, 1981 Koryta and Stulik, 1983 Koryta, 1994 Christian, 1994 – για ταχεία αλλά σχεδόν πλήρη πληροφόρηση βλ. Wikipedia, 2006).

Η μονάδα μετρήσεων είναι ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο (ποτενσιομετρικό κύτταρο) που προσαρτάται στο κάτω άκρο του φωρατή και στο οποίο προσαρμόζονται πολλαπλά ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια μετρήσεων συνδέονται με τους ακροδέκτες υψηλής εμπέδησης εισόδου του ποτενσιόμετρου και το ηλεκτρόδιο αναφοράς με τον ακροδέκτη χαμηλής εμπέδησης εισόδου. Η ακρίβεια των ποτενσιομετρικών μετρήσεων είναι $\pm 1\text{mV}$ και η ευαισθησία $0,1\text{ mV}$. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται με το σύστημα Watertool™ γενικά διαθέτουν υψηλό συντελεστή επιλογής, τυπικά της τάξης $10^{-2} - 10^{-5}$ σε σχέση με τα αποκλειόμενα ιόντα.



Εικόνα 1. Αριστερά: Ο φωρατής, με προσαρτημένα ISE κατά την διάρκεια βαθμονόμησης με πρότυπα διαλύματα. Δεξιά: Ο φωρατής εισαγόμενος σε φρεάτιο γεωτρήσεως. Στην παρούσα περίπτωση το σύστημα έχει διαμορφωθεί για μετρήσεις μίας θέσης και μαζί με τον φωρατή αποτελείται από μία καταγραφική μονάδα και ένα Η/Υ (φορητό ή χειρός), για έλεγχο της διαδικασίας μετρήσεων και αποθήκευσης των δεδομένων.

Όλα τα ηλεκτρόδια μετρήσεων, καθώς και το ηλεκτρόδιο αναφοράς μπορούν να αντέξουν σε πιέσεις μέχρι 25 Kg/cm^2 και να καταδυθούν σε βάθη μέχρι 250m , λειτουργώντας σε θερμοκρασίες μέχρι 60°C . Έχουν διαστάσεις $175\text{mm} \times 8\text{mm}$ και ο σχεδιασμός τους επιτρέπει την εύκολη και ταχεία εναλλαγή διαφορετικών ηλεκτροδίων και μετρουμένων παραμέτρων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της έρευνας ή την εξέλιξη της κατάστασης, ενώ επεκτείνει σημαντικά τον κατάλογο των ηλεκτροδίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επιτρέπει επίσης την εφαρμογή ηλεκτροδίων κατάλληλων για ειδικές ή στοχευόμενες υδρογεωλογικές μελέτες. Το ηλεκτρόδιο αναφοράς είναι προστατευμένο μέσα σε ειδική πλήμνη και είναι επίσης αντικαταστάσιμο.

Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους: είτε ως φορητός σταθμός για μετρήσεις σε μία εκάστοτε θέση (Εικόνα 1), είτε ως δίκτυο σταθμών, εφόσον συμπληρωθεί με πομποδέκτες αμφίδρομης τηλεμετρίας (ενσωματωμένο πρωτόκολλο TCP/IP επί τηλεφωνίας GSM). Σε κάθε περίπτωση, το σύστημα υποστηρίζεται από λογισμικό αυτοματοποίησης των μετρήσεων, βαθμονόμησης των ηλεκτροδίων, αυτοδιαγνωστικών ελέγχων και πιστοποίησης, επεξεργασίας και απεικόνισης των δεδομένων (TerraMentor, 2004). Το λογισμικό μπορεί επίσης να προγραμματισθεί για να ειδοποιεί όταν οι συγκεντρώσεις ρυπαντών ξεπερνούν ένα προκαθορισμένο κατώφλι. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν το σύστημα εγκαθίσταται ως δίκτυο σε περιοχές υψηλού κινδύνου, ή κατά την διάρκεια εξελισσομένων κρίσεων.

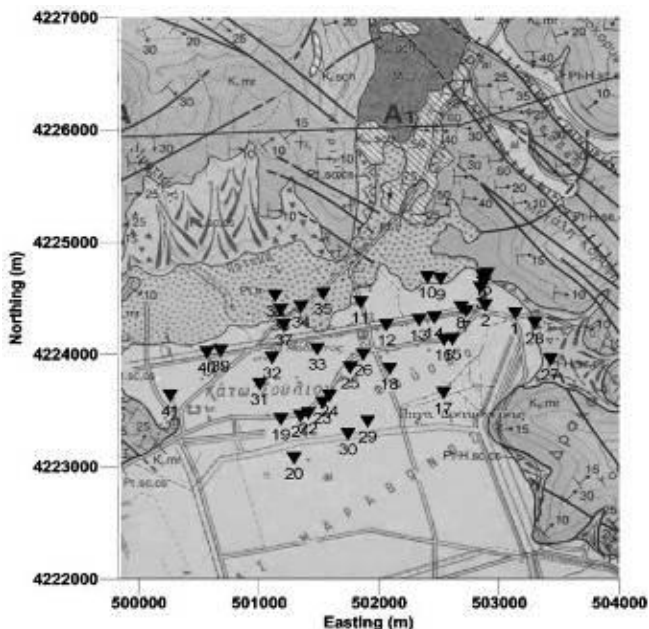
Περαιτέρω πληροφορίες για τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος, επιδόσεις, επισημάνσεις και προφυλάξεις που πρέπει να ληφθούν σε περιπτώσεις ειδικών συνθηκών υπαίθρου μπορούν να αναζητηθούν στο Εγχειρίδιο Χρήσης (Terramentor, 2004), διαθέσιμο μέσω του πρώτου συγγραφέα του παρόντος.

3. Εφαρμογή στην περιοχή Κάτω Σουλίου (Μαραθώνας, ΒΑ Αττική).

Η γεωλογία και γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής Κάτω Σουλίου περιγράφεται σε σημαντικό αριθμό δημοσιεύσεων (π.χ. Boetechtel and Papadeas, 1968· Lozios, 1991, 1993· Margonis *et al.*, 2002· Σενή *et al.*, 2004· Ρανλιουρος *et al.*, 2006). Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας θα παρατεθεί μόνο σύντομη περιγραφή βασικών στοιχείων (βλ. Επίσης Εικόνα 2).

Η περιοχή μελέτης εκτείνεται στην πεδινή περιοχή του Κάτω Σουλίου, η οποία καλύπτεται από Ολοκαινικές αλλουβιακές αποθέσεις πάχους μέχρι 30m, αν και οι βορειότεροι σταθμοί μέτρησης τοποθετούνται σε Πλειστοκαινικά χερσαία ιζήματα (Pt.tr στην Εικόνα 2, με πάχος τουλάχιστον 30m). Τα ιζήματα υπερτίθενται ασύμφωνα επί του τοπικού υποβάθρου αποτελούμενου από Τριαδικά έως Άνω Κρητιδικά μάρμαρα με παρεμβολή σχιστόλιθων του Μέσου Κρητιδικού (σχιστόλιθοι Ραμνούντας, Km.sch στην Εικόνα 2). Τα πρανή των λόφων προς βορρά και ανατολάς της περιοχής μελέτης καλύπτονται από αδιαίρετους κώνους κορημάτων (Pt.sc.cs στην Εικόνα 2), αν και μόνον οι δύο ανατολικότεροι σταθμοί (27 και 28) έχουν εγκατασταθεί σε τέτοιο σχηματισμό.

Αναφορικά με τις υδρογεωλογικές συνθήκες, οι ιζηματογενείς και καρστικοί υδροφορείς



Εικόνα 2. Το δίκτυο σταθμών παρακολούθησης ποιότητας νερού (ανεστραμμένα τρίγωνα) και το γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής μελέτης: al: Αλλουβιακά ιζήματα Pt.sc.cs: Αδιαίρετοι Πλειστοκαινικοί κώνοι κορημάτων Pt.tr: Πλειστοκαινικά χερσαία ιζήματα· M.ms: Μέσο - Άνω Μειοκαινικά λιμναία ιζήματα Ks.mr: Άνωκρητιδικά μάρμαρα· Km.sch: Σχιστόλιθοι Ραμνούντας Kj.mr: Κάτω Κρητιδικά μάρμαρα. Η εικόνα βασίζεται στον τυπικό χάρτη κλίμακας 1:50000 που δημοσιεύει το ΙΓΜΕ.

που αναπτύσσονται κάτω από την πεδιάδα του Κάτω Σουλίου υποφέρουν από έντονη υφαλμύριση. Ο πανταχού υπάρχων φρεάτιος υδροφορέας, ο οποίος αναπτύσσεται στα αλλουβιακά και χερσαία ιζήματα, επίσης υποφέρει από υφαλμύριση και αναμένεται να υποβαθμίζεται περαιτέρω από ρύπανση εξ αιτίας της έντονης αγροτικής δραστηριότητας και άλλων ανθρωπογενών παραγόντων. Η περιοχή διέρχεται περίοδο έντονης ανάπτυξης, ενώ υπάρχει και σημαντική ανησυχία για την περιβαλλοντική επιβάρυνση του παρακείμενου υδροβιότοπου και πευκοδάσους του Σχοινιά.

Η ποιότητα του νερού του φρεατίου υδροφορέα παρακολουθείται σε ένα δίκτυο 41 φρεάτων και γεωτρήσεων (Εικόνα 2).

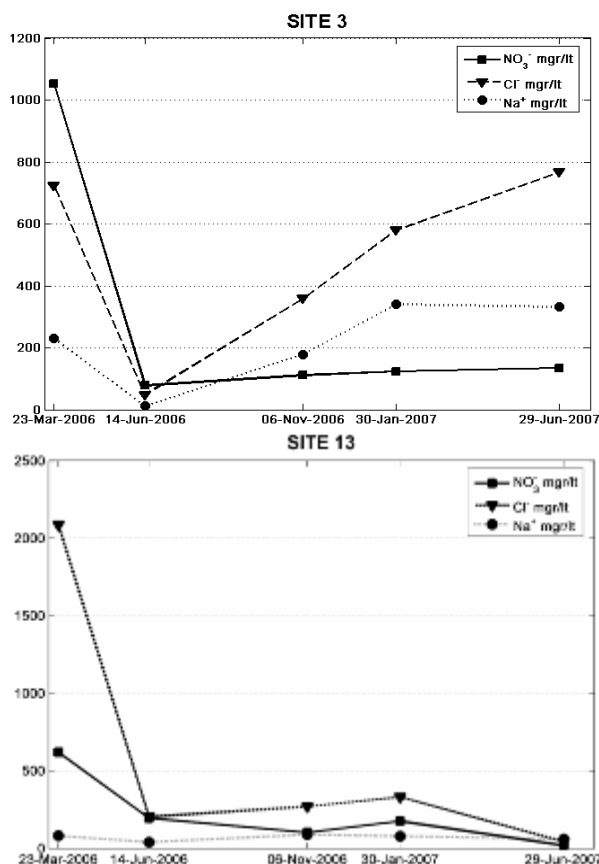
Οι μετρήσεις λαμβάνονται κατά διαστήματα, με το σύστημα διαμορφωμένο για μετρήσεις σε ένα εκάστοτε σταθμό και διενεργούνται από πλήρωμα δύο παρατηρητών σε χρόνο λιγότερο της μίας εργάσιμης ημέρας (ένας παρατηρητής μπορεί επίσης να διεκπεραιώσει την ίδια εργασία αλλά με σχετικά βραδύτερους ρυθμούς). Των εργασιών υπαίθρου *προηγείται* και *έπεται* βαθμονόμηση των ηλεκτροδίων με πρότυπα διαλύματα, προκειμένου να ελεγχθεί η σταθερότητα της απόδοσής τους. Πλέον τούτου, κατά καιρούς λαμβάνονται δείγματα νερού από τυχαία επιλεγόμενες γεωτρήσεις και φρέατα, τα οποία αναλύονται με τις κλασσικές και δοκιμασμένες μεθόδους της αναλυτικής χημείας προκειμένου να ελεγχθεί η πιστότητα των αποτελεσμάτων του αυτοματοποιημένου Watertool™. Παράδειγμα τέτοιων συγκρίσεων παρατίθεται στον Πίνακα 1, στον οποίο καταφαίνεται η σχεδόν απόλυτη συμβατότητα μεταξύ των δύο αναλυτικών μεθόδων.

Πίνακας 1. Σύγκριση συγκεντρώσεων ιόντων από μετρήσεις Watertool™ (WT) και κλασσικές χημικές αναλύσεις (XA). Όλες οι τιμές πλην της αγωγιμότητας (σ) και pH δίδονται σε mg/lit. Μετρήσεις Watertool™ και δειγματοληψία έγινε στις 29/6 και 3/7/2007. Οι χημικές αναλύσεις έγιναν στο υδρογεωχημικό εργαστήριο του παραρτήματος Ξάνθης του Ι.Γ.Μ.Ε.

Θέση	Ημ/νία	σ (S/m), WT	σ (S/m), XA	NO_3^- , WT	NO_3^- , XA
16	29/06/07	0,40	0,40	252	251
20	03/07/07	0,12	0,13	162	144
30	03/07/07	0,81	0,79	286	287
37	29/06/07	0,12	0,14	100	67
Θέση	Ημ/νία	NH_4^+ , WT	NH_4^+ , XA	pH, WT	pH, XA
16	29/06/07	0,45	0,42	7,1	7,1
20	03/07/07	0,19	0,18	7,8	7,8
30	03/07/07	0,26	0,20	6,8	6,8
37	29/06/07	0,73	0,10	7,5	7,3
Θέση	Ημ/νία	Na^+ , WT	Na^+ , XA	Cl^- , WT	Cl^- , XA
16	29/06/07	112	118	984	989
20	03/07/07	268	270	105	117
30	03/07/07	409	410	2552	2585
37	29/06/07	60	56	234	220
Θέση	Ημ/νία	F^- , WT	F^- , XA	Ca^{2+} , WT	Ca^{2+} , XA
16	29/06/07	0,27	0,33	410	409

Πίνακας 1. (συνέχεια)

Θέση	Ημ/νια	σ (S/m), WT	σ (S/m), XA	NO_3^- , WT	NO_3^- , XA
20	03/07/07	0,49	0,42	155	128
30	03/07/07	0,18	0,27	958	957
37	29/06/07	0,02	0,18	237	193



Εικόνα 3. Μεταβολές στην συγκέντρωση NO_3^- , Cl^- και Na^+ στους σταθμούς 3 (πάνω) and 13 (κάτω).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται δεδομένα από πέντε περιόδους μετρήσεων, οι οποίες έλαβαν χώρα κατά την άνοιξη, θέρος και φθινόπωρο 2006, και χειμώνα και θέρος 2007, εστιάζοντας σε παραμέτρους σχετιζόμενες με μεταβολές της υφαλμύρισης (συγκεντρώσεις Na^+ και Cl^-), και ρυπαντών που προέρχονται από αγροτικές δραστηριότητες (NO_3^-).

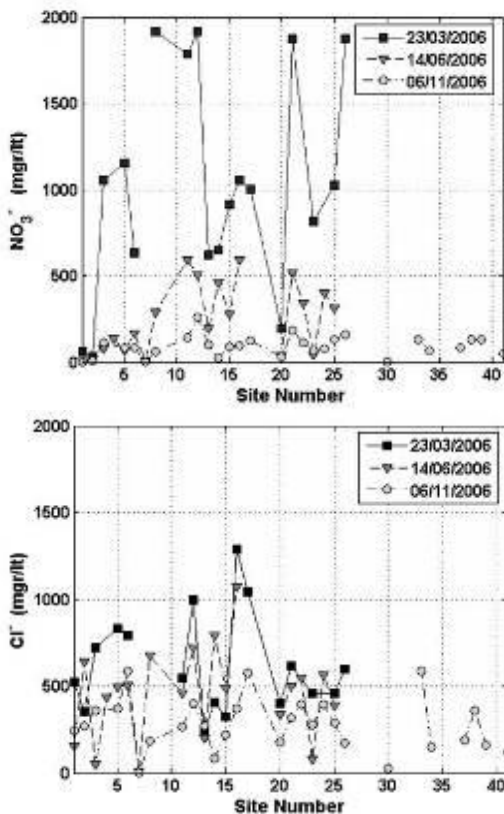
Η Εικόνα 3 εμφανίζει την μεταβολή στην συγκέντρωση ρυπαντών συναρτήσει του χρόνου

στις θέσεις 3 και 13. Σ' αμφοτέρες τις περιπτώσεις, τα επίπεδα NO_3^- εμφανίζουν υπερβολικά υψηλή συγκέντρωση τον Μάρτιο 2006, (11 και 6 φορές υψηλότερη του επιπέδου συναγερμού των 50 mg/lit). Η καταχρηστική εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων κατά τους ευαίσθητους εαρινούς μήνες πιθανόν να εξηγήει αυτή την συμπεριφορά, δεδομένου ότι αμφοτέροι οι σταθμοί 3 και 13 ευρίσκονται σε οικίες στα όρια εντατικά καλλιεργούμενης γης. Η συγκέντρωση νιτρικών ελαττώνεται σε σχετικά σταθερά επίπεδα των 100 – 200 mg/lit για όλη την υπόλοιπη περίοδο μετρήσεων, αλλά και πάλι παραμένει 2-4 φορές μεγαλύτερη του ορίου συναγερμού. Συγκεντρώσεις τέτοιου μεγέθους υποδεικνύουν εκτεταμένη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων καθ' όλη την διάρκεια του έτους, με πιθανό μέγιστο κατά τους εαρινούς μήνες. Δυστυχώς, δεν υπήρξε δυνατότητα επαλήθευσης των υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών κατά τον Μάρτιο 2007, λόγω εξάντλησης του ωφέλιμου χρόνου ζωής των παλαιότερων ISE και καθυστέρησης της νέας παραλαβής μέχρι τον Μάιο.

Οι συγκεντρώσεις χλωριδίου (Cl^-) και νατρίου (Na^+) εμφανίζονται σημαντικές, με εξαίρεση τον Ιούνιο 2006 και Ιούνιο 2007. Οι παρατηρούμενες τιμές είναι γενικά συμβατές με καθεστώς ήπιας υπαλμύρισης του φρεατίου υδροφορέα, γύρω από τις θέσεις 3 και 13, η οποία όμως εμφανίζει σημαντική διακύμανση συναρτήσει του χρόνου. Οι παρατηρούμενες ελάχιστες συγκεντρώσεις (~40–100 mg/lit) είναι δύσκολο να εξηγηθούν με βεβαιότητα. Ορισμένες πιθανόν να οφείλονται σε τοπική εξάρτηση των διεργασιών υπαλμύρισης ή προσωρινή ελάττωση της αλατότητας λόγω προσφάτων αυξημένων βροχοπτώσεων (π.χ. Ιούνιος 2007), αλλά και λόγω δευτερογενών ανθρωπογενών επεμβάσεων. Τέτοια επέμβαση, για παράδειγμα, μπορεί να είναι η διοχέτευση νερού της εταιρείας ύδρευσης στα φρέατα μετά από οικιακή χρήση· με δεδομένο ότι πολλές κατοικίες χρησιμοποιούνται ως εξοχικές, πιθανόν έτσι να εξηγείται η ανώμαλη ελάττωση της αλατότητας κατά τους πρώτους θερινούς μήνες σε ορισμένα σημεία. Φυσικά τέτοιες εξηγήσεις πρέπει να θεωρούνται το πολύ προκαταρκτικές και το πρόβλημα εξακολουθεί να τελεί υπό διερεύνηση. Σε κάθε περίπτωση όμως, είναι σαφείς οι δυσκολίες που εμφανίζονται κατά την ερμηνεία δεδομένων ποιότητας νερού και το βάθος της οφειλόμενης έρευνας προτού δοθούν ικανοποιητικές απαντήσεις.

Η Εικόνα 4 εικονίζει την συγκέντρωση νιτρικών και χλωριδίου σε όλους τους σταθμούς συναρτήσει του χρόνου (2006). Αν και μη άμεσα τεκμαρτό από την Εικόνα 4 μόνο, είναι εύκολο να διαπιστωθεί ότι σε σταθμούς ευρισκόμενους στην γειτονία εντατικών γεωργικών δραστηριοτήτων η συγκέντρωση νιτρικών είναι εξαιρετικά υψηλή κατά την διάρκεια του Μαρτίου (αρκετές φορές άνω του ορίου) και βαίνει ελαττούμενη προς το τέλος του έτους, αν και παραμένει υπεράνω των ανεκτών ορίων. Η παρατηρούμενη σημαντική διαφοροποίηση στην συγκέντρωση νιτρικών μεταξύ σταθμών είναι συνάρτηση της έντασης της παρακείμενης αγροτικής δραστηριότητας και είναι επίσης συστηματική ως συνάρτηση του χρόνου. Η διαφοροποίηση στην συγκέντρωση χλωριδίου είναι επίσης ενδιαφέρουσα. Σε γενικές γραμμές, αναμένεται ότι η φυσική διεργασία υπαλμύρισης θα επιφέρει αύξηση της συγκέντρωσης Cl^- και Na^+ το θέρος και ελάττωση τον χειμώνα. Αυτό όντως παρατηρείται σε αρκετές θέσεις, ειδικότερα αυτές που σχετίζονται με ασθενή παρακείμενη αγροτική δραστηριότητα (βλ. επίσης την Εικόνα 4). Παρ' όλα αυτά υπάρχουν θέσεις όπου η συγκέντρωση χλωριδίου κατά τον Μάρτιο του 2006 είναι σημαντικά υψηλότερη από την υπόλοιπη περίοδο. Οφείλει επίσης να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση χλωριδίου στις θέσεις αυτές συσχετίζεται αρκετά καλά με υψηλή περιεκτικότητα σε νιτρικά. Αυτό πιθανόν σημαίνει ότι στις θέσεις αυτές υπάρχουν διεργασίες παραγωγής χλωριδίου *επιπλέον* της φυσικής υπαλμύρισης, οι οποίες μπορεί να σχετίζονται με αγροτικές και άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Όπως και προηγουμένως, η εξήγηση αυτή είναι προκαταρκτική. Άλλωστε, η λεπτομερής ανάλυση και συζήτηση τέτοιων διεργασιών εκφεύγει του σκοπού της παρούσας και θα δοθεί αλλού.

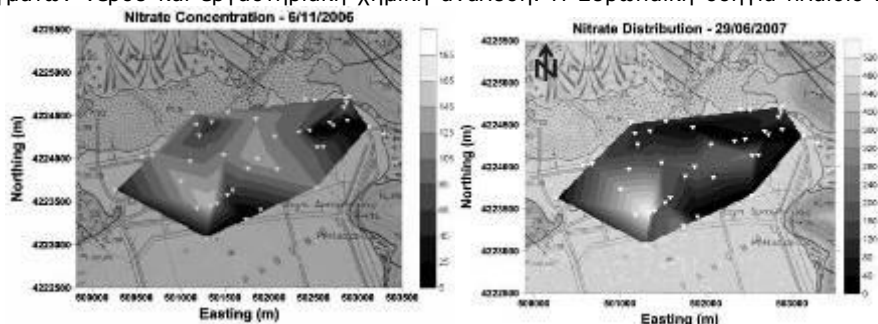
Οι Εικόνες 5 παρουσιάζουν την χωρική κατανομή της συγκέντρωσης νιτρικών κατά την 6^η Νοεμβρίου 2006 (αριστερά) και 29^η Ιουνίου 2007 (δεξιά). Η κατανομή εμφανίζει τα ίδια περίπου γενικά χαρακτηριστικά σ' αμφότερους τους χάρτες: η συγκέντρωση νιτρικών είναι χαμηλή στην βόρεια, ανατολική και νότια περίμετρο της ερευνηθείσας περιοχής, όπου γενικά υπάρχουν οικιστικές ζώνες και δεν καλλιεργούνται εντατικά. Αντιθέτως, η πλέον έντονα καλλιεργούμενη έκταση γης περί το μέσο της περιοχής μελέτης εμφανίζει πολύ υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών. Είναι επίσης σαφής η ύπαρξη δυναμικών μεταβολών. Για παράδειγμα είναι εμφανής η χρονικά και τοπικά εντοπισμένη αγροτική δραστηριότητα στην περιοχή της θέσης 17 (βλ. Εικόνα 5, χάρτη 6/11/2006), και οι σημαντικές αλλαγές στο μέγεθος των συγκεντρώσεων μεταξύ Νοεμβρίου 2006 και Ιουνίου 2007, ιδίως στα ΝΔ της μελετηθείσας περιοχής. Οι Εικόνες 6 παρουσιάζουν την χωρική κατανομή της συγκέντρωσης χλωριδίου κατά την 6^η Νοεμβρίου 2006 (αριστερά) και 29^η Ιουνίου 2007 (δεξιά). Γενικά παρατηρείται σημαντική πλευρική διαφοροποίηση, με υψηλότερες συγκεντρώσεις στα ΒΑ και ΝΑ άκρα της μελετηθείσας περιοχής και δυναμικές μεταβολές συναρτήσει του χρόνου. Η τοπική συμπεριφορά των συγκεντρώσεων χλωριδίου εν μέρει μπορεί να αποδοθεί σε αντίστοιχη τοπική εξάρτηση των διεργασιών υφαλμύρισης και δι' αυτής στην δομή και περατότητα των υποκείμενων ιζηματογενών σχηματισμών και του υποβάθρου. Σε γενικές γραμμές είναι δύσκολο να δοθεί λεπτομερής και εμπεριστατωμένη εξήγηση των παρατηρήσεων με τα υπάρχοντα και μόνο δεδομένα. Σε κάθε περίπτωση, αμφότερες οι Εικόνες 5 και 6 καταδεικνύουν πόσο περίπλοκες μπορεί να είναι οι κατανομές ρυπαντών στους φρεάτιους υδροφορείς και συνεπώς το πλέγμα των περιφερειακών και τοπικών διεργασιών που τις δημιουργούν.



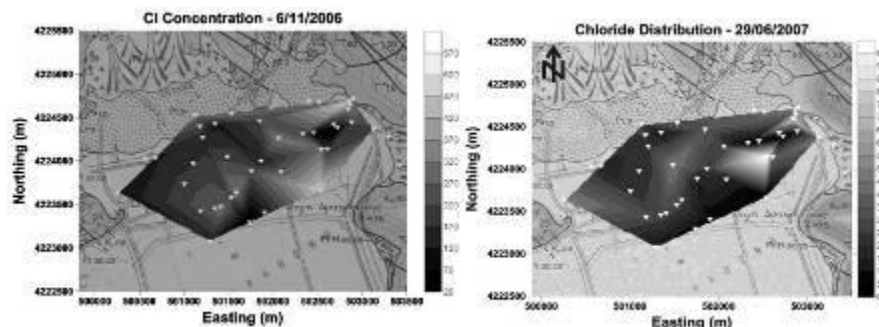
Εικόνα 4. Η μεταβολή της συγκέντρωσης NO_3^- (πάνω) και Cl^- (κάτω) σε όλους τους σταθμούς συναρτήσει του χρόνου για το έτος 2006.

4. Συζήτηση και Συμπεράσματα

Η ποιότητα των επιφανειακών και υπογείων υδατικών πόρων παρακολουθείται συστηματικά σε πολλές προηγμένες χώρες, αν και κυρίως κατά τρόπο συμβατικό: με λήψη δειγμάτων νερού και εργαστηριακή χημική ανάλυση. Η Ευρωπαϊκή οδηγία-πλαίσιο 2000/60



Εικόνα 5. Πλευρική κατανομή των συγκεντρώσεων NO_3^- την 6η Νοεμβρίου 2006 (αριστερά) και 29η Ιουνίου 2007 (δεξιά).



Εικόνα 6. Πλευρική κατανομή των συγκεντρώσεων Cl^- (δεξιά) την 6η Νοεμβρίου 2006 (αριστερά) και 29η Ιουνίου 2007 (δεξιά).

περί υδατικών πόρων καθιστά υποχρεωτική την παρακολούθηση της ποιότητας νερού και σύντομα όλες οι χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα πρέπει να ικανοποιήσουν αυστηρές προδιαγραφές εκτέλεσης τέτοιων εργασιών. Η ανάπτυξη προηγμένων φυσικοχημικών αισθητήρων (ISE), σε συνδυασμό με τις σύγχρονες δυνατότητες συλλογής, ανάλυσης και μετάδοσης δεδομένων μέσω τηλεπικοινωνιακών δικτύων, διευκολύνουν την παρακολούθηση της ποιότητας νερού *in-situ* και *on-line*. Επιπλέον, οι μετρήσεις που γίνονται με ISE έχουν το πλεονέκτημα να είναι κατά πολύ ταχύτερες από τις συμβατικές χημικές αναλύσεις, ενώ προσφέρουν ασύγκριτα μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας. Έτσι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρακολούθηση της ποιότητας νερού για πιστοποιημένες εφαρμογές (π.χ. προδιαγραφές πόσιμου νερού), για μη πιστοποιημένες εφαρμογές (π.χ. χαρτογράφηση της ρύπανσης υπογείων υδάτων), καθώς και για ακαδημαϊκή έρευνα (π.χ. εδαφολογικές μελέτες). Σε όλα τα ανωτέρω ερευνητικά πεδία, οι μετρήσεις με ISE προσφέρουν σημαντική προστιθέμενη αξία σε σύγκριση με τις εργαστηριακές χημικές αναλύσεις: για συχνές ή συνεχείς (αδιάκοπες) εφαρμογές είναι **σημαντικά φθηνότερες** και επιτρέπουν την συλλογή πολύ μεγάλου όγκου δεδομένων σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, παρέχοντας έτσι μία πολύ πιο περιεκτική και αναλυτική βάση δεδομένων επί της κατανομής, συμπεριφοράς και εξέλιξης της κατάστασης ρυπαντικών παραγόντων. Αυτό επιτρέπει την ταχεία απόσβεση του κεφαλαίου που επενδύθηκε στην εγκατάσταση του δικτύου παρακολούθησης και σημαντική

εξοικονόμηση πόρων απ' εκεί και πέρα.

Η μελέτη που λαμβάνει χώρα στην περιοχή Κάτω Σουλίου παρέχει μεγάλη ποσότητα in-situ δεδομένων για την ποιότητα και ποσότητα του υπογείου νερού, πράγμα που επιτρέπει την συσχέτιση χρονικών (εποχιακών) και χωρικών μεταβολών των μετρούμενων παραμέτρων με περιφερειακές και/ ή τοπικές φυσικές διεργασίες (υφαλμύριση) και ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (αγροτική δραστηριότητα και χρήση γης). Με τον τρόπο αυτό κατέδειξε την χρησιμότητα και αποτελεσματικότητα της περιγραφείσας τεχνολογίας ISE στην διερεύνηση και αντιμετώπιση σύγχρονων περιβαλλοντικών κινδύνων που είναι αρκετά κοινοί στις παράκτιες περιοχές της νότιας Ευρώπης και ανά τον κόσμο γενικότερα.

Ευχαριστίες

Το έργο συλλογής και ανάλυσης δεδομένων ποιότητας νερού στην περιοχή Κάτω Σουλίου συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και Εθνικούς Πόρους (ΕΠΕΑΕΚ II) ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ.

Βιβλιογραφία

Λόζιος, Σ., 1993. *Τεκτονική ανάλυση των μεταμορφωμένων σχηματισμών της Νοτιοανατολικής Αττικής*. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 299.

Μαργώνη, Σ., Συρίδης, Γ., Ψιλοβίκος, Α., Τρώντισος, Γ., Σταϊνχάουερ, Γ., Βουβαλίδης, Κ. και Μουζούρη, Γ., 2002. *Η εξέλιξη του φυσικού περιβάλλοντος στην περιοχή του Σχοινιά Μαραθώνα από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα*, Πρακτικά, 6^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, 159-165.

Σενή, Α., Καψιμάλης, Β., και Παυλόπουλος, Κ., 2004. Προσδιορισμός των πρόσφατων μεταβολών στην παράκτια πεδιάδα του Μαραθώνα Αττικής, με χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, Πρακτικά, 7ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο (κείμενο διαθέσιμο μέσω της δικτυακής διεύθυνσης <http://www.ath.aegean.gr/srcosmos>).

Boetechtel, J. and Papadeas, G., 1968. Tectonic aerial interpretation in the Mediterranean region exemplified by the metamorphic series at eastern Greece, near Marathon. *Photogrammetria*, 26, 201-210.

Christian, G.D., 1994. *Analytical chemistry*, Wiley.

Clesceri, L.S., Greenberg, A.E. and Trussel, R. Rhodes (eds), 1989. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, Published by the Am. Publ. Health Assoc., Am. Water Works Assoc. and Water Pollution Control Fed.

Covington, A. K., (ed.) 1979. *Ion Selective Electrode Methodology*. Volumes 1 & 2, CRC Press. Boca Raton.

Koryta, J. and Stulik, K., 1983. *ISEs*, 2. edition, Cambridge University Press.

Koryta, J., 1994. *Principles of Electrochemistry*, Wiley.

Lozios, S., 1991. Microtectonic observations in the metamorphic system of the Varnavas – Ramnounta area, NE Attica, *Bull. Geol. Soc. Greece*, 25(1), 439-453 (in Greek).

Morf, W.E., 1981. *The Principles of ISEs and of Membrane Transport*, Elsevier.

Pavlopoulos, K., Karkanias, P., Triantaphyllou, M., Karymbalis, E., Tsourou, Th., and Palyvos, N., 2006. Paleoenvironmental Evolution of the Coastal Plain of Marathon, Greece, during the Late Holocene: Depositional Environment, Climate, and Sea Level Changes, *Journal of Coastal Research*, 22 (2), 424-438.

TerraMentor E.E.I.G, 2004. Information and measuring system for hydrological/hydrogeological investigations, Technical Description and Users Guide, Athens.

Wikipedia, 2006. Ion selective electrode. Retrieved 05:57, November 30, 2006, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ion_selective_electrode&oldid=90339686

Wilson A.L. and Hunt D.T.E., 1986. The Chemical Analysis of water: general principles and techniques, 2nd ed., The Royal Society of Chemistry, London.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΑΘΗΝΑΙΩΝ

Τόγια Α.^{1,2}, Καραϊσκού Κ.³, Αμπελιώτης Κ.³, Χαριτοπούλου Ρ.², Λαζαρίδη Α.¹

¹Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας

²Αναπτυξιακή Εταιρεία Δήμου Αθηναίων

³Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας & Οικολογίας

Περίληψη

Ένα τεχνο-οικονομικό μοντέλο προσομοίωσης αναπτύχθηκε ως εργαλείο λήψης αποφάσεων, για να διερευνηθεί τις επιδόσεις ανακύκλωσης και ανάκτησης που επιτυγχάνονται από τα διάφορα σχήματα διαλογής στη πηγή που εφαρμόζονται σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Το μοντέλο αναπτύσσοντας διαφορετικά σενάρια, συγκρίνει τα επιτεύγματα – επιδόσεις των συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων που υφίστανται ή σχεδιάζονται να εφαρμοστούν με τους ποσοτικούς στόχους που υιοθετούνται από τις πολιτικές διαχείρισης απορριμμάτων. Η καινοτομία του μοντέλου επικεντρώνεται στη λεπτομερή ανάλυση και περιγραφή του υποσυστήματος διαλογής στη πηγή και συλλογής των ανακυκλώσιμων υλικών. Αυτό αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για το σχεδιασμό και την αξιολόγηση της απόδοσης της εφαρμογής του συστήματος σε πλήρη κλίμακα. Το μοντέλο εφαρμόζεται σε τοπικό επίπεδο, χρησιμοποιώντας ως περίπτωση μελέτης τα τρία πιλοτικά προγράμματα ανακύκλωσης που αναπτύχθηκαν στο Δήμο Αθηναίων. Τα αποτελέσματα του μοντέλου υποδεικνύουν ότι η εφαρμογή των πιλοτικών προγραμμάτων σε πλήρη κλίμακα πιθανόν δεν θα επαρκέσει για την επίτευξη των στόχων ανακύκλωσης του Δήμου, και έτσι προτείνονται συμπληρωματικές ενέργειες.

MODEL DEVELOPMENT AS A DECISION SUPPORT TOOL FOR ALTERNATIVE PACKAGING WASTE MANAGEMENT SYSTEMS: APPLICATION IN THE MUNICIPALITY OF ATHENS

Togia A.^{1,2}, Karaiskou K.³, Abeliotis K.³, Haritopoulou R.², Lazaridi K.¹

¹Harokopio University, Department of Geography

²Municipality of Athens Development Agency

³Harokopio University, Department of Home Economics and Ecology

Abstract

A techno-economical simulation is developed as a decision support tool in order to investigate recycling and recovery performances achieved by different source separation schemes at a local, regional and national level. The model compares the achievements-performance of existing or planned waste management systems under different scenarios with the quantitative targets adopted by waste management policies. The novelty of the model lies in the detailed analysis and description of the source separation and collection sub-system for recyclables. This provides a useful tool for planning and evaluating the efficiency of full-scale system implementation, as well as solid waste management policies. The application of the model at a local level is presented, using as a case study the three different pilot recycling schemes developed in the Municipality of Athens. Results indicate that full-scale implementation of these pilot schemes may not be able to deliver the recycling targets of the Municipality; therefore, additional actions are proposed.

Λέξεις κλειδιά: απόβλητα συσκευασίας, ανακύκλωση, μοντέλο, διαλογή στη πηγή, Δήμος Αθηναίων.

Key words: packaging waste, recycling, model, source separation, Municipality of Athens.

1. Εισαγωγή

Ο Νόμος 2939/2001 για τις συσκευασίες και την εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και άλλων προϊόντων, που εναρμονίζει την εθνική νομοθεσία στη σχετική οδηγία 94/62/EK της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθορίζει τους ποσοτικούς στόχους της ελληνικής πολιτικής για τη διαχείριση των απορριμμάτων συσκευασίας, θεσπίζει μέτρα για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών, καθώς και την υποχρεωτική οργάνωση συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης από τους υπόχρεους διαχειριστές και τη συμμετοχή τους σε αυτά.

Στο πλαίσιο αυτό, οι ΟΤΑ καλούνται να αναπτύξουν ευρέως προγράμματα για τη διαλογή στη πηγή (ΔσΠ) και ανακύκλωση των απορριμμάτων συσκευασίας, με χρονικό ορίζοντα υλοποίησης περιορισμένο και χωρίς να διαθέτουν την απαιτούμενη εμπειρία, δεδομένου ότι η Ελλάδα, σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες παρουσιάζει μεγάλη υστέρηση σε θέματα ανακύκλωσης. Με σκοπό την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, το σχεδιασμό των νέων τεχνικών λύσεων, προγραμμάτων και σχημάτων διαλογής στη πηγή και ανακύκλωσης καθώς και των διαπραγματεύσεων μεταξύ ΟΤΑ και εμπλεκόμενων φορέων (εγκεκριμένα συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης), η ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ιδιαίτερα πολύτιμο εργαλείο.

Ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η εφαρμογή ενός συστήματος ΔσΠ και ανακύκλωσης σε μια περιοχή, κοινότητα, δήμο είναι ένα ιδιαίτερα δύσκολο εγχείρημα, τα αποτελέσματα του οποίου δεν είναι άμεσα ορατά (Tucker, 2003). Ο σχεδιασμός ενός προγράμματος ΔσΠ και ανακύκλωσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή προϋποθέτει καταρχήν τη γνώση τόσο των ποιοτικών όσο και ποσοτικών χαρακτηριστικών των Αστικών Στερεών Αποβλήτων που παράγονται. Με βάση τα στοιχεία αυτά, προσδιορίζονται οι στόχοι του προγράμματος και των κριτηρίων αξιολόγησης των επιδόσεών του, με αναφορά σε συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα. Επιλέγονται τα υλικά-στόχοι, αυτά δηλαδή που θα διαχωριστούν από το ρεύμα των σύμμεικτων απορριμμάτων, η αποκομιδή των οποίων θα πραγματοποιηθεί από το σχήμα συλλογής ανακυκλώσιμων και τα οποία θα οδηγηθούν προς ανάκτηση. Εκτιμώνται οι αγορές για τα ανακτώμενα υλικά καθώς και τα έσοδα που θα προκύψουν από την πώλησή τους. Εκτιμώνται οι ποσότητες των ανακυκλώσιμων υλικών που θα ανακτηθούν με βάση το ποσοστό συμμετοχής των κατοίκων στο πρόγραμμα, η εκστρατεία ευαισθητοποίησης που θα το υποστηρίξει και το σχήμα διαχωρισμού και συλλογής που θα επιλεγεί (ERRA, 1998; Togia, 2003).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, τα μοντέλα επιτρέπουν την αξιολόγηση πιθανών εναλλακτικών προτάσεων ανάπτυξης του συστήματος, δύνανται να μελετήσουν μια πληθώρα σχημάτων και τεχνικών λύσεων και να εκτιμήσουν τις προβλεπόμενες επιδόσεις (για παράδειγμα ποσοστά ανάκτησης, ποσοστά εκτροπής, κόστος κλπ) αυτών, καθώς επίσης, να εξετάσουν τη συνολική απόδοση του συστήματος, σε πλήρη κλίμακα εφαρμογής, συγκριτικά με τους στόχους που το κάθε πρόγραμμα καλείται να επιτύχει.

2. Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Συστημάτων ΔσΠ και ανακύκλωσης

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την επιτυχία και τη βιωσιμότητα ενός συστήματος ΔσΠ και ανακύκλωσης είναι πολλές. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής, γεωγραφικά, κοινωνικό-οικονομικά, χωροταξικά και πολεοδομικά είναι κάποιες από αυτές. Επίσης, η ευαισθητοποίηση και περιβαλλοντική συμπεριφορά των πολιτών παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο, δεδομένου ότι επηρεάζουν άμεσα την συμμετοχή τους ή μη στο πρόγραμμα (Everett & Peirce, 1993; Hornik et al., 1995; Knussen et al., 2004).

Παράλληλα, η συμμετοχή των πολιτών επηρεάζεται και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά

του προγράμματος ΔσΠ που εφαρμόζεται. Πιο συγκεκριμένα, ένα πρόγραμμα ΔσΠ που τα μέσα προσωρινής αποθήκευσης των ανακυκλώσιμων υλικών βρίσκονται κοντά στα σημεία παραγωγής των προς ανάκτηση αποβλήτων (πρόγραμμα πόρτα-πόρτα) παρουσιάζει σχετικά θετικά αποτελέσματα, λόγω του ότι ο πολίτης δεν χρειάζεται να διανύσει μεγάλη απόσταση και να καταβάλλει ιδιαίτερη προσπάθεια για να συμμετάσχει σ' αυτό. Αντίθετα, ένα πρόγραμμα που το δίκτυο συγκέντρωσης - αποθήκευσης των προς ανάκτηση υλικών εγκαθίσταται σε κεντρικά σημεία, δεν μπορεί να αναμένει ανάλογα αποτελέσματα. Στη τελευταία περίπτωση, κατά κύριο τακτική συμμετοχή εμφανίζουν οι έντονα ευαισθητοποιημένοι πολίτες, εκτός και εάν υπάρχει κάποιο είδος κίνητρου (Gonzalez-Torre and Adenso-Diaz, 2005; Williams & Taylor, 2004).

Επιπλέον, ο αριθμός των ρευμάτων στα οποία πρέπει να διαχωριστούν τα απορρίμματα επηρεάζει τη συμμετοχή των πολιτών στο πρόγραμμα ανακύκλωσης και κατ' επέκταση τις ανακτώμενες ποσότητες των υλικών-στόχων και την καθαρότητά τους. Στις μεγάλες πόλεις με πυκνή, κάθετη δόμηση και πιο συγκεκριμένα στα σύγχρονα νοικοκυριά, λόγω έλλειψης τις περισσότερες φορές χώρου αλλά και χρόνου, ο διαχωρισμός των παραγόμενων απορριμμάτων που προορίζονται προς ανάκτηση σε δυο, τρία ή και περισσότερα ρεύματα δυσχεραίνει τη προσπάθεια. Αντίθετα, ο διαχωρισμός των ανακυκλώσιμων σ'ένα ρεύμα αναμένεται πιο εφικτός (Togia, 2003).

Μεταβάλλοντας άλλοτε τον αριθμό των ρευμάτων και τα υλικά-στόχους (ρεύμα ανά υλικό ή ανάμεικτα ρεύματα 2, 3, 4 ή και περισσότερων υλικών) αλλά και τη μέθοδο συλλογής τους (πόρτα-πόρτα, κεντρικά σημεία), οι συνδυασμοί που προκύπτουν αναφορικά με τα σχήματα ΔσΠ που μπορούν να εφαρμοστούν είναι πολλοί και οι αποδόσεις του συστήματος διαφορετικές.

3. Περιγραφή του Μοντέλου

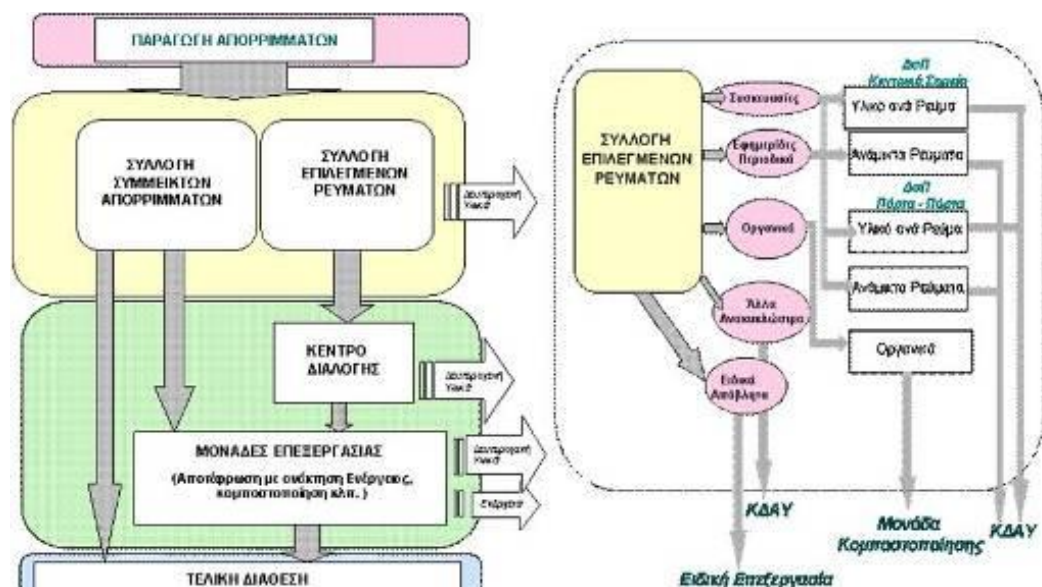
Στη παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα τεχνο-οικονομικό μοντέλο προσομοίωσης που αναπτύχθηκε για να διερευνήσει τις επιδόσεις (ποσοστά) ανακύκλωσης και ανάκτησης που επιτυγχάνονται από τα διάφορα σχήματα - προγράμματα ΔσΠ που μπορούν να εφαρμοστούν σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Σκοπός της παρούσας προσέγγισης είναι να συγκρίνει τις αποδόσεις των υφιστάμενων ή προβλεπόμενων συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης σε σχέση με τους ποσοτικούς στόχους που έχουν καθορίσει οι πολιτικές και στρατηγικές εναλλακτικής διαχείρισης, και στη συνέχεια να αναλύσει και να αξιολογήσει τις πολιτικές αυτές και να προτείνει σενάρια σύγκλισης. Το μοντέλο αναπτύχθηκε σε ένα φιλικό για το χρήστη περιβάλλον. Η αρχική του έκδοση αναπτύχθηκε σε πρόγραμμα EXCEL (Τόγια, 2003), γεγονός που επιτρέπει υψηλό βαθμό διαφάνειας στους σύνθετους υπολογισμούς της φυσικής και οικονομικής ροής του συστήματος. Με σκοπό την τυποποίηση και αυτοματοποίηση των εισερχομένων στοιχείων, αλλά και την επιτάχυνση της διαδικασίας επεξεργασίας και υπολογισμού πολλών διαφορετικών σεναρίων παράλληλα, αναπτύχθηκε μια δεύτερη έκδοση του μοντέλου, στην οποία μεταγράφηκαν οι κωδικοί και οι υπολογισμοί των λογιστικών φύλλων σε πρόγραμμα MATLAB (Καραϊσκού,2006).

3.1 Η δομή του μοντέλου

Το προτεινόμενο μοντέλο απεικονίζει όλες τις βασικές διαδικασίες και δραστηριότητες που χαρακτηρίζουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων (Tchobanoglous et al., 1993) από την παραγωγή ως την τελική διάθεση, συμπεριλαμβανοντας ρουτίνες (υπο-μοντέλα) για καθένα από αυτές (παραγωγή, ΔσΠ, συλλογή, επεξεργασία - τεχνικές και τεχνολογίες επεξεργασίας όπως κομποστοποίηση, αποτέφρωση με ανάκτηση ενέργειας, τελική διάθεση σε ΧΥΤΑ, κ.λπ.), γεγονός που επιτρέπει τη μοντελοποίηση και εξέταση ενός μεγάλου αριθμού διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων, με συνδυασμό των διάφορων διαδικασιών και δραστηριοτήτων που συνθέτουν το σύστημα που μελετάται. Παράλληλα, κάθε βασική διαδικασία / δραστηριότητα του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων μπορεί να απομονωθεί και να λειτουργήσει ως αυτόνομο μοντέλο, με

εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα απορριμμάτων, στα οποία αντιστοιχούν δαπάνες ή/και έσοδα (οικονομική ροή συστήματος). Η οικονομική αυτή ροή αποτυπώνεται με τη μορφή κόστους, φόρων, επιδοτήσεων, άλλων χρηματοδοτικών μηχανισμών και εσόδων από την πώληση ανακτώμενων υλικών και ενέργειας. Με βάση τις παραπάνω δυνατότητες, ο χρήστης του μοντέλου μπορεί να εργαστεί είτε σε λεπτομερές επίπεδο, αυτό της κάθε δραστηριότητας/υπο-μοντέλου, είτε σε υψηλότερο και πιο ολοκληρωμένο επίπεδο, συνδυάζοντας τις διάφορες διαδικασίες μεταξύ τους.

Όταν οι επιμέρους ρουτίνες (υπο-μοντέλα) χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα, επιτυγχάνεται η ανάλυση και διερεύνηση των επιπτώσεων που δύνανται να προκαλέσει μια οργανωτική ή τεχνολογική μεταβολή στη διαδικασία ή δραστηριότητα που μελετάται. Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω υπο-μοντέλων απεικονίζει ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων, όπου μπορεί να εξετασθεί μία πληθώρα προσομοιώσεων.



Σχήμα 1. Σχηματική Παρουσίαση (α) της δομής του μοντέλου και (β) της ρουτίνας συλλογής.

Τα στοιχεία/δεδομένα εισόδου (inputs) του μοντέλου έχουν ομαδοποιηθεί σε τρεις κατηγορίες : i) τις τοπικές παραμέτρους (local parameters), που απεικονίζουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε τοπικού συστήματος (παραγωγή per capita, πληθυσμός που εξυπηρετείται από ένα σύστημα ΔσΠ, κόστος που προκύπτει από τα διάφορα σχήματα συλλογής που εφαρμόζονται κ.λπ.), ii) τις γενικές παραμέτρους (general parameters), που απεικονίζουν τα κοινά χαρακτηριστικά των διαφόρων τοπικών συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων (φυσικό-χημικά χαρακτηριστικά των διαφόρων ρευμάτων απορριμμάτων, αποδόσεις μιας μονάδας απόεξεργασίας ή κομποστοποίησης σε σχέση με τα υλικά ή την ενέργεια που ανακτάται, κόστος που συνεπάγονται οι διαφορετικές μέθοδοι επεξεργασίας, επιβάρυνση από την επιβολή φόρου στις ποσότητες απορριμμάτων που οδηγούνται για αποτέφρωση ή τελική διάθεση κλπ), iii) τις μεταβλητές προσομοίωσης (simulation variables), που αφορούν στις παραμέτρους εκείνες (πιο συγκεκριμένα φυσικής ροής ή/και οργανωτικής δομής) στις οποίες μπορούμε να προβούμε σε αλλαγές ώστε οι φυσικές αποδόσεις του συστήματος να συγκλίνουν με τους (ποσοτικούς) στόχους που αυτό καλείται να επιτύχει. Τα αποτελέσματα ή στοιχεία εξόδου (outputs) αφορούν σε σύνολο υλικών ή/και ενέργειας,

εκτιμήσεις κόστους και άλλες σχετικές πληροφορίες.

Ο καθορισμός των βασικών δεδομένων εισόδου στο μοντέλο προαπαιτεί την πραγματοποίηση πρωτογενών ερευνών και μελετών καθώς και εκτιμήσεων σχετικά με δημογραφικές παραμέτρους, παραγωγή και σύσταση απορριμμάτων, κόστη και επιδόσεις των μεθόδων συλλογής και επεξεργασίας κ.λπ. Το παρόν μοντέλο δεν ενσωματώνει κάποια ρουτίνα πρόβλεψης των παραγόμενων απορριμμάτων, η οποία μπορεί να αναπτυχθεί ανεξάρτητα για πολλαπλά τοπικά και χρονικά σενάρια, εάν απαιτηθεί. Συνεπώς, η μελλοντική εξέλιξη των δημογραφικών και μακροοικονομικών παραμέτρων στο μοντέλο εισάγεται εξωγενώς.

3.2 Απεικόνιση Συστήματος: Από τοπικό σε εθνικό επίπεδο

Υιοθετώντας μια προσέγγιση που βασίζεται σε «συστήματα-τύπους», που καθένα από αυτά αφορά στη συσπείρωση (απεικόνιση) μιας ομάδας τοπικών συστημάτων που εμφανίζουν τα ίδια χαρακτηριστικά από άποψη τεχνικών χαρακτηριστικών, φυσικών αποδόσεων και οργανωτικής δομής, το μοντέλο δύναται να απεικονίζει και να διερευνά διαφορετικά σενάρια διαχείρισης απορριμμάτων σε εθνικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων μιας χώρας P (SN^P) μπορεί να περιγραφεί (αποτυπωθεί) ως συνδυασμός ενός αριθμού διαφορετικών τοπικών συστημάτων "συστήματα - τύποι" (ST), όπως δίνεται στην εξίσωση 1.

$$SN^P = \{ST_j\} \quad (1)$$

Όπου $j=1,2,\dots,m$ ο αριθμός των "συστημάτων - τύπων" που αντιπροσωπεύουν το εθνικό σύστημα.

3.3 Καινοτομία και Εφαρμογές

Η καινοτομία του μοντέλου που αναπτύχθηκε, συγκριτικά με τις άλλες διαθέσιμες προσεγγίσεις, επικεντρώνεται στην λεπτομερή ανάλυση και περιγραφή του υποσυστήματος της συλλογής και πιο συγκεκριμένα, στη ΔσΠ και συλλογή επιλεγμένων ρευμάτων, κυρίως ανακυκλώσιμων. Αν και πολλά μοντέλα αναφέρονται στη ΔσΠ και ανακύκλωση, αυτά περιορίζονται στο υπολογισμό των αποτελεσμάτων αυτών των διαδικασιών, όπως για παράδειγμα στον υπολογισμό του ποσοστού ανάκτησης που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος του εξεταζόμενου συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων. Γενικότερα, αυτές οι προσεγγίσεις δεν εξετάζουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των διαφόρων σχημάτων και προγραμμάτων ΔσΠ, συλλογής και ανάκτησης που εφαρμόζονται.

Σε αντίθεση με τα περισσότερα μοντέλα που ασχολούνται, περιγράφουν και μοντελοποιούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων (παραγωγή - συλλογή - επεξεργασία-τελική διάθεση - βλέπε τα μοντέλα των Baetz & Neebe, Huhtala, MIMES/Waste, MWS) (Baetz & Neebe, 1994; Hultala, 1997; Sundberg, 1998) το μοντέλο που αναπτύχθηκε προτείνει μια πολύ αναλυτική παρουσίαση και μοντελοποίηση του συστήματος της ΔσΠ, συλλογής ανακυκλώσιμων και ανάκτησης υλικών. Αυτό επιτρέπει να εξετασθούν οι επιπτώσεις διαφορετικών σχημάτων διαλογής στη πηγή (καθορισμός υλικών-στόχων, αριθμός ρευμάτων, υλικό ανά ρεύμα, ανάμικτα ρεύματα) και τρόπων διαλογής στη πηγή και συλλογής (πόρτα-πόρτα, κάδοι σε κεντρικά σημεία) στις ποσότητες των ανακτώμενων υλικών, ως συνάρτηση : α) του πληθυσμού που συμμετέχει και εξυπηρετείται από τα προγράμματα που εφαρμόζονται; β) τις επιδόσεις *per capita* που επιτυγχάνονται; γ) το κόστος που συνεπάγεται η εφαρμογή των παραπάνω προγραμμάτων. Οι φυσικές επιδόσεις του συνόλου των σχημάτων / προγραμμάτων που εξετάζονται από το μοντέλο συγκρίνονται πάντα με τους στόχους που το πρόγραμμα καλείται να επιτύχει, λαμβάνοντας υπόψη τις σχετικές πολιτικές που υιοθετούνται.

Το μοντέλο που παρουσιάζεται στη παρούσα εργασία έχει ήδη εφαρμοστεί με επιτυχία, σε

εθνικό επίπεδο, με σκοπό να εξεταστεί τα συστήματα διαχείρισης οικιακών απορριμμάτων που εφαρμόζονται σε τρεις ευρωπαϊκές χώρες (Γαλλία, Δανία, Ελλάδα) και να αναδείξει πως οι πολιτικές που βασίζονται σε νέους χρηματοδοτικούς μηχανισμούς (εθελοντικές συμφωνίες – voluntary agreements) δύνανται να καταλήξουν σε επιδόσεις ανάκτησης που υπολείπονται σημαντικά από τους ποσοτικούς στόχους που καλούνται να επιτύχουν.

4. Περίπτωση Μελέτης: Δήμος Αθηναίων

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζεται η εφαρμογή του παραπάνω μοντέλου σε τοπικό επίπεδο, χρησιμοποιώντας ως περίπτωση μελέτης τα τρία επιμέρους πιλοτικά προγράμματα ΔσΠ και ανακύκλωσης που έλαβαν χώρα στο Δήμο Αθηναίων (Τόγια *et al*, 2006). Για λόγους εμπιστευτικότητας τα οικονομικά στοιχεία του προγράμματος δεν είναι διαθέσιμα στη παρούσα φάση. Βασίζόμενοι στα αποτελέσματα των πιλοτικών αυτών προγραμμάτων ανακύκλωσης, το παραπάνω μοντέλο εφαρμόστηκε με σκοπό να εξετάσει τις επιδόσεις από την επέκταση και σε ευρεία κλίμακα εφαρμογή των τεχνικών λύσεων και σχημάτων που προτάθηκαν και μελετήθηκαν στο πλαίσιο των πιλοτικών προγραμμάτων, σε σύγκριση πάντα με τους ποσοτικούς στόχους που έχει καθορίσει ο Δήμος. Στην περίπτωση που οι ανακτώμενες ποσότητες δεν ανταποκρίνονται στους στόχους που έχουν τεθεί, εξετάζονται και αναπτύσσονται πολλαπλά σενάρια σύγκλισης.

4.1 Περιοχή μελέτης, περιγραφή σχημάτων ΔσΠ και ανακύκλωσης

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η ανάπτυξη ενός επιτυχούς προγράμματος ΔσΠ και ανακύκλωσης, ειδικά σε μια μεγάλη, αστική και πυκνοδομημένη περιοχή, αποτελεί πρόκληση ακόμη και σε χώρες με πολύ μεγαλύτερη εμπειρία και διαθέσιμα στοιχεία από την Ελλάδα (Everret & Pierce, 1993). Η έλλειψη στοιχείων για προγράμματα ανακύκλωσης στην Ελλάδα υποχρεώνει τους αρμόδιους φορείς σε μια προσεκτική και σταδιακή προσέγγιση που θα βασιστεί στην απόκτηση εμπειρίας μέσα από την ανάπτυξη πιλοτικών προγραμμάτων.

Ο Δήμος Αθηναίων έχει μια έκταση 37.953.568 m² και 959.434 km οδικό δίκτυο, πραγματικό πληθυσμό που ανέρχεται στους 754.000 κατοίκους (ΕΣΥΕ, στοιχεία 2001), ενώ μαζί με τους αλλοδαπούς και τους επισκέπτες που εισέρχονται καθημερινά στην πόλη, ο ημερήσιος πληθυσμός υπερβαίνει τα 2.240.000 άτομα, στοιχεία που την καθιστούν μια από τις πιο πυκνοδομημένες πόλεις στην Ευρώπη, με έντονα κυκλοφοριακά προβλήματα, αρκετούς στενούς δρόμους και πεζοδρόμια, και άλλες χωροταξικές και πολεοδομικές ιδιαιτερότητες. Τα χαρακτηριστικά αυτά δημιουργούν ιδιαίτερες δυσκολίες και περιορισμούς στην εγκατάσταση και εφαρμογή ενός συστήματος ΔσΠ, ο σχεδιασμός του οποίου αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα. Παράλληλα, η ελλιπής ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών σε περιβαλλοντικά θέματα γενικότερα και διαχείρισης ανακυκλώσιμων υλικών ειδικότερα, δυσχεραίνουν το εν λόγω εγχείρημα.

Ο Δήμος Αθηναίων, λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα πρόγραμμα ΔσΠ και ανακύκλωσης, ακόμα και εάν θεωρείται ιδιαίτερα επιτυχημένο στην περιοχή εφαρμογής του δεν μπορεί αυτοούσιο να αποτελέσει πρότυπο για άλλες περιοχές, έθεσε σε εφαρμογή ένα σχετικά καινοτόμο για τα ελληνικά δεδομένα, πρόγραμμα δράσης με σκοπό την απόκτηση εμπειρίας μέσα από την εφαρμογή πιλοτικής δοκιμής διαφόρων συστημάτων ΔσΠ και ανακύκλωσης αποβλήτων συσκευασίας και έντυπου χαρτιού σε διαφορετικές περιοχές του, με σκοπό την παρακολούθηση, και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από αυτή, με τελικό στόχο την ευρεία εφαρμογή ενός βιώσιμου και λειτουργικού συστήματος ανακύκλωσης στην Αθήνα.

Η πρωτοβουλία εφαρμογής των πιλοτικών προγραμμάτων ανακύκλωσης βασίστηκε σε μια συγκεκριμένη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ώστε να διασφαλιστεί, όσο είναι δυνατόν, η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που θα προέκυπταν από αυτή την εφαρμογή. Η μεθοδολογία αυτή βασίστηκε στην εφαρμογή πιλοτικών προγραμμάτων και περιελάμβανε τα ακόλουθα στάδια: α) προσδιορισμό και οριοθέτηση αντιπροσωπευτικών περιοχών εφαρμογής των πιλοτικών προγραμμάτων, β) σχεδιασμό και αναλυτική περιγραφή των τεχνικών λύσεων που

εφαρμόζονται, γ) ενημέρωση και σφυγμομέτρηση της στάσης των πολιτών για θέματα σχετικά με την ανακύκλωση και δ) δημιουργία βάσης δεδομένων για την παρακολούθηση και αξιολόγηση των προγραμμάτων (ΑΕΔΑ, 2005).

Τα πιλοτικά προγράμματα που εφαρμόστηκαν αφορούν σε τρία διαφορετικά σχήματα ΔσΠ και ανακύκλωσης απορριμμάτων συσκευασίας και έντυπου χαρτιού όπως περιγράφεται στο Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Πιλοτικά προγράμματα ΔσΠ και ανακύκλωσης που εφαρμόστηκαν στο Δήμο Αθηναίων.

Σχήματα ΔσΠ και Ανακύκλωσης	Υλικά Στόχοι	Αριθμός ρευμάτων διαλογής/συλλογής	Υποδομές	Τρόπος Συλλογής
Πρόγραμμα Α	Απόβλητα Συσκευασίας και έντυπο χαρτί	1 ρεύμα	Κλασικός μπλέ κάδος 1.1 m ³	Πόρτα – Πόρτα
Πρόγραμμα Β		3 ρεύματα	Μοντέρνοι μεταλλικοί κάδοι	σε κεντρικές οδούς
Πρόγραμμα Γ		5 ρεύματα	Ανταποδοτικά κέντρα	σε κεντρικά σημεία (πλατείες)

4.2 Στόχοι, Σενάρια και Αποτελέσματα εφαρμογής

Με την προοπτική εφαρμογής της ανακύκλωσης στην Αθήνα σε πλήρη κλίμακα, οι στόχοι που υιοθετεί ο Δήμος Αθηναίων αφορούν στους στόχους που προβλέπει ο Νόμος 2939/2001 για τα απορρίμματα συσκευασίας, παρόλο που τόσο η νομοθεσία όσο και οι όποιες Εθνικές Στρατηγικές Διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα δεν προβλέπουν μέχρι σήμερα κατανομή των εθνικών στόχων ανακύκλωσης ανά Δήμο ή άλλη γεωγραφική ενότητα. Πιο συγκεκριμένα, ο Δήμος Αθηναίων αποσκοπεί (όταν φυσικά το σύστημα ανακύκλωσης που θα αναπτύχθει θα βρίσκεται σε συνθήκες πλήρους εφαρμογής) να επιτυγχάνει ένα ποσοστό ανακύκλωσης που θα κυμαίνεται μεταξύ 25-45% των παραγόμενων απορριμμάτων συσκευασίας (στόχος που προβλέπονταν να επιτευχθεί σε εθνικό επίπεδο μέχρι το τέλος του έτους 2005). Αναφορικά με το στόχο ανακύκλωσης για το έντυπο χαρτί, αυτός ανέρχεται στο 30% των παραγόμενων ποσοτήτων.

Ο Δήμος Αθηναίων παράγει καθημερινά 1.300 τόνους οικιακών και εμπορικών αποβλήτων (στοιχεία 2004), στους οποίους εκτιμάται ότι περίπου 553 και 211 τόνοι αφορούν στα απόβλητα συσκευασίας και έντυπου χαρτιού αντίστοιχα. Στο Σχήμα 2 δίνονται οι στόχοι ανακύκλωσης που θέτει ο Δήμος σε τόνους ανά ημέρα, ακόμα και εάν το χρονοδιάγραμμα επίτευξής τους διαφοροποιείται. Εξαιτίας της έλλειψης στοιχείων σχετικά με την ποιοτική ανάλυση των παραγόμενων απορριμμάτων στην Αθήνα, τα στοιχεία εισόδου που χρησιμοποιούνται για την σχετική εφαρμογή του μοντέλου αφορούν σε εκτιμήσεις του ΥΠΕΧΩΔΕ που πραγματοποιήθηκαν για τη σύνθεση των απορριμμάτων μεγάλων αστικών κέντρων στην Ελλάδα, σε συσχέτιση με τη σύνθεση των παραγόμενων αποβλήτων συσκευασίας.

Τα πρωτογενή στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από την εφαρμογή των πιλοτικών προγραμμάτων στο Δήμο Αθηναίων αποτέλεσαν στοιχεία εισόδου στην αποτύπωση της «Υφιστάμενης Κατάστασης» (ΥΚ), καθώς και την αφετηρία των υποθέσεων στα άλλα δυο σενάρια που εξετάστηκαν. Το «Σενάριο 1» (Σ1) παρουσιάζει την εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα του προγράμματος, όπως αυτή σχεδιάστηκε από τον Δήμο σε συνεργασία με τους εμπλεκόμενους φορείς. Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του «Σεναρίου 1», υποδεικνύουν ότι η εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα του προγράμματος ΔσΠ και ανακύκλωσης όπως αυτή δίνεται στο Σ1, επιφέρει χαμηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης από εκείνα που στοχεύει ο Δήμος Αθηναίων, επομένως, παρατηρείται,

απόκλιση από τους στόχους, αναπτύσσεται το «Σενάριο 2» (Σ2) (Πίνακας 2, Σχήμα 2). Στο «Σενάριο 2», προτείνονται συμπληρωματικές, διορθωτικές ενέργειες (Πρόγραμμα Δ), με σκοπό να επιτευχθεί σύγκλιση μεταξύ των εκτιμώμενων αποδόσεων του προγράμματος και των ποσοτικών στόχων που θέτει ο Δήμος (Πίνακας 2).

Η επιτυχία του κάθε σχήματος ΔσΠ και ανακύκλωσης βασίζεται στην επίτευξη ενός υψηλού ποσοστού συμμετοχής και παράλληλα ενός χαμηλού ποσοστού προσμίξεων ανεπιθύμητων υλικών και η οποία επιτυχία είναι σαφώς αποτέλεσμα της σωστής επικοινωνίας απλών οδηγίων και συμβουλών, καλά σχεδιασμένου υποστηρικτικού υλικού και τακτικής ενημέρωσης σχετικά με την πορεία του προγράμματος (Waite, 1995). Λαμβάνοντας υπόψη τα τελευταία, στο Σ1 και Σ2, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες υποθέσεις σχετικά με τις επιδόσεις του προγράμματος: μια ευρεία εκστρατεία ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης των πολιτών έλαβε χώρα με επιτυχία, με αποτέλεσμα το ποσοστό συμμετοχής να αυξηθεί (περίπου 30%) και να μειωθούν τα ανεπιθύμητα υλικά στα συλλεγόμενα ρεύματα (Πίνακας 2, Σ1, Σ2).

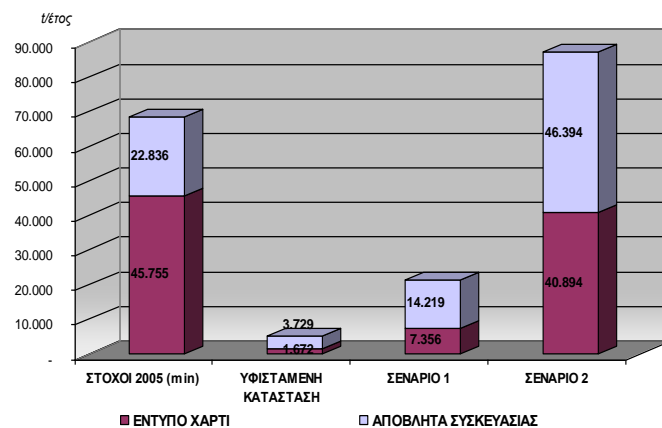
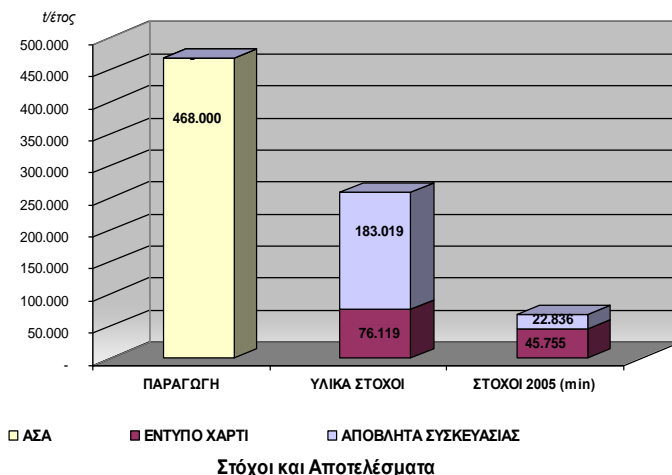
Πίνακας 2. Υποθέσεις και Σενάρια.

Προγράμματα	Επιδόσεις	Υφιστάμενη Κατάσταση (ΥΚ)	Σενάριο 1 (Σ1)	Σενάριο 2 (Σ2)
Πρόγραμμα Α	Αριθμός Κάδων	850	1.700	3.000
	Συλλεγόμενες Ποσότητες (kg/μήνα/κάδο)	486,54	632,51	632,51
	Ανακτώμενες Ποσότητες (kg/μήνα/κάδο)	273,49	411,13	442,76
	Ποσοστό Ανάκτησης (%)	56,21%	65%	70%
Πρόγραμμα Β	Αριθμός Κάδων	98	2.000	2.000
	Συλλεγόμενες Ποσότητες (kg/μήνα/κάδο)	220,31	286,40	286,40
	Ανακτώμενες Ποσότητες (kg/μήνα/κάδο)	193,61	257,76	257,76
	Ποσοστό Ανάκτησης (%)	87,88%	90%	90%
Πρόγραμμα Γ	Αριθμός Κέντρων	23	100	100
	Συλλεγόμενες Ποσότητες (kg/μήνα/κέντρο)	8.636,72	11.227,74	11.227,74
	Ανακτώμενες Ποσότητες (kg/μήνα/κέντρο)	8.636,72	11.227,74	11.227,74
	Ποσοστό Ανάκτησης (%)	100%	100%	100%
Πρόγραμμα Δ	Εμπορικά Απόβλητα Συσκευασίας και Έντυπο Χαρτί Ποσοστό Ανάκτησης (%)			40%

Η σύγκριση των ποσοστών ανακύκλωσης που προέκυψαν στο Σ1 με τους στόχους που έχουν τεθεί οδηγεί σε απόκλιση των δυο τιμών (Σχήμα 2). Στη περίπτωση αυτή, εξετάζεται το Σ2 με σκοπό να προταθούν και να αξιολογηθούν και νέες εναλλακτικές ενέργειες. Πιο συγκεκριμένα, προτάθηκε ένα συμπληρωματικό πρόγραμμα (Πρόγραμμα Δ), επικεντρωμένο στην ανάκτηση των εμπορικών απορριμμάτων συσκευασίας και του έντυπου χαρτιού, δεδομένου ότι ο Δήμος εφαρμόζει ήδη ειδικά πρόγραμμα συλλογής (αποκομιδής) απορριμμάτων στις εμπορικές περιοχές, καθώς επίσης και τη επέκταση του δικτύου των ειδικών κάδων (καμπάνες) για το έντυπο χαρτί σε Οργανισμούς, Υπηρεσίες και κυρίως σχολεία. Επιπλέον, υιοθετήθηκε η προτεινόμενη πυκνότητα δικτύου για τους μπλέ κάδους (1 κάδος ανά 250 κατοίκους) (ERRA, 1998).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου, η εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα των

Παραγωγή, Υλικά-Στόχοι και Στόχοι Ανακύκλωσης



Σχήμα 2. Η παραγωγή, τα υλικά στόχοι, οι στόχοι που θέτει ο Δήμος Αθηναίων και τα αποτελέσματα προσομοίωσης

πilotικών προγραμμάτων ΔσΠ και ανακύκλωσης (Σ1) δεν δύναται από μόνη της να προσεγγίσει τους στόχους ανακύκλωσης που θέτει ο Δήμος, ακόμα και αν οι επιδόσεις των προγραμμάτων βελτιωθούν. Τα ποσοστά ανάκτησης που προκύπτουν 7,85% για τα απορρίμματα συσκευασίας και 9,7% για το έντυπο χαρτί αντίστοιχα, βρίσκονται πολύ μακριά από τους επιθυμητούς στόχους. Όπως εξετάζεται στο Σ2, η εισαγωγή ενός συμπληρωματικού προγράμματος ΔσΠ και ανακύκλωσης των εμπορικών απορριμμάτων συσκευασίας κρίνεται απαραίτητο για να επιτευχθεί σύγκλιση μεταξύ επιδόσεων προγράμματος και στόχων (Σχήμα 2).

5. Συμπεράσματα

Στις μέρες μας, η ανάπτυξη εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης απορριμμάτων και ειδικά της ανακύκλωσης, αποτελεί προτεραιότητα των εθνικών, περιφερειακών και τοπικών στρατηγικών. Η εισαγωγή, ενός επιτυχημένου σχήματος ΔσΠ και ανακύκλωσης αποτελεί δύσκολο εγχείρημα αναφορικά τόσο με τη φυσική, την τεχνική, όσο και την οικονομική

βιωσιμότητα του συστήματος. Πολλά μοντέλα αναπτύχθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες στο τομέα της διαχείρισης των αστικών στερών αποβλήτων, με σκοπό να υποστηρίξουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Το μοντέλο που παρουσιάστηκε στη παρούσα εργασία επικεντρώνεται στο υποσύστημα της ΔσΠ και συλλογής, που επιτρέπει να εξετάσει διάφορα σχήματα και τρόπους ανακύκλωσης και να αξιολογήσει τις επιδόσεις τους, συγκριτικά με τους στόχους που καλούνται να επιτύχουν. Η εφαρμογή του μοντέλου στο Δήμο Αθηναίων δύναται να παρέχει σημαντική πληροφόρηση σχετικά με τη πορεία του συστήματος που έχει λάβει χώρα, τις επιδόσεις που επιτυγχάνονται με την πλήρη εφαρμογή των πιλοτικών προγραμμάτων, όπως επίσης και περαιτέρω συμπληρωματικές ενέργειες.

Ευχαριστίες

Η εργασία συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και εθνικούς Πόρους (ΕΠΕΑΕΚ ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ).

Βιβλιογραφία

ΑΕΔΑ, 2005: Σχεδιασμός, Έρευνα, Παρακολούθηση και Αξιολόγηση των Πιλοτικών Προγραμμάτων Διαλογής στη πηγή και Ανακύκλωσης στο Δήμο Αθηναίων, Μελέτη για το Δήμο Αθηναίων, Αθήνα.

Καραϊσκού Κ., 2006: Εφαρμογή Συστημάτων Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων στη Διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων, Διπλωματική Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Καλλιθέα.

Τόγια Α., Χαριτοπούλου Ρ., Λαζαρίδη Κ., 2006: Μεθοδολογία Ανάπτυξης Συστημάτων Ανακύκλωσης Αποβλήτων Συσσκευασίας σε Επίπεδο Τοπικής Αυτοδιοίκησης: Εφαρμογή στο Δήμο Αθηναίων, 2ο Διεθνές Συνέδριο ΕΕΔΣΑ, Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2006,

Baetz B.W., Neebe A.W., 1994: A Planning Model for the Development of Waste Material Recycling Programmes. *Journal of the Operational Research Society*, 45(12), 1374-1384.

ERRA, 1998: Reference Codification Program: Demonstrating and evaluating the Technical, Financial and Environmental feasibility of comprehensive multi-material household waste recovery recycling, Brussels.

Everett J.W. and Peirce J.J., 1993: Curbside Recycling In The U.S.A.: Convenience And Mandatory Participation. *Waste Management & Research* 11 (1), 49-61.

Gonzalez-Torre P.L., and Adenso-Diaz, B., 2005: Influence of distance on the motivation and frequency of household recycling. *Waste Management* 25 (1), 15-23.

Hornik J., Cherian J., Madansky M., and Narayana C., 1995: Determinants of recycling behavior: A synthesis of research results. *Journal of Socio-Economics* 24 (1), 105-127.

Huhtala, A.: 1997. A Post-consumer Waste Management Model for Determining Optimal Levels of Recycling and Landfilling. *Environmental and Resource Economics*, 10 (3), 301-314.

Knussen C., Yule F., MacKenzie J., and Wells M., 2004: An analysis of intentions to recycle household waste: The roles of past behavior, perceived habit, and perceived lack of facilities. *Journal of Environmental Psychology* 24 (2), 237-246.

Sundberg J., 1998: MIMES/Waste - A systems Engineering Model for the Strategic Planning of Regional Waste Management Systems, Proceedings of the International Workshop on Systems Engineering Models for Waste Management, February 25-26, Göteborg, Sweden.

Tchobanoglous G., Theissen H., Vigil S., 1993: Integrated Solid Waste Management. Engineering, Principles and Management Issues, McGraw-Hill Inc., Singapore.

Togia A., 2003 : *Efficacité et Incitations dans les régimes de régulation reposant sur des mécanismes de financement. Une modélisation physique et financière de la gestion des déchets ménagers en France, Danemark et Grèce*, Thèse de Doctorat, EHESS, Paris, France.

Tucker P., 2003: Government Targets versus Public Participation: Bridging the Gap. International Symposium "Advances in Waste Management and Recycling", Dundee, Scotland. 2003.

Waite R., 1995: Household Waste Recycling, Earthscan Publications Ltd, London.

Williams I.D. and Taylor C., 2004: Maximising household waste recycling at civic amenity sites in Lancashire, England. *Waste Management* 24, 861-874.

Η ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΠΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΟΣ ΤΑΞΙΝΟΜΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ

Χαλκιάς Χ., Παπαδόπουλος Α.
Χαροκόπειο Παν/μιο, τμήμα Γεωγραφίας

Περίληψη

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η αξιοποίηση των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ) σε συνδυασμό με τη διαδικασία της αναλυτικής ιεράρχησης για την ταξινόμηση αγροτικών περιοχών με βάση το δυναμικό το οποίο συγκεντρώνουν για να λειτουργήσουν ως φορείς υποδοχής του φαινομένου αντιστροφής της αστικοποίησης. Για την ανάπτυξη σχήματος ταξινόμησης ακολουθήθηκε το μοντέλο αναλυτικής ιεράρχησης το οποίο περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια: α) καθορισμού των κριτηρίων, β) δημιουργίας συγκρίσιμων κριτηρίων, γ) καθορισμού των συντελεστών βαρύτητας για κάθε κριτήριο (προσδιορισμός «σχετικής σημασίας» για ζεύγη κριτηρίων, δ) δημιουργίας των σταθμισμένων χαρτών κριτηρίων, και ε) παραγωγή των τελικών θεματικών χαρτών αποτίμησης της υπαίθρου. Τα στάδια αυτά υλοποιήθηκαν με την αξιοποίηση κοινωνικοοικονομικών και χωρικών δεδομένων για την περιφέρεια Πελοποννήσου και με την αξιοποίηση των αναλυτικών δυνατοτήτων του ΓΠΣ που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε για την εφαρμογή. Η όλη διαδικασία συνιστά ανάλογο ενός Χωρικού Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων και μπορεί να υλοποιηθεί με μικρές τροποποιήσεις σε πλήθος περιβαλλοντικών εφαρμογών.

COMBINING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AND ANALYTICAL HIERARCHY PROCESSING FOR THE CONSTRUCTION OF A CLASSIFICATORY SCHEMA OF RURAL AREAS. CASE STUDY: PELOPONNESE.

Chalkias C., Papadopoulos A.
Harokopio University, Department of Geography

Abstract

In this paper we study the potential use of GIS technology and Analytical Hierarchy Process for erosional processes for the evaluation of rural region. The main aim is to evaluate the potential of rural regions to support the phenomenon of reverse urbanization. The general concept is the development of a classification scheme for rural regions based on the following stages of Analytic Hierarchy Process (AHP): a) determination of related criteria b) secondary processing of the criteria, c) weighing using pairwise comparison, d) weighted criteria production and e) final rural evaluation mapping. The proposed method implements statistical and spatial data and has been applied for Peloponnisos area (Southern Greece). This approach is corresponding to a spatial decision support system for many environmental applications in rural regions under development.

Λέξεις κλειδιά: ΓΠΣ, αναλυτική ιεράρχηση, αντιστροφή αστικοποίησης, Πελοπόννησος

Key words: GIS, Analytical Hierarchy Process, counterurbanization, classification of rural areas, Peloponnesse

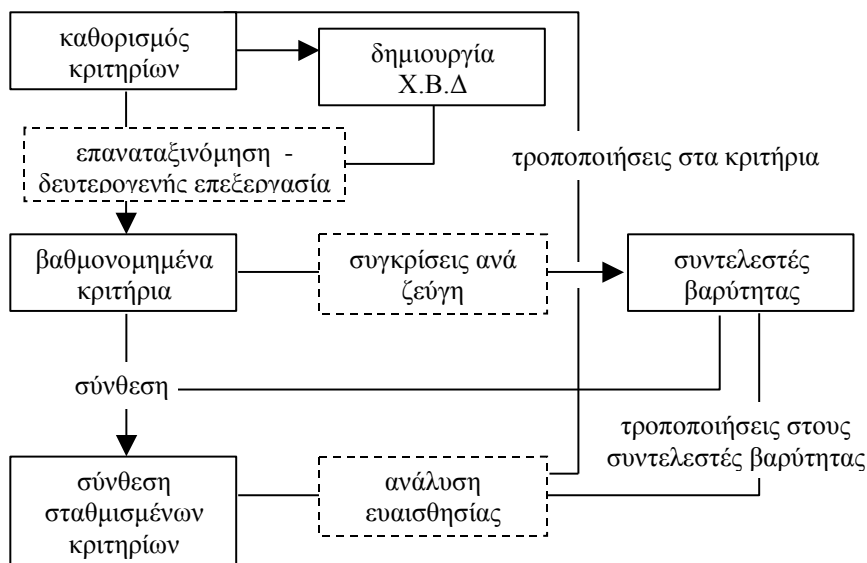
1. Εισαγωγή

Ένα από τα κύρια στοιχεία στη διαδικασία υποστήριξης λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με το περιβάλλον είναι η συνδυαστική αξιοποίηση διάφορων πληροφοριών από ποικίλες πηγές. (Walker & Young 1997, Tiwany et al 1999). Ειδικά στις μέρες μας, η ραγδαία ανάπτυξη της Πληροφορικής, οι διαθέσιμοι τεράστιοι αποθηκευτικοί χώροι ψηφιακών δεδομένων, οι εξελίξεις στις διαστημικές τεχνολογίες συλλογής δεδομένων (π.χ. δορυφορική Τηλεπισκόπηση) και στις τεχνολογίες εντοπισμού θέσης (π.χ. χρήση και διάδοση συστήματος GPS, σύστημα GALILEO) συντελούν στην παραγωγή όλο και μεγαλύτερου όγκου περιβαλλοντικών πληροφοριών. Σε αυτή την προσπάθεια κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζει και η τεχνολογία των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ) η οποία αποτελεί το σύνολο υλικού, λογισμικού, και διαδικασιών το οποίο με την κατάλληλη χρήση υποστηρίζει τη συλλογή, διαχείριση, ανάλυση, μοντελοποίηση και παρουσίαση δεδομένων με χωρική αναφορά. Αποτελεί επίσης σημαντικό εργαλείο υποστήριξης λήψεων αποφάσεων στην επίλυση ποικίλων προβλημάτων διαχείρισης και σχεδιασμού (Χαλκιάς 2006, Malczewski 1999). Όπως φαίνεται και στον ορισμό αυτό ίσως η πιο ενδιαφέρουσα και χρήσιμη δυνατότητα των ΓΠΣ είναι αυτή της συνδυαστικής αξιοποίησης μεγάλου όγκου διαθέσιμων πληροφοριών μέσα σε ένα περιβάλλον στο οποίο καταγράφονται και αναλύονται τα γεωγραφικά δεδομένα. Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι η χρήση των ΓΠΣ σε περιβαλλοντικά προβλήματα και μελέτες είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική. Στο στοιχείο αυτό συνηγορεί και ο ολοένα και αυξανόμενος αριθμός εργασιών περιβαλλοντικού χαρακτήρα οι οποίες αξιοποιούν την τεχνολογία των ΓΠΣ. Οι εργασίες αυτές ασχολούνται κυρίως με την κατασκευή χωρικών βάσεων δεδομένων περιβαλλοντικού χαρακτήρα και με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων χωρικής ανάλυσης των ΓΠΣ σε περιβαλλοντικά προβλήματα. Συχνά, στη δεύτερη αυτή κατηγορία εφαρμόζονται με μεθόδους που χρησιμοποιούνται οι δυνατότητες υπέρθεσης θεματικών επιπέδων γεωγραφικών πληροφοριών με τη λογική της Boolean άλγεβρας. Οι πρακτικές αυτές αν και είναι σχετικά αποτελεσματικές σε απλές εφαρμογές χωροθετήσεων, δεν δίδουν επαρκείς λύσεις σε πιο σύνθετα προβλήματα, λόγω των περιορισμών που επιτάσσει ο αυστηρά αιτιοκρατικός τους χαρακτήρας (Malczewski 2004). Στις μέρες μας, η άρση αυτών των περιορισμών επιτυγχάνεται με μεθόδους που χρησιμοποιούν συνδυαστικά τα ΓΠΣ με πολυκριτηριακές μεθόδους στήριξης αποφάσεων. (Figuera et al 2005). Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μεθοδολογία η οποία αξιοποιεί τη διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process, AHP) σε συνδυασμό με τις δυνατότητες ενός ΓΠΣ. Η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (Saaty 1980, Eastman κ.ά. 1995) είναι μια μέθοδος η οποία αποτελείται από τρία στάδια: α) την αποσύνθεση του προβλήματος σε ένα ιεραρχικό σχήμα το οποίο καταγράφει τις κύριες συστατικές του β) τη συγκριτική αξιολόγηση κάθε συστατικής – κριτηρίου και γ) τη σύνθεση των αξιολογημένων κριτηρίων με σκοπό την παραγωγή των τελικών παραγομένων. Τα στάδια αυτά υλοποιήθηκαν με την αξιοποίηση των στατιστικών δεδομένων και με την αξιοποίηση των αναλυτικών δυνατοτήτων του ΓΠΣ που κατασκευάστηκε. Η όλη διαδικασία είναι ανάλογη ενός Χωρικού Συστήματος Στήριξης Αποφάσεων (Spatial Decision Support System) (Keenan 1995). Η μέθοδος που παρουσιάζεται εδώ εφαρμόζεται στην κατασκευή ενός σχήματος ταξινόμησης της ελληνικής υπαίθρου που έχει στόχο την αποτύπωση και αποτίμηση του βαθμού «ευνοϊκότητας» των αγροτικών περιοχών, εξετάζοντας μια σειρά από σύνθετα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά που σχεδιάστηκαν για να αντανακλούν τα χωρικά χαρακτηριστικά, τις δημογραφικές τάσεις, τις ευκαιρίες απασχόλησης και τις δυνατότητες για τη γεωργική ανάπτυξη της υπαίθρου χρησιμοποιούνται συνδυαστικά προκειμένου να βοηθήσουν στην αποτίμηση της ευνοϊκότητας της ελληνικής υπαίθρου (Παπαδόπουλος κ.ά. 2006). Η όλη αυτή διαδικασία συνδέεται με τη θεώρηση του φαινομένου της «αντιστροφής της αστικοποίησης» (counterurbanization) που έχει ως προέκτασή την παρατηρούμενη «επιστροφή στην ύπαιθρο» (Mitchell, 2004), η οποία αν και έκδηλη πλέον βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο (Ευστράτογλου κ.ά. 2004).

Το υπόλοιπο τμήμα της εργασίας οργανώνεται ως εξής: μετά από μια σύντομη εισαγωγή ακολουθεί η λεπτομερής θεωρητική περιγραφή της μεθόδου και στη συνέχεια παρουσιάζεται η εφαρμογή της για την περιοχική μελέτη (Πελοπόννησος), ο έλεγχός της και η παράθεση των

παραγόμενων. Τέλος ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων και η γενικότερη αξιολόγηση της μεθόδου.

2. Μεθοδολογία



Σχ. 1. Φάσεις προτεινόμενης μεθοδολογίας δημιουργίας ταξινομικού σχήματος

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην εργασία αυτή, χρησιμοποιεί μια τροποποιημένη εκδοχή της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα σε εφαρμογές οι οποίες απαιτούν τη χρήση μιας πολυκριτηριακής μεθόδου απόφασης. Η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης συγκεντρώνει μια σειρά από επιθυμητά χαρακτηριστικά: είναι μια δομημένη ποσοτική διαδικασία με σχετικά απλή τεκμηρίωση και εύκολη επαναληψιμότητα, έχει πολυκριτηριακό χαρακτήρα, παρέχει τη δυνατότητα αξιοποίησης τόσο ποιοτικών όσο και ποσοτικών δεδομένων, είναι κατάλληλη για ομαδική λήψη αποφάσεων χρησιμοποιώντας υποκειμενικές αξιολογήσεις ειδικών και τέλος υποστηρίζεται με ιδιαίτερα εκτεταμένη βιβλιογραφία (μεταξύ άλλων Dox 1996, Blunden et al 1998, Papadopoulos et al 1999). Η διαδικασία αυτή έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε μελέτες όπου το κύριο ζητούμενο είναι η κατάταξη των εναλλακτικών επιλογών απόφασης. Το βασικό σκεπτικό στηρίζεται στον καθορισμό του βαθμού κατά τον οποίο κάθε επιλογή ικανοποιεί τα προκαθορισμένα κριτήρια. Η μέθοδος παρά την ευρύτατη χρήση της σε συστήματα στήριξης αποφάσεων δεν έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα σε εφαρμογές με χωρική διάσταση. Στην τροποποίηση που προτείνεται εδώ, η τελική αξιολόγηση δεν καταλήγει σε ένα δίτιμο αποτέλεσμα ("κατάλληλη" - "ακατάλληλη" περιοχή). Αντίθετα κάθε εναλλακτική επιλογή (που αντιστοιχεί σε μια χωρική μονάδα αναφοράς) αξιολογείται σε τακτική κλίμακα έτσι ώστε το αποτέλεσμα να δίνει μια γενική αποτίμηση του χώρου. Ο τελικός στόχος είναι ο προσδιορισμός των περιοχών που συγκεντρώνουν συνδυασμούς κριτηρίων που ταυτίζονται με ταυτώμενο βαθμό με τα κριτήρια απόφασης. Σε αυτή τη διαδικασία τα κύρια στάδια είναι: α) *Επιλογή των κριτηρίων* όπου προσδιορίζονται τα κριτήρια τα οποία χρησιμοποιούνται για να αξιολογηθεί μια εναλλακτική επιλογή. Σε πολλές περιπτώσεις για τη δόμηση των κριτηρίων αυτών χρησιμοποιούνται άλλα λεπτομερέστερα. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι η οργάνωση των κριτηρίων σε κλάσεις θα πρέπει να ακολουθεί κάποια ενιαία κλίμακα ταξινόμησης. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε τακτική κλίμακα με τιμές από 1 - 5. β) *Προσδιορισμός της σχετικής τους σπουδαιότητας* όπου προσδιορίζονται οι συντελεστές

βαρύτητας κάθε κριτήριο, στοιχείο απαραίτητο για τη δημιουργία των σταθμισμένων κριτηρίων. Η τιμές των συντελεστών αυτών περιορίζονται στο διάστημα (0-1), έτσι ώστε το άθροισμά τους να ισούται με 1 και τέλος γ) *Συνδυασμός σταθμισμένων κριτηρίων μέσα από μια μαθηματική λύση*. Στο τελικό αυτό στάδιο, συνδυάζονται τα σταθμισμένα κριτήρια έτσι ώστε να υπολογιστεί για κάθε εναλλακτική επιλογή μια τελική τιμή η οποία αποδίδει την αξιολόγησή της. Ο συνδυασμός των κριτηρίων γίνεται με μια μαθηματική λύση, ενώ συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος του σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού των κριτηρίων. Τα στάδια αυτά τα οποία φαίνονται και στο σχ.1 αναλύονται παρακάτω.

2.1 Η επιλογή των κριτηρίων

Η διαδικασία λήψης χωρικής αποφάσεων σχετίζεται άμεσα με τον καθορισμό του συγκεκριμένου προβλήματος και την αναγνώριση των παραμέτρων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες για την αποτίμηση του προβλήματος. Ο καθορισμός αυτών των παραμέτρων – κριτηρίων είναι ελεγχόμενος από τη φύση του προβλήματος το οποίο εξετάζεται και συχνά περιλαμβάνει επαναλαμβανόμενες ενέργειες σύνθεσης δύο ή περισσότερων κριτηρίων σε ένα ή αποδόμησης ενός κριτηρίου σε λεπτομερέστερα. Οι τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούνται σε αυτή τη φάση είναι είτε η αξιοποίηση της σχετικής βιβλιογραφία (π.χ. συμμόρφωση με κάποια θεωρία περιγραφής του προβλήματος), είτε η διενέργεια αναλυτικής μελέτης (π.χ. με την υλοποίηση ενός μοντέλου προσομοίωσης) είτε με αξιοποίηση της καταγραφής των απόψεων ειδικών. Για την εφαρμογή της ταξινόμησης της υπαίθρου η οποία παρουσιάζεται εδώ αξιοποιήθηκε η διαθέσιμη βιβλιογραφία, η μακρά ερευνητική εμπειρία των χαρακτηριστικών και των διαδικασιών μετασχηματισμού της ελληνικής υπαίθρου, καθώς επίσης και οι απόψεις ειδικών, που καταγράφηκαν με τη βοήθεια ερωτηματολογίου, για τον καθορισμό τεσσάρων σύνθετων κριτηρίων. Τα κριτήρια αυτά αντανακλούν τα χωρικά χαρακτηριστικά, τις δημογραφικές τάσεις, τις ευκαιρίες απασχόλησης και τις δυνατότητες για τη γεωργική ανάπτυξη της υπαίθρου, ενώ με τη σειρά τους στηρίζονται σε επεξεργασμένους δείκτες που απεικονίζουν επιμέρους χαρακτηριστικά της υπαίθρου. Είναι χαρακτηριστικό ότι κάθε σύνθετο κριτήριο αποτελεί μια θεματική ενότητα η οποία θεωρείται ενιαία ώστε να αποτελέσει ένα συστατικό για την αποτίμηση του βαθμού ευνοϊκότητας των περιοχών της υπαίθρου.

Στο χωρικό κριτήριο συμπεριλήφθησαν πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται τόσο με τα φυσικά χαρακτηριστικά (π.χ. γεωμορφολογικές συνθήκες) όσο και με τις ιδιομορφίες οι οποίες ελέγχονται από τη γεωγραφική οργάνωση της περιοχής (π.χ. ευκολία πρόσβασης σε υπηρεσίες, χρονοαπόσταση από περιοχές αναψυχής – τουρισμού). Η ταξινόμηση αυτών των επιμέρους χαρακτηριστικών υλοποιήθηκε σε ενιαία τακτική κλίμακα, ενώ ο συνδυασμός τους έγινε με την εφαρμογή εμπειρικών κανόνων σύνθεσης. Ένα παράδειγμα τέτοιου κανόνα φαίνεται παρακάτω:

ΑΝ ΚΛΙΣΗ ΕΔΑΦΩΝ = ΜΕΓΑΛΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΠΟΛΕΙΣ = ΜΕΓΑΛΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ = ΜΕΓΑΛΗ, ΤΟΤΕ ΕΥΝΟΙΚΟΤΗΤΑ_ΧΩΡΙΚΗ = ΜΙΚΡΗ

Το δημογραφικό κριτήριο περιλαμβάνει ορισμένα βασικά δημογραφικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής με βάση τη διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία των Απογραφών Πληθυσμού. Ειδικότερα, υπολογίζεται για κάθε δημοτικό διαμέρισμα ο δείκτης γήρανσης και ο δείκτης εξάρτησης και επικουρικά λαμβάνεται υπόψη το ποσοστό των μεταναστών, όταν είναι σημαντικό, προκειμένου να μελετηθεί η δημογραφική ενδυνάμωση των αγροτικών περιοχών λόγω της παρουσίας των οικονομικών μεταναστών.

Το κριτήριο της απασχόλησης, με τη σειρά του, συνδυάζει συγκεκριμένους δείκτες που προέρχονται από τα στοιχεία των Απογραφών Πληθυσμού και Γεωργίας-Κτηνοτροφίας στο επίπεδο του δημοτικού διαμερισματος. Αναλυτικά, οι δείκτες που χρησιμοποιούνται είναι το ποσοστό των διοικητικών στελεχών και των εμπόρων στο σύνολο των απασχολούμενων με

πάνω όριο τις σχετικά μεγάλες χωρικές ενότητες (πάνω από 2.000 απασχολούμενους) και κάτω όριο τις σχετικά μικρές χωρικές ενότητες (κάτω από 200 απασχολούμενους), καθώς επίσης και το ποσοστό των πολυαπασχολούμενων πάνω από ένα συγκεκριμένο κρίσιμο μέγεθος.

Το αγροτικό κριτήριο είναι επίσης αρκετά συνεκτικό καθώς περιλαμβάνει γεωργικές χρήσεις σε συνδυασμό με την κλίση των εδαφών, ώστε να εκτιμηθεί χονδρικά ο βαθμός ευνοϊκότητας για τη γεωργική παραγωγική δραστηριότητα. Για τη δημιουργία συγκρίσιμων μεγεθών για κάθε κριτήριο επιλέχθηκε η κατηγοριοποίησή τους σε τακτική κλίμακα ταξινόμησης σε 5 κατηγορίες με βάση την ευνοϊκότητά τους (πολύ μικρή=1, μικρή=2, μέτρια=3, μεγάλη= 4, πολύ μεγάλη=5). Η «ευνοϊκότητα» περιγράφει τα χαρακτηριστικά και τις προϋποθέσεις της οικονομικής μεγέθυνσης στις αγροτικές περιοχές καθώς ταυτίζεται με την οικονομική ανάπτυξη. Αντίθετα οι λιγότερο ή καθόλου ευνοημένες περιοχές είναι αυτές όπου λείπουν εντελώς οι προϋποθέσεις της οικονομικής ανάπτυξης.

Παρόμοια κατηγοριοποίηση εφαρμόστηκε και στα επίπεδα πληροφίας (πρωτογενείς μεταβλητές) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την οργάνωση των κριτηρίων. Σημειώνεται ότι τα όρια των κατηγοριών για κάθε πρωτογενή μεταβλητή επιλέχθηκαν έτσι ώστε να μην εξαρτώνται από το εύρος των τιμών της περιοχής μελέτης αλλά να έχουν ευρύτερη ισχύ για το σύνολο της ελληνικής υπαίθρου.

2.2 Σχετική σπουδαιότητα κριτηρίων - στάθμιση

Μετά την κατασκευή των συγκρίσιμων σύνθετων κριτηρίων ακολούθησε ο προσδιορισμός της «σχετικής σημασίας» (καθορισμός συντελεστών βαρύτητας) για κάθε κριτήριο. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε (σύγκριση ζευγών κριτηρίων – pair comparison) είχε ως στόχο την όσο το δυνατόν λιγότερη εμπλοκή του υποκειμενικού παράγοντα η οποία θα ήταν σημαντική με τον άμεσο καθορισμό συντελεστών (Heywood κ.ά. 1995). Πιο συγκεκριμένα, έγινε σύγκριση της σπουδαιότητας των σύνθετων κριτηρίων ανά ζεύγη η οποία εκφράστηκε με ποσοτικό τρόπο σε κλίμακα 1-9. Η τιμή 1 υποδηλώνει παρόμοια σημαντικότητα κριτηρίων, ενώ η τιμή 9 ότι είναι πολύ σημαντικότερο το πρώτο από τα δύο κριτήρια. Η διαβάθμιση της σημαντικότητας ακολουθεί την παρακάτω κλίμακα:

Πίνακας 1. Κλίμακα σύγκρισης ανά ζεύγη (πηγή: Saaty 1980)

<i>Βαθμός σχετικής σπουδαιότητας</i>	<i>Ορισμός σημαντικότητας</i>
1	Ίση
2	Ίση – μέση
3	Μέση
4	Μέση – ισχυρή
5	Ισχυρή
6	Ισχυρή – πολύ ισχυρή
7	Πολύ ισχυρή
8	Πολύ ισχυρή – εξαιρετικά ισχυρή
9	Εξαιρετικά ισχυρή

Με βάση τα στοιχεία αυτά, υπολογίστηκαν οι συντελεστές βαρύτητας για κάθε κριτήριο. Το άθροισμα των κριτηρίων ισούται με 1. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα σταθμισμένα κριτήρια ως γινόμενα του συντελεστή βαρύτητας με την τιμή του κριτηρίου. Η διαδικασία αυτή υλοποιήθηκε αυτόματα στο πλαίσιο του ΓΠΣ για κάθε χωρική μονάδα αναφοράς.

2.3 Συνδυασμός των σταθμισμένων κριτηρίων

Για τη συνολική αποτίμηση των περισσότερο και λιγότερο ευνοημένων περιοχών, εφαρμόστηκε σταθμισμένος γραμμικός συνδυασμός των σύνθετων κριτηρίων. Έτσι, αφού αρχικά δημιουργήθηκαν οι σταθμισμένοι χάρτες για κάθε κριτήριο, έγινε πρόσθεση αυτών των σταθμισμένων κριτηρίων, ανάλογα με το ειδικό βάρος του καθενός, ώστε να υπολογιστεί μια συνολική τιμή σύμφωνα με την οποία κάθε χωρική μονάδα αναφοράς χαρακτηρίζεται ανάλογα με το βαθμό ευνοϊκότητάς της. Κάθε τιμή τοποθετείται στον άξονα του συνεχούς της ευνοϊκότητας.

Το τελικό παράγωγο αποτέλεσμα αποδίδεται στους θεματικούς χάρτες συνδυασμού σταθμισμένων κριτηρίων. Σε αυτούς τους χάρτες, φαίνεται η ζωνοποίηση των περιοχών μελέτης με βάση το βαθμό «ευνοϊκότητάς» τους, σύμφωνα με την μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το σύνολο της μεθοδολογίας, αναπτύχθηκε σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον το οποίο παρέχει τη δυνατότητα αναθεωρήσεων και τροποποιήσεων (π.χ. προσθήκη κριτηρίων, τροποποιήσεις στους συντελεστές βαρύτητας) και κατασκευής διαφορετικών εναλλακτικών παραγωγών χαρτών. Η χαρτογραφική αποτύπωση της ευνοϊκότητας λειτουργεί επικουρικά στην αναγνώριση χωρικών προτύπων και γενικότερα στην αποτίμηση της χωρικής διασποράς - γεωγραφικών σχέσεων. Με αυτό τον τρόπο λαμβάνει χώρα η ζωνοποίηση της ελληνικής υπαίθρου με βάση το βαθμό «ευνοϊκότητάς» της.

Ο έλεγχος της προτεινόμενης μεθοδολογίας έγινε με την ανάλυση ευαισθησίας (Sensitivity analysis). Σύμφωνα με αυτή εξετάζεται ο βαθμός ευαισθησίας των παραγόμενων ενός χωρικού πολυκριτηριακού μοντέλου σε μικρές αλλαγές στις τιμές εισόδου (Yoon 1989, Lodwick et al. 1990).

Το επόμενο τμήμα της εργασίας αφορά την εφαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφηκε παραπάνω στην περίπτωση του γεωγραφικού διαμερίσματος της Πελοποννήσου. Ειδικότερα επιχειρείται η αποτίμηση του βαθμού ευνοϊκότητας των διαφορετικών δημοτικών διαμερισμάτων της Πελοποννήσου καθώς η περιφέρεια αυτή είναι αρκετά διαφοροποιημένη στο εσωτερικό της και περιορίζεται από σαφή γεωγραφικά (και όχι διοικητικά) όρια.

3. Μελέτη περίπτωσης

Η περίπτωση της Πελοποννήσου είναι αρκετά χρήσιμη για να αποτελέσει πεδίο εφαρμογής της εν λόγω μεθοδολογίας λόγω του ότι συγκεντρώνει μια πληθώρα διαφορετικών κοινωνικο-οικονομικών και χωρικών χαρακτηριστικών, τα όριά της είναι φυσικά και περιλαμβάνει διαφορετικές διοικητικές ενότητες. Έτσι μπορούν να μελετηθούν τόσο οι διαφορετικές δυναμικές ανάπτυξης της υπαίθρου όσο και οι διαδικασίες λήψης αποφάσεων για τον περιφερειακό σχεδιασμό εντός του ευρύτερου γεωγραφικού διαμερίσματος της Πελοποννήσου.

Με βάση τα κριτήρια που περιγράφηκαν σε προηγούμενο τμήμα της παρούσας εργασίας (2.1.) καταρτίστηκαν κατάλογοι με τις τιμές των μεταβλητών που αντιστοιχούν σε κάθε κριτήριο ανά δημοτικό διαμέρισμα (για το δημογραφικό κριτήριο και το κριτήριο της απασχόλησης) ή/και ανά μικρή χωρική μονάδα αναφοράς (για το χωρικό και το αγροτικό κριτήριο).

Στη συνέχεια οργανώθηκε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ) χρησιμοποιώντας τη λογική των θεματικών επιπέδων και το λογισμικό ArcGIS. Το ΓΣΠ

περιείχε τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Διοικητική διαίρεση
- Ακτογραμμή
- Δίκτυο μεταφορών
- Τοπογραφία
- Οικισμοί
- Περιοχές αναψυχής – τουρισμού
- Βλάστηση
- Χρήσεις γης

Η σύνδεση των στατιστικών δεδομένων έγινε με τα πολύγωνα που αντιστοιχούν στα δημοτικά διαμερίσματα, ενώ οι υπόλοιπες χωρικές πληροφορίες οργανώθηκαν είτε σε διανυσματικά (π.χ. οδικό δίκτυο, οικισμοί, ακτογραμμή), είτε σε ψηφιδωτά θεματικά επίπεδα (π.χ. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους τύπου DEM, κλίσεις εδαφών κλπ). Σε κάθε περίπτωση, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν περιφερειακής κλίμακας έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η συνδυαστική αξιοποίησή τους για την αποτίμηση του αγροτικού χώρου. Η οργάνωση των δεδομένων σε ΓΠΣ παρείχε τη δυνατότητα κατασκευής παραγώγων στοιχείων μετά από επεξεργασία και συνδυασμό των πρωτογενών. Για παράδειγμα, από τα τοπογραφικά δεδομένα κατασκευάστηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής. Η ανάλυση του μοντέλου έδωσε ως παραγόμενο το θεματικό επίπεδο της κλίσης το οποίο αξιοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του χωρικού κριτηρίου. Αντίστοιχα η ανάλυση, του ταξινομημένου δικτύου μεταφορών σε συνδυασμό με το επίπεδο των οικισμών και αυτό της τοπογραφικής κλίσης, έδωσε ως αποτέλεσμα τη χρονοαπόσταση από τους κύριους οικισμούς, η οποία με τη σειρά της αποτέλεσε ένα από τα χαρακτηριστικά του χωρικού κριτηρίου. Ο τελικός στόχος ήταν η δημιουργία των τελικών κριτηρίων (χωρικό, δημογραφικό, απασχόλησης και αγροτικό) σε ενιαία κλίμακα έτσι ώστε να είναι δυνατός – σε επόμενη φάση – ο συνδυασμός τους.

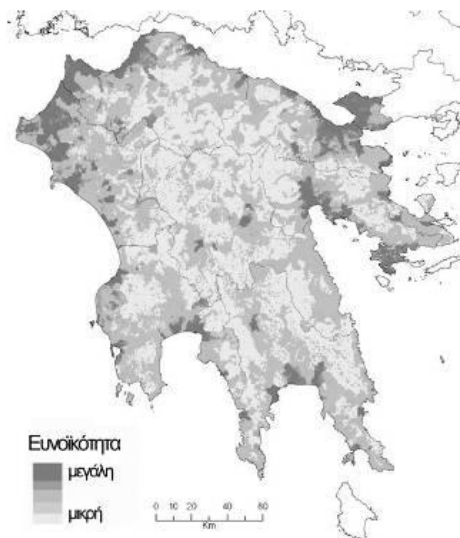
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή αυτών των κριτηρίων προέκυψε αφενός μεν από τον έλεγχο της σχετικής βιβλιογραφίας, αφετέρου από την αξιοποίηση των στοιχείων από ερωτηματολόγια τα οποία συμπληρώθηκαν από ειδικούς ανεξάρτητους ερευνητές του αγροτικού χώρου. Οι απόψεις των ειδικών αυτών αξιοποιήθηκαν επιπρόσθετα και στην επόμενη φάση, η οποία είχε να κάνει με την ανάθεση συντελεστών βαρύτητας για κάθε ένα από τα κριτήρια. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος σύγκρισης ζευγών κριτηρίων και συμπληρώθηκε ο αντίστοιχος πίνακας.

Η συνθετική αξιοποίηση των στοιχείων των ερωτηματολογίων είχε ως αποτέλεσμα τον καθορισμό των συντελεστών βαρύτητας για κάθε κριτήριο, έτσι ώστε το άθροισμά τους να ισούται με 1. Οι συντελεστές αυτοί προσδιορίστηκαν στις τιμές 0.47, 0.28, 0.16 και 0.09 για το δημογραφικό, το χωρικό, το κριτήριο απασχόλησης και το αγροτικό κριτήριο, αντίστοιχα.

Για την συνολική αποτίμηση των περισσότερο και λιγότερο ευνοημένων περιοχών, εφαρμόστηκε σταθμισμένος γραμμικός συνδυασμός των σύνθετων κριτηρίων. Έτσι, αφού δημιουργήθηκαν σταθμισμένοι χάρτες κριτηρίων, έγινε ο γραμμικός συνδυασμός τους για τον υπολογισμό της συνολικού βαθμού κατά τον οποίο κάθε περιοχή χαρακτηρίζεται ως ευνοημένη ή όχι. Η τελική τιμή που υπολογίζεται για κάθε χωρική μονάδα αναφοράς δίνεται από την παρακάτω σχέση $A_i = \sum_n W_n * X_{in}$, όπου A: η τιμή της χωρικής μονάδας αναφοράς, n: το πλήθος των μεταβλητών (κριτηρίων), W: ο συντελεστής βαρύτητας για κάθε κριτήριο (με $\sum W_n = 1$), και X_{in} : η τιμή του κριτηρίου για την χωρική μονάδα αναφοράς. Το αποτέλεσμα αυτής της σύνθεσης φαίνεται στο χάρτη 1.

Η εφαρμογή της μεθόδου έδωσε σειρά θεματικών χαρτών για την περιοχή μελέτης. Σε αυτούς απεικονίζεται η ταξινόμηση της υπαίθρου για κάθε ένα σύνθετο κριτήριο, καθώς και η τελική χωρική κατανομή της «ευνοϊκότητας» έτσι όπως υπολογίστηκε με τη μέθοδο της αναλυτικής ιεράρχησης. Το αποτέλεσμα είναι ανάλογο με την οπτικοποίηση των διαφορετικών τιμών που υπολογίζονται για κάθε μια εναλλακτική λύση σε μια κλασική εφαρμογή της μεθόδου αναλυτικής ιεράρχησης.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι ο έλεγχος της μεθόδου που παρουσιάστηκε παραπάνω έγινε με την τεχνική της ανάλυσης ευαισθησίας (sensitivity analysis) των αποτελεσμάτων σε μικρές αλλαγές στις τιμές εισόδου. Συγκεκριμένα, διερευνήθηκαν οι αλλαγές οι οποίες προκαλούνται στα παραγόμενα αποτελέσματα, έπειτα από αλλαγές τόσο στις τιμές των κριτηρίων εισόδου, όσο και στους συντελεστές βαρύτητας (Lodwick et al 1990). Η εξέταση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευαισθησίας, έδειξε ότι τα αποτελέσματα δεν διαφοροποιούνται μετά από αλλαγές της τάξης ± 0.1 των συντελεστών βαρύτητας. Το ίδιο παρατηρήθηκε και για αλλαγές ± 1 (στην κλίμακα 1-5) στις τιμές των μεταβλητών εισόδου. Και σε αυτή τη διαδικασία ελέγχου οι δυνατότητες υπέρθεσης θεματικών επιπέδων στο πλαίσιο ενός ΓΠΣ αποδείχθηκαν ιδιαίτερα χρήσιμες και αποτελεσματικές. Έτσι, το παραγόμενο θεματικό επίπεδο της ευνοϊκότητας συγκρίθηκε με τα αντίστοιχα παραγόμενα τα οποία προέκυψαν μετά από την εφαρμογή των μικροαλλαγών στις τιμές των κριτηρίων και των συντελεστών βαρύτητας. Οι διαφορές (residuals) σε κάθε περίπτωση ήταν αρκετά μικρές, γεγονός το οποίο ενισχύει την αξιοπιστία της προτεινόμενης μεθόδου.



Χάρτης 1. Αποτίμηση ευνοϊκότητας Πελοποννήσου - σύνθεση κριτηρίων

4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε μεθοδολογία για την απεικόνιση των χαρακτηριστικών και την αποτίμηση της ευνοϊκότητας των διαφορετικών περιοχών της ελληνικής υπαίθρου η οποία χρησιμοποιεί συνδυαστικά τα Γεωγραφικά Πληροφορικά Συστήματα και τη διαδικασία της αναλυτικής ιεράρχησης. Ως σήμερα ο συνδυασμός αυτός των δύο εργαλείων δεν έχει χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή και τη στήριξη της λήψης χωρικών αποφάσεων στην ύπαιθρο. Στην ελληνική περίπτωση είναι ιδιαίτερα πρωτότυπη η συνδυαστική αξιοποίηση δεδομένων (κοινωνικο-οικονομικά και χωρικά) από διαφορετικές πηγές για τη μελέτη της υπαίθρου. Αξιοποιείται μια πληθώρα πηγών (Απογραφή Πληθυσμού,

Απογραφή Γεωργίας-Κτηνοτροφίας, χαρτογραφικά υπόβαθρα κτλ.) και μορφών επεξεργασίας (ποσοτική και ποιοτική) των διαθέσιμων δεδομένων, καθώς επίσης αξιοποιείται η μακρόχρονη ερευνητική εμπειρία στη μελέτη και την ερμηνεία των μετασχηματισμών της ελληνικής υπαίθρου όπως και των εκτιμήσεων ειδικών (experts) στη μελέτη της υπαίθρου για τον καθορισμό των κριτηρίων και των συντελεστών βαρύτητας που χρησιμοποιήθηκαν στο παραγόμενο μεθοδολογικό σχήμα. Καταλήγοντας θα λέγαμε ότι αρκετές περιοχές της υπαίθρου συγκεντρώνουν πλέον (διαφορετικά) χαρακτηριστικά ευνοϊκότητας που δεν μπορούν να αγνοηθούν λόγω του γεγονότος ότι λειτουργούν ήδη ως υποδοχείς του φαινομένου της «επιστροφής στην ύπαιθρο» ή αλλιώς των ευρύτερων αλλαγών που σηματοδοτούν την αναζωογόνηση της υπαίθρου.

Βιβλιογραφία

Blunden J., Pryce W.T.R., Dreyer P., 1998: The Classification of Rural Areas in the European Context: An Exploration of a Typology Using Neural Network Applications, *Regional Studies*, Vol. 32.2, pp. 149-160.

Dox, T., 1996. Defining rural areas - international comparisons and the OECD indicators. *Rural Society*, 6(3), p.3-17.

Eastman, J.R., Jin, W., Kyem, P.A.K. and Toledano, J., 1995: Raster procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective decisions, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 61(6), 539-547.

Figuera J., Greco S., Ehr Gott M. (eds) 2005: Multiple Criteria Decision analysis: State of the Art Surveys, *International Series in Operation research Management Science*, 78, Springer.

Heywood I., Oliver J., Tomlinson S., 1995: Building an explanatory multi-criteria modelling environment for spatial decision support. In P. Fisher (ed.), *Innovations in GIS 2*. London: Taylor & Francis, pp. 127 - 136.

Keenan, P., 1995: Using GIS as a DSS generator, in Darzentas, J., Darzentas, J.S. and Spyrou, T. (eds), *Perspectives on DSS: Proceedings of the EURO working group on DSS*, Athens, University of the Aegean.

Lodwick W.A., Monson W., Svoboda L., 1990: Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: suitability analysis. *International Journal of Geographical Information Systems* 4 (4), 413 - 428.

Malczewski J., 2004: GIS based land-use suitability analysis: A Critical Overview, *Progress in Planning*, 62, 3-65.

Malczewski, J., 1999: *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, New York, John Wiley and Sons.

Mitchell, C.J.A., 2004: Making Sense of Counterurbanization, *Journal of Rural Studies* 20, 15-34.

Papadopoulos A.G., Kasimis C., Sayas J., 1999: Looking up from below? A contribution to the Construction of a Typology of Coastal Communities, paper presented in the 1st INDICCO Workshop, University of Seville, Seville, Spain.

Saaty T.L., 1980: *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill.

Tiwarly D.N., Loof R., Paudyal G.N., 1999: Environmental-economic decision-making in lowland irrigated agriculture using multi-criteria analysis techniques. *Agricult. Systems* 60, 99-112.

Walker P.A., Young M.D., 1997: Using integrated economic and ecological information to improve government policy. *International Journal of Geographical Information Science* 7, 619 – 632.

Yoon K., 1989: The propagation of errors in multiple-attribute decision analysis: a practical approach. *Journal of Operations Research Society* 40(7); 681-686.

Ευστράτογλου, Σ., Παπαδόπουλος, Α.Γ. και Ευστράτογλου, Α. (2004), Δυναμικές Ανάπτυξης των Αγροτικών Περιοχών και Προσδιοριστικοί Παράγοντες, στο Γιδάρκου, Ι., Καζακόπουλος, Λ. και Κουτσούρης, Α. (επιμ), *Η Κοινωνία της Υπαίθρου σε ένα Μεταβαλλόμενο Αγροτικό Χώρο*, Αθήνα, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.

Παπαδόπουλος Α., Χαλκιάς Χ., Φάκα Α., 2006: Η μελέτη των λιγότερο ευνοημένων περιοχών με τη χρήση ενός ολοκληρωμένου σχήματος ταξινόμησης της ελληνικής υπαίθρου.

Χαλκιάς Χ. Ν., 2006: Όροι και έννοιες επιστήμης γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Εκδόσεις ΙΩΝ.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ: ΕΝΑΣ ΠΛΟΥΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Βαϊτης Μ.¹, Carrara P.², Guimet J.³, Barea M.⁴, Redondo M.⁴

¹Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, Ελλάδα

²IREA-CNR, Μιλάνο, Ιταλία

³ICC, Βαρκελώνη, Ισπανία

⁴ICA, Ανδαλουσία, Ισπανία

Περίληψη

Στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων των Πανεπιστημίων και των Ερευνητικών Κέντρων, συχνά συλλέγονται γεωγραφικά δεδομένα που αφορούν περιοχές περιορισμένης χωρικής έκτασης. Λόγω ακριβώς του μικρού εμβαδού των υπό μελέτη περιοχών, τα παραγόμενα δεδομένα καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών πεδίων, είναι μεγάλης ακρίβειας και ως εκ τούτου έχουν υψηλή επιστημονική, τεχνική αλλά και οικονομική αξία. Παρόλη τη σημασία των δεδομένων αυτών για τη δημόσια διοίκηση, τους οργανισμούς και τις επιχειρήσεις ή το ευρύ κοινό, αυτά παραμένουν γνωστά μόνο στα στενά πλαίσια της ερευνητικής κοινότητας που τα παρήγαγε. Το έργο *IDE-Univers* επιχειρεί να αντιμετωπίσει αυτή την κατάσταση μέσω της δημιουργίας μιας *θεματικής υποδομής χωρικών δεδομένων* για τα ερευνητικά ινστιτούτα της Μεσογείου. Η υποδομή αυτή δίνει τη δυνατότητα αναζήτησης, πρόσβασης, απεικόνισης και ανταλλαγής δεδομένων μέσω του Παγκόσμιου Ιστού. Συγχρόνως, το έργο συμβάλλει στην ευρεία διάχυση της φιλοσοφίας και τεχνογνωσίας που διέπει τις χωρικές υποδομές, σύμφωνα και με την πρόσφατη κοινοτική οδηγία INSPIRE. Το άρθρο παρουσιάζει εν συντομία τα τεχνολογικά ζητήματα που αφορούν το έργο *IDE-Univers* και συνοψίζει την αποκτηθείσα εμπειρία και τις μελλοντικές προοπτικές.

RESEARCH RESULTS FOR SMALL AREAS: A UNIVERSE OF GEO-INFORMATION IN A THEMATIC SDI

Vaitis M.¹, Carrara P.², Guimet J.³, Barea M.⁴, Redondo M.⁴

¹University of the Aegean, Mytilene, Greece

²Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell' Ambiente (IREA-CNR), Milan, Italy

³ Instituto de Cartografía de Catalunya (ICC), Barcelona, Spain

⁴ Instituto de Cartografía de Andalucía (ICA), Andalusia, Spain

Abstract

Universities and Research Centers are often in charge of research projects regarding geographic areas of limited extent. Because of their restricted spatial scope, these projects investigate their study area thoroughly, examining many different aspects, thus obtaining precious results having a high economic and technical value. Their results are mainly in digital form: geo-referenced documents or textual, graphic and multimedia documents with a well identified geographic reference. Unfortunately, these investigations and their products are seldom known outside a small academic community, in spite of their importance for a wide users' arena. In order to deal with this situation, the *IDE-Univers* project aims to create an integrated geo-information space about small territories, produced by academic institutions in Mediterranean. In the framework of the project, a thematic SDI is being established, enabling end-users to search, access, visualize and exchange provided data through a geo-portal, using only their familiar web-browser. The project also contributes in

spreading SDI philosophy and know-how, keeping up with the INSPIRE Directive. The paper presents in brief the technical aspects of the project and concludes with lessons learned and opportunities foreseen so far.

Λέξεις κλειδιά: Υποδομές Γεωγραφικών Πληροφοριών, διαδικτυακή χαρτογραφία.

Key words: Spatial Data Infrastructures (SDI), thematic SDI, web mapping.

1. Introduction

Universities and Research Centers are often in charge of research projects regarding geographic areas of limited extent. Because of their restricted spatial scope, these projects investigate their study area thoroughly, examining many different aspects, thus obtaining precious results having a high economic and technical value. Their results are mainly in digital form: geo-referenced documents (such as maps and images), or textual, graphic and multimedia documents with a well identified geographic reference (i.e., reports, theses, books, presentations, etc.). Unfortunately, these investigations and their products are seldom known outside a small academic community, in spite of their importance for a wide users' arena.

The promotion of the significant amount of geo-referenced information generated by University Departments and Research Centers is a fundamental step towards collaboration among researchers and external users, such as public administrations or the private sector.

IDE-Univers (<http://www.ideunivers.eu>) is a project funded within the Measure 3.4 (Communication and information technologies for land development) of the Programme Interreg III B MEDOCC (<http://www.interreg-medocc.org>), started last September, 2006. The mission of the project is to create a geo-information space on the Internet, aiming at integrating knowledge about small territories, produced by academic institutions in the Mediterranean. It capitalizes on contemporary technological advances in the field of Spatial Data Infrastructures (SDI) (i.e., geographic metadata standards, catalogue and geographic services), in order to support the discovery and exchange of spatial information derived from research activities. More specifically, the objectives of the project are:

- To enroll geographic information for small areas, produced by research institutions of the Mediterranean basin.
- To generate metadata for the geographic information and publish them on the Internet using catalogue services.
- To build a network of interoperable platforms, enabling searching and viewing of published geographic information.
- To promote participation of different institutions to the project, reinforcing collaboration and culture sharing between academic institutions at a European level.

The geographic information may be related to different fields, while the focus is on three main domains: environment, land management and socio-economics. By its ending date (March 2008), 5.000 metadata records and more than 30 newly developed Web Map Servers (WMSs) located at University Departments and Research Centers, distributed at Spain, Italy and Greece, will be available to at about 300 end-users, through a *thematic* SDI. End-users will be able to search, access, visualize and exchange provided data through a geo-portal, using only their familiar web-browser. It is the first example of SDI connecting academic organizations in the involved countries.

The project will also contribute in spreading SDI philosophy and know-how in the

scientific practice of the partners involved, their collaborators and within the academic community in general. Moreover, the project is keeping up with the INSPIRE Directive (INSPIRE, 2007), furnishing not only new and detailed environmental geo-information, but also testing flexibility, robustness and efficiency of standards and solutions in the SDI framework (since geographic data are extremely heterogeneous in many different dimensions, including formats, quality, reference systems, resolution, semantics, etc.).

The paper is organized as follows. Section 2 gives a brief description of the role of SDIs and their hierarchical or thematic organization. Section 3 briefly presents the architecture of the systems and services of the SDI. Sections 4 and 5 present the software applications supporting all the data management activities: metadata generation, and data storing, searching and viewing. Section 6 points out the consortium of the project, while section 7 concludes the paper and presents future work.

2. The role of SDI

The term "Spatial Data Infrastructure" (SDI) is often used to denote the relevant base collection of technologies, policies and institutional arrangements that facilitate the availability of and access to spatial data. The SDI provides a basis for spatial data discovery, evaluation, and application for users and providers within all levels of government, the commercial sector, the non-profit sector, academia and by citizens in general (Nebert, 2004). As geographic information is getting a fundamental component in the decision-making process in many fields (if not all!) of human/social life (e.g., environmental management and protection, security and logistics, social and health development, service improvement), the development and maintenance of SDIs constitutes a funding priority for many countries or unions of countries. For example, the INSPIRE initiative of European Commission (INSPIRE, 2007) is a legislative instrument laying down a general framework for a SDI for the purposes of Community environmental policies, and policies or activities which may have an impact on the environment.

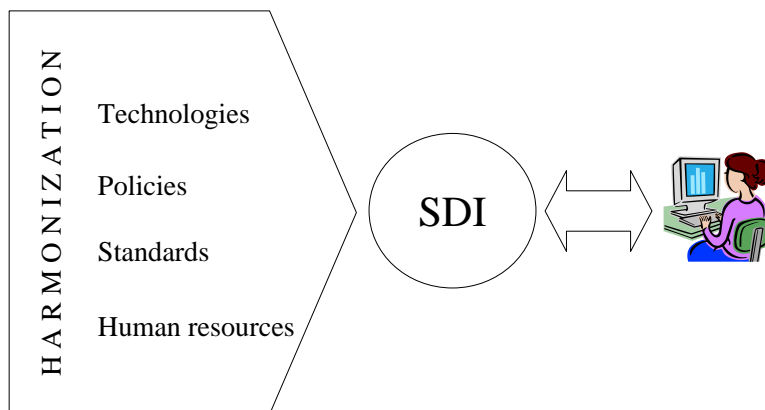


Figure 1. The role of an SDI

The components of an SDI are: (a) an institutional framework; (b) a set of technical standards; (c) a number of fundamental datasets; (d) supporting access networks; and (e) human resources (Rajabifard *et al.*, 2003). As geographical data are usually heterogeneous in terms of projection systems, file formats, storage systems, semantics, access rights or billing procedures, the role of an SDI is to harmonize all these issues and provide a single **interface to support users' searching and exploring tasks** (figure 1). In this way, both the management of spatial data and their utilization are improved. The data producers/providers

keep working with their preferred procedures for data acquisition and processing, while they have to engage predefined rules for data documentation (metadata) and storing (for sharing). Users have a single point of access, while all the heterogeneity of spatial data is transparent to them.

An SDI is usually based on a three-tier architecture (figure 2). The bottom level constitutes of the various spatial data repositories, distributed on various servers hosted on various organizations. At the middle level a number of catalogs manage the metadata for all the data stored at the repositories, while a number of services support the discovery, searching, processing, and visualization or downloading of data. At the upper level the end-user utilizes the services of the middleware, either using a specific application or the preferable web-browser.

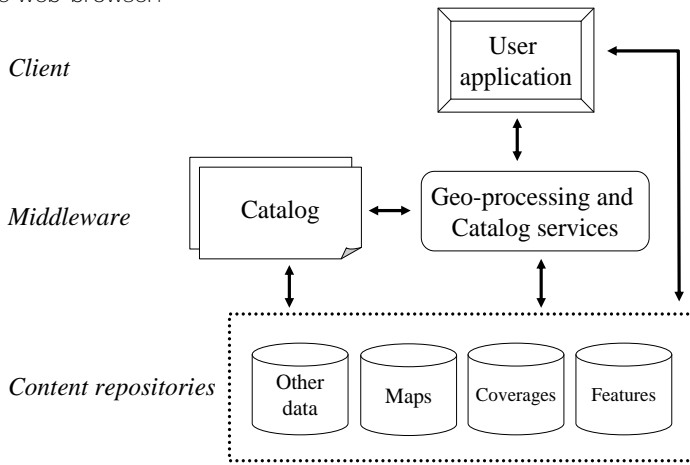


Figure 2. SDI architecture

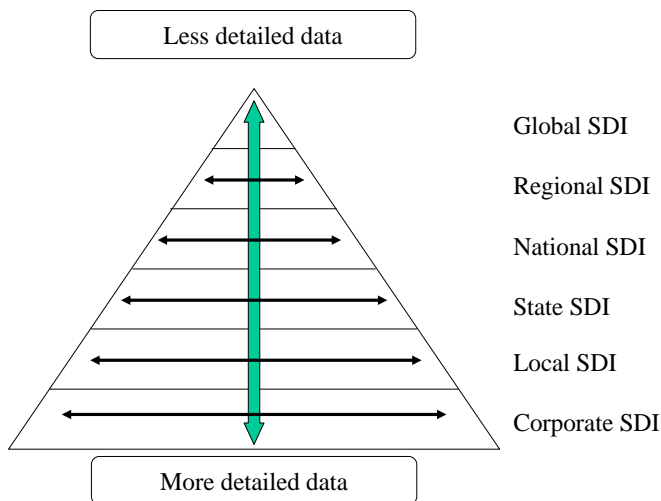


Figure 3. SDI hierarchy and relationships among levels
[Based on (Rajabifard et al., 2003)]

Usually, SDIs are organized in a *hierarchy* of levels, from the corporate level up the global – universal – one, where more detailed data are managed by infrastructures at the lowest levels. Each level serves the planning process at a particular degree of authority (figure 3). The arrows, both vertical and horizontal, represent the complex relationships that exist between different levels, as well as the intra-jurisdictional ones (Rajabifard *et al.*, 2003).

Besides this organization, an SDI may be focused on a particular subject (e.g., forestry or coast management), gathering information from different authoritative levels, thus forming a *thematic* infrastructure. Thematic SDIs have a number of significant benefits, like: (a) the enhancement of related organizations engagement in their activities; (b) user needs are defined more accurately, due to the common interest on a particular domain; (c) the importance of spatial data sharing is made apparent to organizations, public authorities, private companies and groups of people working on the same subject; and (d) they constitute a first step in the development of ontologies in specific areas (Guimet, 2004). Thematic SDIs may contribute in the construction of state, national or regional (multi-national) SDIs.

3. The IDE-Univers architecture

The IDE-UNIVERS is a multi-level thematic SDI. It is composed of four participating SDIs, one for each technical partner of the project. Every component SDI follows the three-tier architecture, as depicted at figure 4.

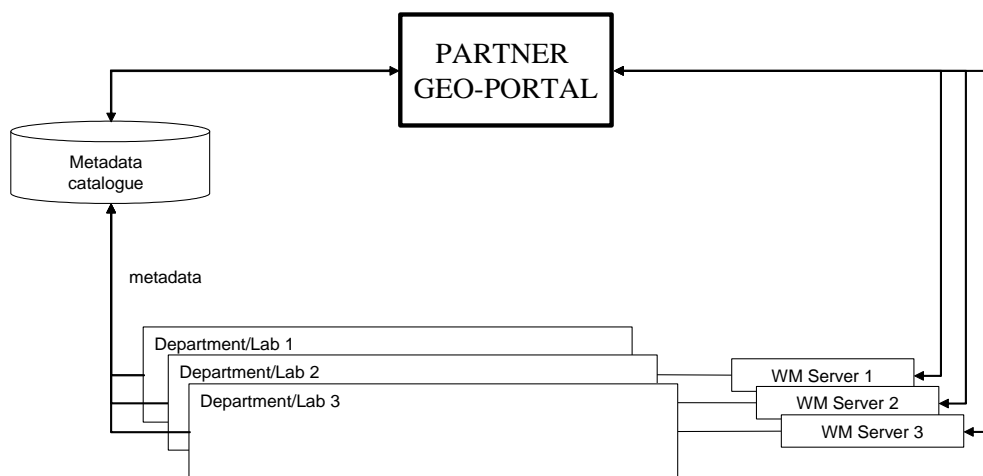


Figure 4. Component SDI

Each partner's geo-portal supports searching and visualization services. A catalog manages all metadata for the spatial and non-spatial data stored at the University Departments' and Research Centers' Laboratories that are in the jurisdiction of the partner. Each laboratory hosts a Web Map Server (supporting at least the OGC-ISO/TC 211 Web Map Service Interface) for the rendering and distribution of spatial data. Different laboratories utilize different WMS software and operating systems for their WM Servers, including University of Minnesota (UMN) MapServer and ESRI ArcIMS, or Microsoft Windows and Linux. All partners' geo-portals are interconnected to a global geo-portal, providing services at a higher level (figure 5). This constitute an open architecture, enabling more component SDIs to participate (given they serve the same thematic domain and agree to follow the metadata and web mapping standards).

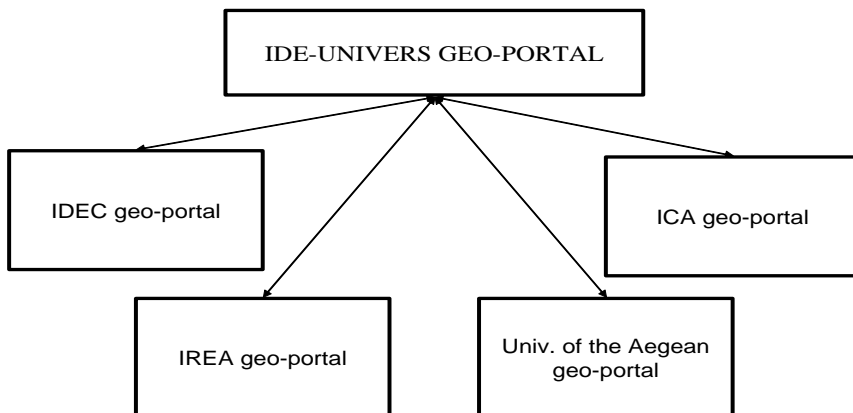


Figure 5. Integration of component SDIs

4. Production of metadata

Mandatory fields

Title: TIN of broader Apothika area

Abstract: TIN of broader Apothika area calculated using digital elevation data (4 m contours and elevation points) from 1:5000 scale topographic map sheets.

Metadata originator: Angele Dikou-[AEGEAN UNIVERSITY] [Edit contacts]

Dataset language: English, Greek, Catalan

Metadata language: English

Metadata creation date: 25/6/2007

Topic category: farming, biota, boundaries, climatology/Meteorology/Atmosphere, economy, elevation, environment

Bounding box (in Decimal Degrees):
 N: 39.195171
 O: 26.062607, E: 26.137359
 S: 39.035142 [Μεταποστ]

[OK]

Figure 6. The mandatory metadata fields

A critical step for the development of an SDI is the documentation of the data to be shared. This is usually accomplished by the development of metadata catalogues. The ISO/TC 211 has established the 19115 and 19139 standards for geographic information metadata and their implementation specifications (Kresse et al., 2004). In the framework of the IDE-UNIVERS project, all participating data providers are using the IDEC (SDI of

Catalonia) ISO 19115-compatible metadata profile, while each country have made some modifications regarding spatial reference systems and thesauri. The MetaD software application, provided by the IDEC, is used for the management of metadata in a structured way that facilitates, besides the creation, the maintenance and the exportation of metadata in a simple and user-friendly way, while being compatible with the aforementioned standards. Figures 6 and 7 depict two representative forms of the software.

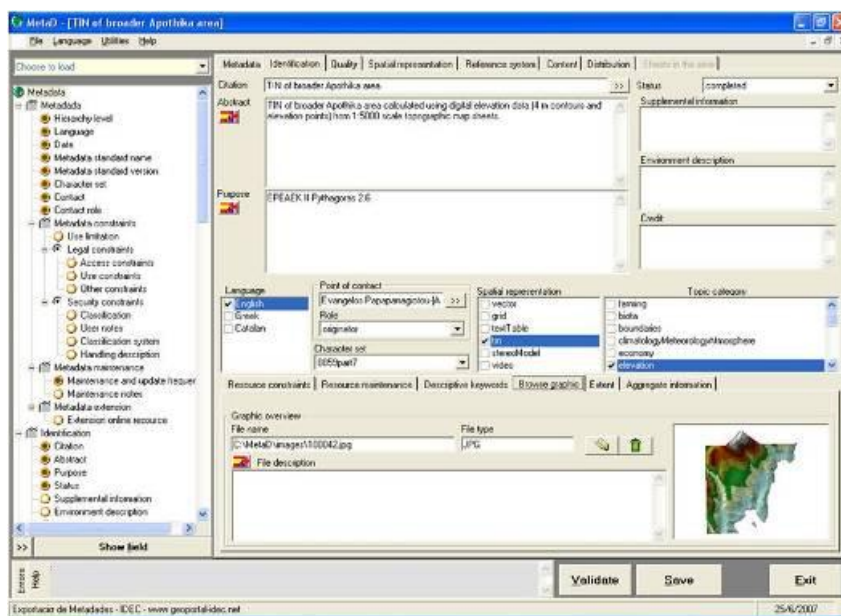


Figure 7. The main MetaD form

The first form assembles the information that is mandatory for every data item, either spatial or non-spatial, such as the title, a short description, the bounding box, or the topic category.

The second one is the main form of the application, organizing all metadata fields in tabs. List boxes, check boxes or combo boxes are used in order to assist the user filling the metadata information. At the left side of the form, a tree view designates the filled and not filled fields, either mandatory or not. All metadata are stored in a relational database. Specific operations are available for validation of the metadata, as well as their extraction in XML format for inclusion in the SDI catalogues. To support metadata catalogue services, two of the partners are customizing the Geonetwork Geographic Metadata Catalog free and open source software (<http://geonetwork-opensource.org>), while the other two are using the catalog software developed at IDEC.

5. Searching and viewing of spatial data

The following three figures 8, 9 and 10 depict the three main steps for searching and viewing spatial (and non-spatial) data, stored at the various WMS servers of the participating laboratories. The first step is the definition of the searching criteria at the geportal's first webpage. These may be alphanumeric values specified by the user for fields like title, keywords, free text, location, category, etc., or the specification of the bounding box of interest, either by entering the four coordinate values, or by zooming and rectangle selecting.



Figure 10. Displaying cartographic data

IDE-Univers Map Viewer supports the third step of the searching and viewing process. It offers a number of processing operation to the user, like zoom-in, zoom-out, etc. Moreover, it offers the possibility to the user to select any other WMS server (given its internet address is known or predefined) and explore to its available layers.

6. The consortium

The Project is coordinated by Secretaria de Telecomunicacions i Societat de la Informació, Generalitat de Catalunya (Spain), with the support of IDEC (SDI of Catalonia) and Instituto de Cartografía de Catalunya (ICC). Technical partners of the project are: IREA (Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell' Ambiente) of the National Research Council (CNR) in Italy, the Department of Geography of the University of the Aegean in Greece, and the Instituto de Cartografía de Andalucía (ICA), Junta de Andalucía (Spain). Region Emilia-Romagna, in Italy, represents the public administrations interest in the project's results, in order to improve urban and environmental management.

7. Conclusions and future work

The paper has presented in brief the main technological aspects of the *IDE-Univers* project, aiming to develop a thematic SDI for geographical data produced by research activities in the Mediterranean. It is the first example of SDI connecting academic organizations in the involved countries. All software customized or developed in the framework of the project is based on international standards of ISO/TC211 and OGC, in order to enable interoperability with similar initiatives in the direction of the INSPIRE vision. Our next steps, besides the evaluation of the project results after its completion on March, 2008, include the study, development and integration of ontologies to thematic SDIs, in order to overcome semantic heterogeneity problems.

Acknowledgments

The authors want to thank Daniela Poggioli (IREA-CNR) for her initial idea for figure 1.

References

Guimet, J. P., 2004, Thematic SDIs: A Way to Spread out the Benefits of Interoperability and to Enhance the Development of Regional SDIs, 10th EC GI and GIS Workshop, Warsaw, Poland, 23-25 June 2004.

INSPIRE, 2007, Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community, Official Journal of 25th April 2007, available at: <http://www.ec-gis.org/inspire/home.html>.

Kresse W, Fadaie K, 2004, ISO standards for geographic information. Springer-Verlag.

Nebert, D. D. (ed.), 2004, The SDI Cookbook, Version 2.0, Global Spatial Data Infrastructure (GSDI), available at: www.gsdi.org.

Rajabifard, A., Feeney, M.-E. F., Williamson, I., 2003, Spatial Data Infrastructures: Concepts, Nature and SDI Hierarchy, in Williamson, I., Rajabifard, A., Feeney, M.-E. F. (eds.), Developing Spatial Data Infrastructures: From Concept to Reality, Taylor and Francis, London.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΥ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΝΟΜΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

Βιρβίλης Β.¹, Χάρου Ε.¹, Στεφούλη Μ.², Μπενταλί Φ.^{1,3}, Παναγιωτόπουλος Π.⁴,
Περαντώνης Σ.¹

¹ *Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος"*

² *Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών*

³ *ECO-CONSULTANTS AE*

⁴ *Διεύθυνση Σχεδιασμού και Επενδύσεων Δήμου Αθηναίων*

Περίληψη

Η παρούσα εργασία βασίζεται στα πορίσματα και τις ενέργειες του έργου με τίτλο «TECHNOLANGUE: Intégration Entre les Langages de la Planification et de l'Information en Vue de l'Elaboration de Cartes Interactives d'Espaces Medoc-Meda et des Systèmes de Transport Correspondants» Το έργο εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος INTERREG IIB- MEDOCC κατά το χρονικό διάστημα Ιουνίου 2004 – Αυγούστου 2006 και συμμετείχαν φορείς χωρών από την Ευρωπαϊκή και την Βορειοαφρικανική όχθη της Μεσογείου. Στόχος του έργου ήταν η ομογενοποίηση των χαρτογραφικών γλωσσών των διαφόρων χωρών και η δημιουργία χαρτών στους οποίους θα φαίνονται - με όσο το δυνατόν κοινό υπόμνημα- οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη δημιουργία μεγάλων έργων στις διάφορες χώρες. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν 3 ειδών χάρτες: Χάρτης της υπάρχουσας κατάστασης (Χάρτης 1), χάρτης των επεμβάσεων με την υλοποίηση του νέου έργου (Χάρτης 2) και τέλος ένας χάρτης στον οποίο φαίνονται οι απειλές (risks) ή οι ευκαιρίες (opportunities) που προκύπτουν για το περιβάλλον μετά τη δημιουργία του έργου (Χάρτης 3). Για την καλύτερη διάχυση των πληροφοριών δημιουργήθηκε μία δικτυακή πύλη και πολλαπλοί διαδικτυακοί κόμβοι. Κάθε κόμβος είναι αυτόνομος και υλοποιεί το πρωτόκολλο WMS (Web Map Service). Το πρωτόκολλο αυτό επιτρέπει την πρόσβαση σε οποιοδήποτε συμβατό περιηγητή μια και συνήθως η τελική μορφή είναι εικόνες τύπου WEB (PNG, JPEG, κλπ.). Στην παρούσα υλοποίηση οι Ελληνικές περιοχές μελέτης είναι προσβάσιμες είτε μέσω εξειδικευμένων προγραμμάτων όπως το το WebMapClient είτε μέσω ενός απλού διαδικτυακού περιηγητή και των δικτυακών εφαρμογών Google Maps ή TNT Maps

Abstract

The Project «TECHNOLANGUE: Intégration Entre les Langages de la Planification et de l'Information en Vue de l'Elaboration de Cartes Interactives d'Espaces Medoc-Meda et des Systèmes de Transport Correspondants » was funded in the framework of INTERREG IIB MEDOCC-MEDA The project was completed in August 2006. Institutions and Municipalities from both the European and the North African sides of the Mediterranean were participated. The main objectives of the project were: The integration among the technical-managerial territorial planning languages, environment and transport systems languages and Information and Communication Technologies (ICT) languages. – The adoption of a common and shared methodology, which take into account the **different features of each partners'** territories, in the multidisciplinary and transnational context of Medoc-Meda Spaces – The implementation of geographic meta-database for improvement of spatial data sharing and comprehension; - The establishment of web mapping services tool for improvement of spatial information visibility and access. In this work the methodology adopted and the main results concerning the Greek pilot areas are presented.

Λέξεις κλειδιά: Δαδικτυακό ΓΣΠ., Υπηρεσίες WMS, πρόσβαση σε χωρικά δεδομένα, περιβάλλον.

Key words: Web gis, WMS services, spatial information access, environment.

1. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη του internet φέρνει νέες προοπτικές δίνοντας τη δυνατότητα σε διάφορους φορείς να ανταλλάσσουν δεδομένα ή περιγραφές δεδομένων που αλληλοσυνδυαζόμενα δημιουργούν πληροφορία προστιθέμενης αξίας ("*Measuring the Internet Economy: An Exploratory Study*", "*The Information Economy*"). Στα πλαίσια των προσπαθειών ανάπτυξης των δεδομένων και των σημασιολογικών περιγραφών τους υπάρχουν προσπάθειες και προδιαγραφές που προέρχονται είτε από το Open GIS Consortium (OGC, 2003) είτε από την πρωτοβουλία INSPIRE (INSPIRE, 2007) στην Ευρώπη. Οι πρωτοβουλίες αυτές έχουν κυρίως να κάνουν με τον τρόπο περιγραφής και διαμοίρασης δεδομένων μεταξύ διαφορετικών εμπλεκόμενων μερών στην παραγωγή γεωγραφικής πληροφορίας. Σημαντικές πρωτοβουλίες στην περιοχή αποτελούν η εισαγωγή της Geography Markup Language (GML) (OGC, 2003b), που αποτελεί μια εφαρμογή της XML (eXtensible Markup Language) (W3C, 2003a) και το αποτέλεσμα του INSPIRE, που παρέχει τη δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των εθνικών υποδομών γεωγραφικών δεδομένων στις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σήμερα με την ταχύτατη διείσδυση των ευρυζωνικών συνδέσεων (dslforum.org, 2003) τόσο στις επαγγελματίες όσο και στις οικιακές συνδέσεις και την συνεχιζόμενη βελτίωση των ηλεκτρονικών υπολογιστών οι χρήστες αποκτούν τη δυνατότητα να απαιτούν μέσω του διαδικτύου καλύτερες εφαρμογές, με πλουσιότερο περιβάλλον αλληλεπίδρασης χρήστη (user interface) και τη δυνατότητα διαχείρισης και οπτικοποίησης μεγαλύτερων συνόλων δεδομένων και να απαιτούν από τις εφαρμογές στο διαδίκτυο τις ίδιες δυνατότητες με αυτές που θα έβρισκαν τοπικά στον υπολογιστή τους. Αυτό είναι ορατό στο χώρο των ΓΣΠ και ήδη έχει γίνει αρκετή προεργασία πάνω σε αυτό (OGC, 2003c & OGC, 2003d & OGC, 2003e & W3C, 2003b).

Με την ταχύτατη διάδοση του Internet και των τεχνολογιών εύρεσης είναι αναμενόμενο όλο και πιο ετερογενείς κλάδοι δεδομένων να γίνονται διαθέσιμοι μέσω του διαδικτύου. Δεν αποτελεί έκπληξη λοιπόν για την ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση που υπάρχει για μεγαλύτερη δυνατότητα πρόσβασης σε γεωγραφικά δεδομένα μέσω δικτύου. Έτσι μια πληθώρα προμηθευτών λογισμικού (software vendors) ανέπτυξαν αυτόνομα και ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, τεχνολογίες πρόσβασης GIS πληροφορίας μέσω του διαδικτύου. Το διαδίκτυο όμως ανήκει σε μια νέα μορφή οικονομίας και οι παραδοσιακοί τρόποι κλειδώματος της αγοράς σε έναν προμηθευτή (vendor lock-in) δεν λειτουργούν πάντα υπέρ του προμηθευτή. Από τη στιγμή ιδιαίτερα που ένα μεγάλο κομμάτι της πιθανής αγοράς των GIS συστημάτων είναι κλάδοι του Δημοσίου (Υπουργεία, Δήμοι, Νομαρχίες), με πιθανό τελικό κρίκο της αλυσίδας πολίτες ήταν φανερό ότι έπρεπε να δημιουργηθούν κοινά αποδεκτά πρότυπα (standards) ώστε να μην δοθεί ευκαιρία για δημιουργία νησίδων ασυμβατότητας σε μια υποδομή που τελικά πληρώνεται από τους φορολογούμενους πολίτες. Με αυτό το σκεπτικό ήταν αναπόφευκτη η δημιουργία ενός οργανισμού που θα μπορούσε να εγγυηθεί την ουδετερότητα (vendor neutral) των νέων προτύπων και των νέων τρόπων πρόσβασης στο διαδίκτυο (όσον αφορά τα γεωγραφικά δεδομένα). Ο OGC (Open Geospatial Consortium, γνωστός και ως Open GIS Consortium) είναι ένας διεθνής εθελοντικός οργανισμός που έχει σαν στόχο τη δημιουργία και την εδραίωση ανοιχτών προτύπων (open standards). Στον OGC συμμετέχουν πάνω από 330 εμπορικοί, κυβερνητικοί, μη κερδοσκοπικοί και ερευνητικοί οργανισμοί από όλο τον κόσμο οι οποίοι συνεισφέρουν στον σχεδιασμό και την υλοποίηση των προδιαγραφών μορφοποίησης χωρογεωγραφικών (geospatial) δεδομένων, και υπηρεσίες επεξεργασίας, και διακίνησης τους. Οι περισσότερες από τις προδιαγραφές του OGC είναι βασισμένες σε μια γενικότερη αρχιτεκτονική που περιγράφεται από ένα σύνολο κειμένων που ονομάζεται *Abstract Specification* και περιγράφει το βασικό μοντέλο δεδομένων γεωγραφικών χαρακτηριστικών που πρέπει να αναπαρασταθούν. Ένα επίπεδο πιο πάνω από το *Abstract Specification* είναι ένα ολοένα αυξανόμενο πλήθος από προδιαγραφές, πρωτόκολλα και

πρότυπα που αναπτύσσονται με σκοπό τη επίτευξη διάφορων εφαρμογών οι οποίες όμως να είναι συνεργαζόμενες και να ανταλλάσσουν τόσο πληροφορίες θέσεως όσο και γενικότερα άλλου τύπου GIS πληροφορίες. Μερικές από τις πιο γνωστές προδιαγραφές του OGC είναι: OGC Reference Model - a complete set of reference models, WMS - Web Map Service, WFS - Web Feature Service, WCS - Web Coverage Service, WPS - Web Processing Service, CAT - Web Catalog Service, SFS - Simple Features - SQL, GML - Geography Markup Language.

Μια υπηρεσία WMS παράγει χάρτες δεδομένων χωρικής αναφοράς (spatially referenced data) δυναμικά από γεωγραφική πληροφορία. Αυτό το διεθνές πρότυπο ορίζει ένα "χάρτη" ως ένα κάδρο γεωγραφικής πληροφορίας που μπορεί να αναπαρασταθεί σαν ψηφιακή εικόνα η οποία είναι κατάλληλη για έναν υπολογιστή. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο χάρτης δεν είναι τα αρχικά γεωγραφικά δεδομένα. Οι χάρτες WMS κατά κανόνα παράγονται σε κάποια από τις υπάρχοντες ψηφιακές μορφές όπως PNG, GIF, JPEG. Το WMS είναι δυνατόν να απεικονίσει ένα χάρτη και σε κα διαδραστική μορφοποίηση (format) όπως το SVG ή το WebCGM. Το WMS έρχεται σε αντιδιαστολή με το WFS που επιστρέφει μόνο διανυσματικά δεδομένα και το WCS που επιστρέφει μόνο ψηφιοποιημένες εικόνες.

Το πρότυπο WMS ορίζει 3 βασικές λειτουργίες:

- Την επιστροφή μεταπληροφοριών για την ίδια την υπηρεσία
- Την επιστροφή ενός χάρτη με πλήρως ορισμένες τις γεωγραφικές και χωρικές παραμέτρους
- Την επιστροφή πληροφορίας σχετικά με ειδικά χαρακτηριστικά τα οποία απεικονίζονται σε έναν χάρτη (προαιρετικά)

Οι λειτουργίες WMS μπορούν κληθούν ακόμα και από έναν ιστοπεριηγητή (web browser) ο οποίος στέλνει τις παραμέτρους των λειτουργιών με τη μορφή URL (Uniform Resource Locator). Τα περιεχόμενα ενός τέτοιου URL καθορίζουν το είδος της λειτουργίας που θα εκτελεστεί. Πιο συγκεκριμένα όταν ζητείται ένας χάρτης το URL θα πρέπει να υποδηλώνει τι θα απεικονίζεται στον χάρτη, ποιο τμήμα της Γης θα εμφανιστεί, ποιο είναι το επιθυμητό σύστημα συντεταγμένων και ποια θα είναι η μορφοποίηση και το μέγεθος της τελικής ψηφιακής εικόνας. Στην περίπτωση που ζητούνται περισσότεροι του ενός χάρτες με τις ίδιες γεωγραφικές παραμέτρους και το ίδιο μέγεθος τελικής εικόνας τότε τα αποτελέσματα μπορούν να υπερβληθούν (overlaid) το ένα μέσα στο άλλο. Η χρησιμοποίηση εικόνων που επιτρέπουν διαφανή φόντο (π.χ. PNG) επιτρέπει στους υποκείμενους χάρτες να παραμένουν ορατοί. Επιπροσθέτως, είναι δυνατόν ανεξάρτητοι χάρτες να ζητηθούν από διαφορετικούς εξυπηρετητές από τον ίδιο περιηγητή με στόχο τη δημιουργία μιας ενιαίας εικόνας. Με αυτό το τρόπο το πρωτόκολλο WMS επιτρέπει τη δημιουργία ενός καταμεμημένου δικτύου που αποτελείται από εξυπηρετητές χαρτών από τους οποίους οι "πελάτες" μπορούν να συνθέσουν προσαρμοσμένους στις ανάγκες τους χάρτες. Παρ' όλα αυτά μια υπηρεσία WMS συνήθως δεν καλείται απευθείας από τον περιηγητή. Τις περισσότερες φορές οι λειτουργίες WMS εκτελούνται από μια εφαρμογή η οποία προσφέρει στο χρήστη και κάποια διαδραστικά στοιχεία ώστε να μπορεί να επιλέξει με ευκολία τις διάφορες παραμέτρους (π.χ. σε έναν χάρτη να προσφέρει τη δυνατότητα πλοήγησης). Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να είναι διαδικτυακές ή όχι. Δωρεάν εφαρμογές απεικόνισης WMS είναι: οι Google Maps, της Google Inc. και TNT Map της Microimages οι οποίες είναι διαδικτυακές. Επίσης οι Google Earth της Google Inc. και Map Browser της CadCorp που απαιτούν εγκατάσταση.

Η παρούσα εργασία βασίζεται στα πορίσματα και τις ενέργειες του έργου με τίτλο «TECHNOLANGUE: Intégration Entre les Langues de la Planification et de l'Information en Vue de l'Élaboration de Cartes Interactives d'Espaces Medocc-Meda et des Systèmes de Transport Correspondants» Το έργο εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος INTERREG IIIB- MEDOCC κατά το χρονικό διάστημα Ιουνίου 2004 – Αυγούστου 2006. Συμμετείχαν φορείς χωρών από την Ευρωπαϊκή και την Βορειοαφρικανική όχθη της Μεσογείου. Από

Ελληνικής πλευράς συμμετείχαν η «Δήμος Αθηναίων Επιχείρηση Μηχανογράφησης» (ΔΑΕΜ) και το ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ». Στόχος του έργου ήταν η ομογενοποίηση των χαρτογραφικών γλωσσών των διαφόρων χωρών ώστε οι παραγόμενοι χάρτες να διατίθενται στο διαδίκτυο, να γίνονται κατανοητοί και να είναι άμεσα αξιοποιήσιμοι από τους πολίτες αλλά και τις δημόσιες υπηρεσίες και άλλους φορείς στην ευρύτερη λεκάνη της Μεσογείου Για την καλύτερη διάχυση των πληροφοριών δημιουργήθηκε μία δικτυακή πύλη και πολλαπλοί διαδικτυακοί κόμβοι.

2. Δημιουργία Γεωπληροφοριακού Άτλαντα της Ελληνικής πιλοτικής περιοχής

Στα πλαίσια του έργου έγινε προσπάθεια για την ομογενοποίηση των χαρτογραφικών γλωσσών των διαφόρων χωρών και τη δημιουργία χαρτών στους οποίους θα φαίνονται - με όσο το δυνατόν κοινό υπόμνημα- οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη δημιουργία μεγάλων έργων στις διάφορες χώρες. Ειδικότερα, για κάθε πιλοτική περιοχή μελέτης δημιουργήθηκαν 3 ειδών χάρτες: Χάρτης της υπάρχουσας κατάστασης (Χάρτης 1), χάρτης των επεμβάσεων με την υλοποίηση του νέου έργου (Χάρτης 2) και τέλος ένας χάρτης στον οποίο φαίνονται οι απειλές (risks) ή οι ευκαιρίες (opportunities) που προκύπτουν για το περιβάλλον μετά τη δημιουργία του έργου (Χάρτης 3). Ο Χάρτης 3 προκύπτει με την τοποθέτηση του Χάρτη 1 πάνω στον Χάρτη 2. Οι προαναφερόμενοι χάρτες δημιουργήθηκαν, για κάθε χώρα που συμμετείχε στο έργο, σε 3 κλίμακες: Συνοπτική κλίμακα 1:250.000, μεσαία κλίμακα 1:25.000 και τέλος μεγάλη κλίμακα 1: 10.000.

Όσον αφορά την Ελλάδα ως πιλοτικές περιοχές ορίστηκαν: για την κλίμακα εφαρμογής 1:250.000 η Περιφέρεια Αττικής και ο νομός Βοιωτίας, για την κλίμακα 1: 25.000 η ευρύτερη περιοχή του Ελαιώνα και τέλος για την κλίμακα 1:10.000 η περιοχή νοτίως του δήμου Ραφήνας. Για την υλοποίηση των αντίστοιχων χαρτών απαιτήθηκε ο συνδυασμός και η άντληση ποικίλων πληροφοριών από χάρτες που προέρχονταν από διαφορετικές υπηρεσίες, που είχε η κάθε μια διαφορετικές υποπεριοχές στην εποπτεία της και δημιουργούσε χάρτες για διαφορετικούς σκοπούς.

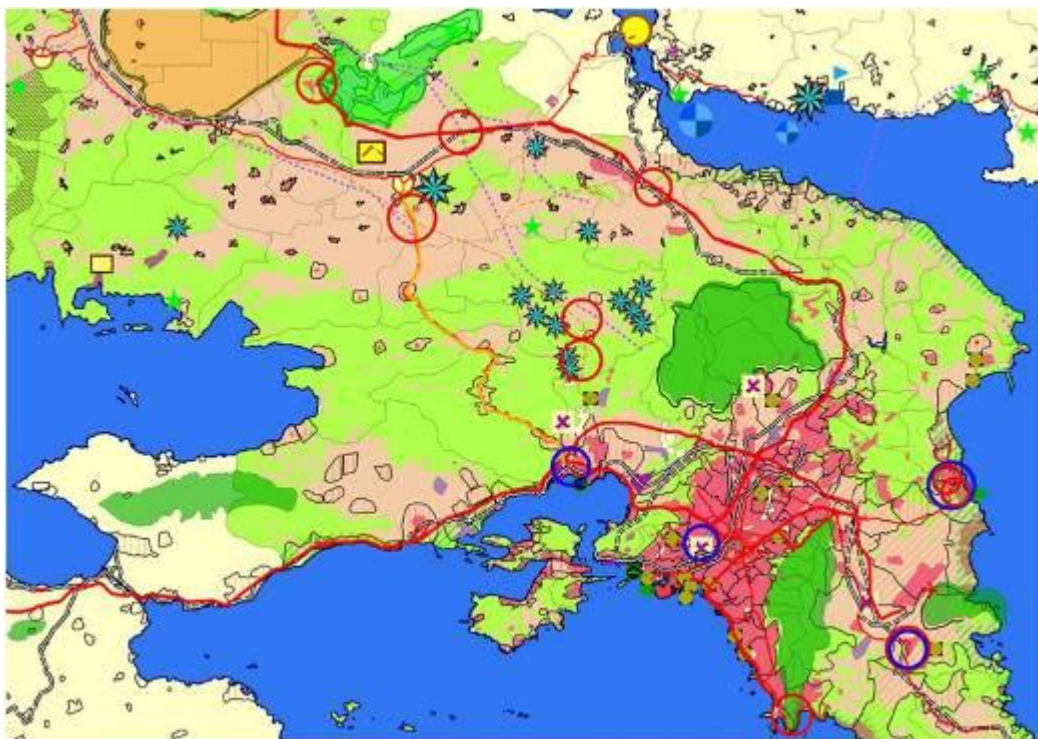


Σχήμα 1 Χάρτης1 υφιστάμενης κάλυψης γης τμήματος του Ελαιώνα με υπόβαθρο την εικόνα ΙΚΟΝΟΣ

ανήκει ο Ελαιώνας (Σχήμα 2). Η συναρμολόγηση των πολεοδομικών σχεδίων των δήμων στους οποίους ανήκουν τα διάφορα τμήματα του Ελαιώνα άφησε κενά στο χάρτη λόγω έλλειψης του ειδικού σχεδίου για τον Ελαιώνα από τα γενικά σχέδια του Δήμου Αιγάλεω.

Στην κλίμακα εφαρμογής 1:10.000 που αφορά τμήμα νοτίως του Δήμου Ραφήνας ο Χάρτης 1 αποτελείται από α) το τοπογραφικό υπόβαθρο 1/5.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. β) τον χάρτη κάλυψης γης των δήμων Ανατολικής Αττικής που προέρχεται από τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων δημιουργίας δικτύου συλλογής και επεξεργασίας οικιακών υγρών αποβλήτων των δήμων Ανατολικής Αττικής (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002, μελέτη που εκπονήθηκε από ECO-CONSULTANTS A.E.). Ο Χάρτης 2 προέρχεται από το πολεοδομικό σχέδιο Ραφήνας για την ίδια έκταση με εκείνη του Χάρτη 1. Έχουν αναπαρασταθεί οι ζώνες νόμιμου οικισμού με τα όρια τους καθώς και άλλες νόμιμες χρήσεις γης.

Ο Χάρτης 3 (Σχήμα 3) δημιουργήθηκε για κάθε πιλοτική περιοχή με την τοποθέτηση του αντίστοιχου Χάρτη 2 πάνω στο Χάρτη 1 και εντοπίστηκαν περιπτώσεις ευκαιριών ή συγκρούσεων για το περιβάλλον. Για παραδειγμα το σχέδιο για την περιοχή του Ελαιώνα δημιουργεί ευκαιρία για ολόκληρη την περιοχή του Ελαιώνα ενώ εμφανίζονται ξεκάθαρα οι συγκρούσεις π.χ κατοικίας - γεωργίας ή κατοικίας φυσικών ζωνών στην περιοχή της Ραφήνας. (Αναλυτικότερα για τα συμπεράσματα του έργου στο βιβλίο TECHNOLANGUE, Εκδόσεις ALEMANDI, 2007 υπό εκτύπωση).



Σχήμα 3. Χάρτης 3 συγκρούσεων (κόκκινοι κύκλοι) και ευκαιριών (μπλε κύκλοι) στην κλίμακα 1:250.000

Όλα τα δεδομένα αποδόθηκαν στο Ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του 1987 και δημιουργήθηκε Γεω-Πληροφοριακός Άτλαντας. Έμφαση δόθηκε στην ομογενοποίηση των

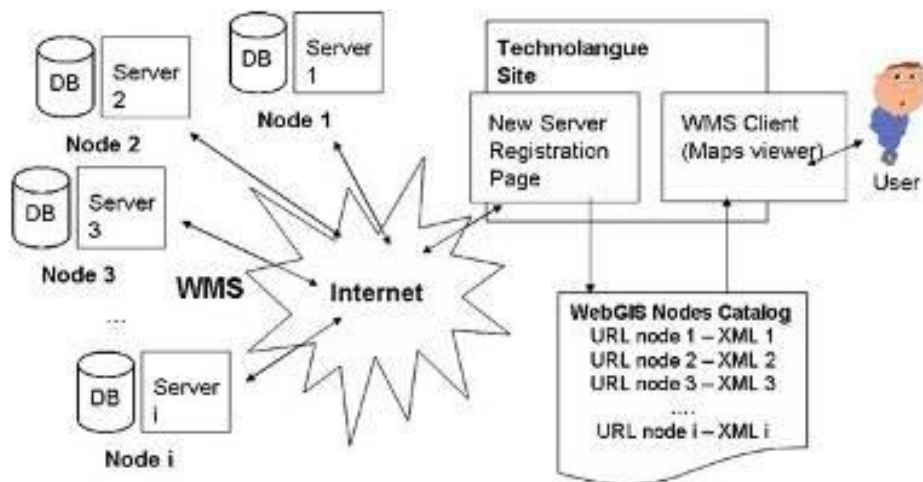
διαφορετικής κλίμακας στοιχείων πληροφορίας και στην απόδοση τους σε μορφή χάρτη. Η αλλαγή απεικόνισης στην οθόνη γίνεται ανάλογα με τη κλίμακα των δεδομένων και ακολουθεί την αλλαγή αντίληψης των φαινομένων. Για παράδειγμα οι κατηγορίες κάλυψης γης προσδιορισμένες σε μικρή κλίμακα (1/100.000, 1/50.000), όπως είναι στο σύστημα CORINE εξαφανίζονται όταν περνάμε σε πιο μεγάλες κλίμακες (1/25.000, 1/10.000) οπότε εμφανίζονται τα τοπικής κλίμακας δεδομένα. Για την υλοποίηση του ΓΣΠ την επεξεργασία των δορυφορικών και άλλων δεδομένων την δημιουργία των χαρτών και την απόδοση τους σε μορφή Γεω-Πληροφοριακού Άτλαντα χρησιμοποιήθηκε το TNTmips πακέτο λογισμικού.

Σαν γενικότερο συμπέρασμα από την δημιουργία του άτλαντα προκύπτει η ανάγκη ομογενοποίησης των διαφόρων χαρτών και συντονισμού των διαφόρων υπηρεσιών που δρουν σε διαφορετικές κλίμακες

Στα επιμέρους συμπεράσματα αξίζει να αναφερθεί ότι η επέκταση του συστήματος CORINE, σε μεγαλύτερη κλίμακα (1/25.000 και 1/10.000) δεν απαιτεί απλά και μόνο την προσθήκη ενός ή περισσότερων επιπέδων ταξινόμησης στα ήδη υπάρχοντα τρία πρώτα επίπεδα. Απαιτεί επίσης έλεγχο για το κατά πόσον η νέα κατηγορία, μετά από την αλλαγή της κλίμακας, διατηρεί τον αρχικό της ορισμό.

3. Δημιουργία Διαδικτυακού ΓΣΠ

Στα πλαίσια του έργου, κάθε εταιρος ανέπτυξε την δική του διαδικτυακή εφαρμογή. Όλες οι εφαρμογές επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ενός κεντρικού εξυπηρετητή (Εικ.4), ο οποίος λειτουργεί περισσότερο σαν ευρετήριο και συνδέει τους επιμέρους εξυπηρετητές με το περιεχόμενο τους (περιοχή απεικόνισης). Παρόλο που υπάρχει μια πλειάδα διαφορετικών υλοποιήσεων και εξυπηρετητών, η διασύνδεση είναι εφικτή επειδή όλοι ακολουθούν το ίδιο πρωτόκολλο (WMS).

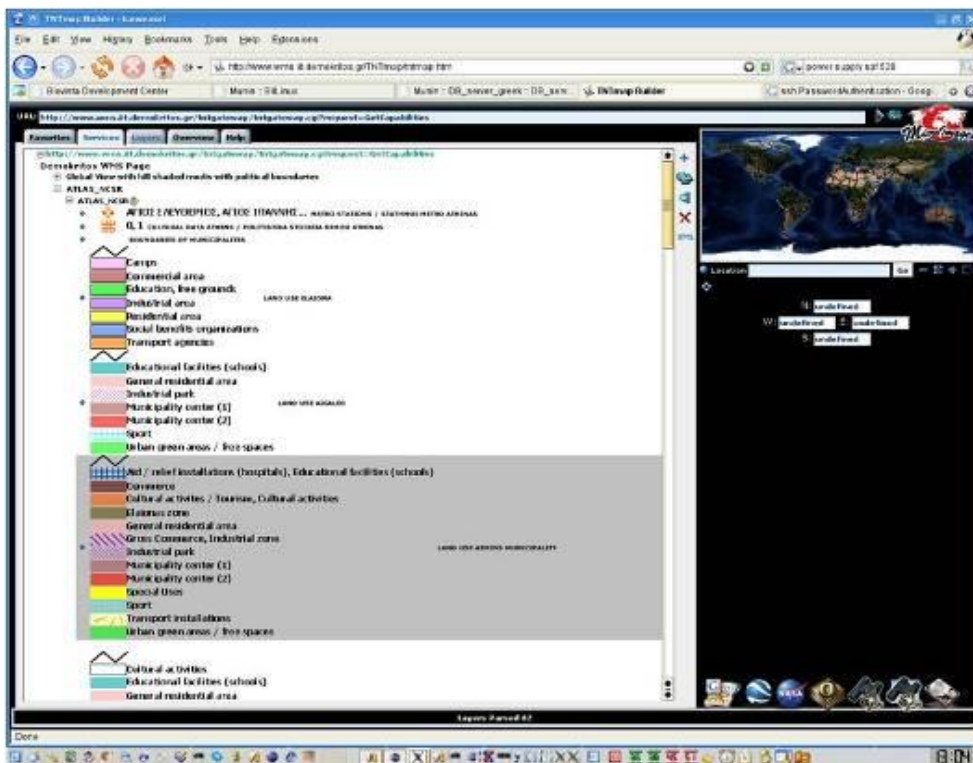


Σχήμα 4. Σχεδιάγραμμα του δικτύου

Απαιτήσεις από την πλευρά του εξυπηρετητή (server side): Για τις ανάγκες της Ελληνικής εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε ένα μηχάνημα με Windows XP και 1.5GB RAM ως εξυπηρετητής. Σε αυτόν τον κόμβο δικτύου, ο οποίος είναι ορατός μέσω WEB στην διεύθυνση <http://www.wms.iit.demokritos.gr>, εγκαταστάθηκε το λογισμικό TNT Server από την MicroImages σε συνδυασμό με τον open source Apache web server. Ο TNT server υποστηρίζει πλήρως το πρωτόκολλο WMS και παρέχει ένα φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον ώστε να μπορεί να διαχειρίζεται πλήρως την υπηρεσία WMS που διαμοιράζει.

Απαιτήσεις από την πλευρά του χρήστη (client side): Η μόνη απαίτηση που υπάρχει από τη πλευρά του πελάτη είναι να έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο με έναν ιστοπεριηγητή. Μπαίνοντας στο κεντρικό ιστότοπο μπορεί να εκκινήσει είτε το TNTMap και από εκεί το GoogleMaps είτε με ένα ειδικευμένο πρόγραμμα πλοήγησης σαν το Map Browser να μπορέσει να δει τους χάρτες. Στις παρακάτω εικόνες (Σχήμα 5, Σχήμα 6) μπορεί να δει κανείς πως φαίνονται επίπεδα του χάρτη (layers) στο TNTMap αλλά και στο GoogleMaps.

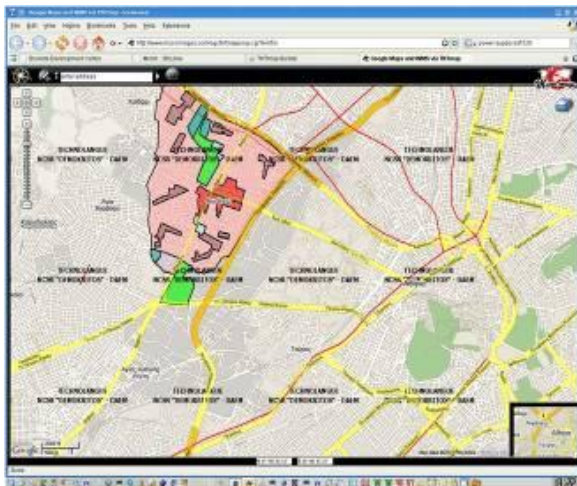
4. Συμπεράσματα



Σχήμα 5. Υπόμνημα του χάρτη 2 στο TNTMap

Στα πλαίσια του έργου Technolanguae έγινε προσπάθεια συνδυασμού χαρτογραφικών πληροφοριών που προέρχονταν από διαφορετικές υπηρεσίες και δημιουργήθηκαν χάρτες που εντοπίζονται οι ευκαιρίες και οι απειλές για το περιβάλλον από την δημιουργία διαφόρων έργων. Η γενικότερη δράση στα πλαίσια του έργου αποτελεί συνεισφορά στην κατεύθυνση του συντονισμού και της ομογενοποίησης των χαρτογραφικών γλωσσών των υπηρεσιών σε επίπεδο κρατικό και παραπέρα σε επίπεδο Μεσογειακής λεκάνης. Η διαδικτυακή εφαρμογή που υλοποιήθηκε δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης σε ποικίλα δεδομένα από το ευρύ κοινό των χρηστών του διαδικτύου αλλά και των ειδικών της χωροταξικής ανάλυσης.

Ο τελικός «χρήστης» έχει πρόσβαση σε χωροταξικά δεδομένα που είναι σε διαφορετικές κλίμακες και σε διαφορετικό επίπεδο λεπτομέρειας ανάλογα με την περιοχή στην οποία εστιάζει. Η σχεδίασή του εξασφαλίζει την μέγιστη χρήση των δυνατοτήτων τόσο του client όσο και του server και δίνει στον τελικό χρήστη δυνατότητες ενός ΓΣΠ μέσω του διαδικτύου.



Σχήμα 6. Το πολεοδομικό σχέδιο του Δήμου Αιγάλεω στο χάρτη του GoogleMaps

Βιβλιογραφία

Measuring the Internet Economy: An Exploratory Study

http://crec.mcombs.utexas.edu/works/articles/internet_economy.pdf

The Information Economy <http://www2.sims.berkeley.edu/resources/infoecon/>

Open GIS Consortium (OGC), 2003a, <http://www.ogc.org>

Open GIS Consortium (OGC), 2003b, GML Specification. <http://www.ogc.org/docs/02-023r4.pdf>

Open GIS Consortium (OGC), 2003c, WFS Specification. <http://www.ogc.org/docs/02-258.pdf>

Open GIS Consortium (OGC), 2003d, WCS Specification. <http://www.ogc.org/docs/02-065r6.pdf>

Open GIS Consortium (OGC), 2003e, Open GIS Web Services. <http://www.ogc.org/docs/03-086.pdf>

DSLforum, 2003, <http://www.dslforum.org>

INSPIRE, 2007 Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community, Official Journal of 25th April 2007, available at: <http://www.ec-gis.org/inspire/home.html>.

World Wide Web Consortium (W3C), 2003a, XML. <http://www.w3c.org/XML/>

World Wide Web Consortium (W3C), 2003b, Web Services. <http://www.w3c.org/2002/ws/>

World Wide Web Consortium (W3C), 2003c, HTTP Protocol. <http://www.w3c.org/protocols/>

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΙΣΤΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΠΟΥΛΙΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Μωράτης Η., Βαϊτης Μ.
Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας

Περίληψη

Η καταγραφή των παρατηρήσεων πουλιών στο φυσικό τους περιβάλλον μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη στη μελέτη και την προστασία των άγριων πουλιών. Εντούτοις, η αξιοποίηση των δεδομένων παρατήρησης πουλιών στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας είναι αποσπασματική, λόγω των ποικίλων τρόπων και μέσων καταγραφής που χρησιμοποιούνται από τους παρατηρητές. Η ετερογένεια αυτή όχι μόνο δυσχεραίνει την πρόσβαση στα δεδομένα, αλλά καθιστά αυτή καθ' αυτή την ύπαρξη των δεδομένων άγνωστη στους ερευνητές. Στην κατεύθυνση επίλυσης του παραπάνω προβλήματος, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μία πιλοτική εφαρμογή πληροφορικής για τη συστηματική καταγραφή παρατηρήσεων πουλιών στον Ελλαδικό χώρο. Οι βασικές απαιτήσεις που κατεύθυναν την ανάπτυξη της εφαρμογής ήταν: (α) η πληρότητα των δεδομένων καταγραφής, (β) η ακρίβεια της γεωαναφοράς της παρατήρησης, (γ) η ευκολία πρόσβασης και χρήσης της εφαρμογής και (δ) το χαμηλό κόστος. Η εφαρμογή αποτελείται από μία βάση γεωγραφικών δεδομένων για τη διαχείριση των δεδομένων παρατήρησης και από το περιβάλλον πρόσβασης στη βάση μέσω του παγκόσμιου ιστού (world wide web). Χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά ελεύθερο λογισμικό ανοιχτού κώδικα σε όλα τα επίπεδα της εφαρμογής. Στο άρθρο περιγράφονται τα κύρια σημεία του σχεδιασμού και της υλοποίησης της βάσης δεδομένων και του περιβάλλοντος χρήσης, καθώς επίσης και οι εμπειρίες που αποκομίστηκαν από την εγκατάσταση, αξιοποίηση, προσαρμογή και επέκταση ελεύθερου λογισμικού ανοιχτού κώδικα για τη διαχείριση και χαρτογραφική απεικόνιση χωρικών δεδομένων.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A WEB APPLICATION FOR THE RECORDING OF BIRD OBSERVATIONS IN GREECE

Moratis I., Vaitis M.
University of the Aegean, Department of Geography

Abstract

Records of bird observations in their natural environment can be valuable in the study and conservation of wild birds. Nevertheless, the exploitation of bird observation records in various parts of Greece is fragmentary, because of recording methods used by observers are not standardised. This heterogeneity leads to data access difficulties, and it is also the reason for an apparent lack of data as perceived by researchers. In the direction of finding a solution for this problem, a web application was designed and implemented for the systematic recording of bird observations in Greece. The development of the application was guided by the following main requirements: (a) the plenitude of the observation data, (b) the precision of the geographic reference of the observations, (c) the access and use facility of the application (d) a low cost. The application comprises a geographic database for the management of observation data and a web user interface for the access to the geographic database. Only free and open source software was used for the implementation of the application. The article describes the main issues of the design and implementation of the geographic database and the web user interface. It also describes the experiences that were acquired by the installation, exploitation, adaptation and extension of free and open source software that is used for the management and cartographic depiction of spatial data.

Λέξεις κλειδιά: παρατηρήσεις πουλιών, καταγραφή πουλιών, βάσεις γεωγραφικών δεδομένων, διαδικτυακή χαρτογραφία, ελεύθερο λογισμικό, λογισμικό ανοικτού κώδικα.

Key words: bird observation, bird recording, geographic databases, web maps, free software, open source software.

1. Εισαγωγή

Οι παρατηρήσεις αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους τρόπους άντλησης δεδομένων για τον τρόπο ζωής των άγριων πτηνών και των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν. Οι παρατηρήσεις μπορούν να αποκαλύψουν στοιχεία, που είναι αδύνατο να παρατηρηθούν σε εργαστηριακό περιβάλλον (Gaunt and Oring, 1997). Στην Ελλάδα, τα δεδομένα των παρατηρήσεων καταχωρούνται με διαφορετικούς τρόπους και σε διαφορετικά μέσα που κατέχει ο κάθε παρατηρητής, χωρίς να υπάρχει κάποια πρότυπη μεθοδολογία καταγραφής, ούτε ένα ενιαίο σύστημα αποθήκευσης και διαμοιρασμού. Η ετερογένεια αυτή, όχι μόνο δυσχεραίνει την πρόσβαση στα δεδομένα και την επεξεργασία τους, αλλά καθιστά αυτή καθ' αυτή την ύπαρξη των δεδομένων άγνωστη στους ερευνητές.

Με σκοπό την επίλυση του παραπάνω προβλήματος υλοποιήθηκε μια εφαρμογή πληροφορικής για την καταγραφή παρατηρήσεων πουλιών για τον Ελλαδικό χώρο. Κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση της εφαρμογής υπήρχε συνεχής επικοινωνία με την εθελοντική ομάδα δακτυλίωσης πουλιών του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, η οποία έθετε τις απαιτήσεις και πραγματοποιούσε τους ελέγχους. Η εφαρμογή είναι διαθέσιμη στους παρατηρητές μέσω του Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web - WWW) ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για εύκολη πρόσβαση και χρήση.

Επιπλέον, η εφαρμογή αξιοποιεί τα πρόσφατα διεθνή πρότυπα διαχείρισης χωρικών δεδομένων μέσω του Web, ώστε να είναι δυνατή η καταχώρηση και χαρτογραφική απεικόνιση του σημείου της παρατήρησης. Στις περισσότερες εφαρμογές αυτού του είδους ο χρήστης "ζητά" χάρτες ή χωρικές πληροφορίες και λαμβάνει τις ανάλογες απαντήσεις. Παράδειγμα τέτοιων εφαρμογών αποτελεί το έργο ArchaeoGEW με το οποίο οπτικοποιείται χωρική πληροφορία που αναφέρεται στο αρχαιολογικό εθνικό πάρκο Spina Verde στην Βόρεια Ιταλία. Η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να κάνει ερωτήματα πάνω σε ένα πλήθος χωρικών δεδομένων, όπως περιβαλλοντικά, γεωλογικά αλλά και δεδομένα που αφορούν αρχαιολογικά ευρήματα (Brovelli et al., 2003). Στο ArchaeoGEW γίνεται χρήση ελεύθερου λογισμικού και ειδικότερα του Συστήματος Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων PostgreSQL και του εξυπηρετητή χωρικών δεδομένων Mapserver. Μία άλλη εφαρμογή που επιτρέπει οπτικοποίηση και διαχείριση χωρικής πληροφορίας είναι το διαδικτυακό Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών στο καντόνι Vaud της Ελβετίας για τους αμπελοκαλλιεργητές του καντονιού (Ingensand et al., 2005). Το πλεονέκτημα τέτοιων εφαρμογών είναι ότι δεν χρειάζεται οι χρήστες να προμηθευτούν ακριβό λογισμικό για να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες απεικόνισης και διαχείρισης χωρικής πληροφορίας.

Μια πιο εξελιγμένη μορφή συναλλαγών (την οποία έχουμε υιοθετήσει) αποτελεί η δυνατότητα καταχώρησης χωρικών δεδομένων, παράλληλα με τη δυνατότητα ανάκτησης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ένα σοβαρό πρόβλημα σχετικά με τις εφαρμογές της παραπάνω μορφής είναι το υψηλό κόστος του λογισμικού που απαιτείται για να αναπτυχθούν (Halim, 2005). Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε η χρήση αποκλειστικά Ελεύθερου Λογισμικού/Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα (ΕΛ/ΛΑΚ) για την ανάπτυξη της εφαρμογής. Έτσι, πέρα από την επίτευξη της απαίτησης χαμηλού κόστους υλοποίησης, διερευνήθηκαν και οι δυνατότητες, που έχει το ΕΛ/ΛΑΚ στο χώρο της αποθήκευσης, διαχείρισης και απεικόνισης γεωγραφικών δεδομένων μέσω διαδικτύου.

Ένα άλλο πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί είναι η ακρίβεια της γεωαναφοράς του σημείου παρατήρησης. Όπως αναφέρθηκε από την ομάδα των χρηστών, αν και η χρήση συσκευών GPS είναι ο πιο ακριβής τρόπος υπολογισμού των χωρικών συντεταγμένων, δεν είναι

ρεαλιστικό να θεωρηθεί ότι χιλιάδες ερασιτέχνες παρατηρητές θα διαθέτουν τέτοια συσκευή, το αντίθετο μάλιστα. Επιπρόσθετα λοιπόν της εισαγωγής των συντεταγμένων μέσω GPS, η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα επιλογής του σημείου παρατήρησης μέσω πλοήγησης σε χάρτες.

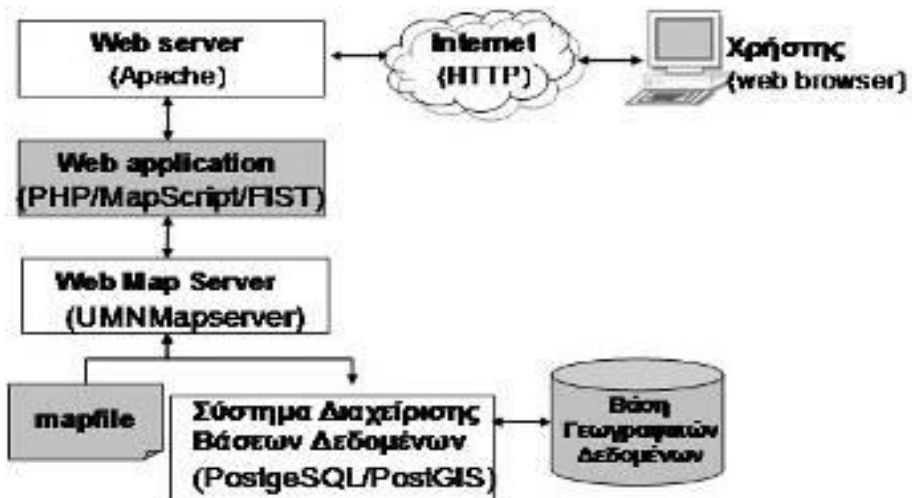
Συμπερασματικά, η εφαρμογή που περιγράφεται στη συνέχεια συμβάλει στην ενιαία και αποτελεσματική καταγραφή και διαχείριση των παρατηρήσεων πουλιών στον Ελλαδικό χώρο, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί και ένα επιτυχημένο πείραμα διερεύνησης της ευρωστίας και αξιοπιστίας του ΕΛ/ΛΑΚ στη διαχείριση γεωγραφικών δεδομένων μέσω του Παγκόσμιου Ιστού. Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφονται τα κύρια σημεία της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τον σχεδιασμό και υλοποίηση της εφαρμογής, ενώ στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται το περιβάλλον αλληλεπίδρασης χρήστη. Το άρθρο κλείνει με τα συμπεράσματα και τις μελλοντικές προεκτάσεις.

2. Μεθοδολογία ανάπτυξης της εφαρμογής

2.1 Γενικά

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο κύκλου ζωής λογισμικού του καταρράκτη (waterfall). Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει τις διακριτές φάσεις: ανάλυση απαιτήσεων, σχεδίαση, κωδικοποίηση, ολοκλήρωση, επαλήθευση και συντήρηση, οι οποίες εξελίσσονται ακολουθιακά. Η επιλογή του έγινε λόγω των σαφώς καθορισμένων και σταθερών απαιτήσεων της εφαρμογής (Pressman, 2000).

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε με αποκλειστική χρήση Ελεύθερου Λογισμικού/Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα. Ως ΕΛ/ΛΑΚ ορίζεται το λογισμικό που μπορεί να χρησιμοποιήσει, να αντιγράψει, να μετατρέψει και να αναδιανείμει ο προγραμματιστής χωρίς κανένα περιορισμό (Free Software Foundation, 2005). Το ΕΛ/ΛΑΚ πλαισιώνεται από ένα κίνημα, που αποτελείται από επιστήμονες, προγραμματιστές και χρήστες, και φιλοδοξεί να αναδείξει τα δικαιώματα των χρηστών λογισμικού και να προωθήσει την ελεύθερη επικοινωνία και κυκλοφορία της γνώσης μέσα από δίκτυα και συστήματα πληροφορικής. Έτσι επιτυγχάνεται η ανεξαρτησία από συγκεκριμένες πλατφόρμες, εταιρίες και αρχιτεκτονικές, με επακόλουθο τη μείωση του κόστους του λογισμικού, ενώ παράλληλα προάγεται η επιστημονική γνώση, η έρευνα, η διαλειτουργικότητα των συστημάτων και η συνεργασία επιστημονικών ομάδων (Fischer-Stabel and Wannemacher, 2004).



Σχήμα 1. Αρχιτεκτονική του συστήματος

Η εφαρμογή αποτελείται από δύο βασικά τμήματα: (α) μια βάση γεωγραφικών δεδομένων, για την αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων που αφορούν τις παρατηρήσεις, τους χάρτες, τα είδη των πουλιών και τους χρήστες της εφαρμογής, και (β) το περιβάλλον αλληλεπίδρασης χρήστη για την εισαγωγή και απεικόνιση των πληροφοριών μέσω του Παγκόσμιου Ιστού. Η αρχιτεκτονική όλου του συστήματος της εφαρμογής απεικονίζεται στο σχήμα 1. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των τμημάτων του συστήματος.

2.1.1 Ο εξυπηρετητής παγκόσμιου ιστού Apache

Ο Apache είναι σήμερα ο πιο δημοφιλής εξυπηρετητής του Παγκόσμιου Ιστού, αφού χρησιμοποιείται από το 70% των δικτυακών τόπων (The Apache, 2007). Επιλέχθηκε γιατί ανήκει στο ΕΛ/ΛΑΚ, αλλά και γιατί είναι αξιόπιστος και δοκιμασμένος, με συνεχή ανάπτυξη και βελτίωση της απόδοσής του.

2.1.2 Το σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων PostgreSQL και η χωρική του επέκταση PostGIS

Ο βασικός λόγος επιλογής του ΣΔΒΔ PostgreSQL είναι η δημοφιλής χωρική του επέκταση PostGIS, που δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης, διαχείρισης και (σε μικρό βαθμό) ανάλυσης χωρικών δεδομένων. Βασίζεται στην προτυποποίηση "Simple Feature Specification for SQL" του Open Geospatial Consortium (OGC), γεγονός που προάγει τη διαλειτουργικότητα, την επεκτασιμότητα και τις δυνατότητες επικοινωνίας των εφαρμογών που το χρησιμοποιούν.

2.1.3 Ο εξυπηρετητής χωρικών δεδομένων UMN Mapserver

Ο Mapserver αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο της Minnesota. Οπτικοποιεί χωρικά δεδομένα αποθηκευμένα είτε σε αρχεία είτε σε βάση γεωγραφικών δεδομένων, με βάση παραμέτρους που ορίζονται με συγκεκριμένο συντακτικό (αρχεία mapfile). Ο συνδυασμός του UMN MapServer και του PostgreSQL/PostGIS δίνουν στις εφαρμογές παγκόσμιου ιστού δυνατότητες των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (Adams and Garand, 2004), γι' αυτό και επιλέχθηκε στο πλαίσιο της εφαρμογής.

2.1.4 Η γλώσσα προγραμματισμού php/mapscript

Η php είναι μια γλώσσα προγραμματισμού για τη συγγραφή προγραμμάτων που εκτελούνται σε εξυπηρετητές του παγκόσμιου ιστού (server-side), υποστηρίζοντας τη δημιουργία δυναμικών ιστοσελίδων. Η επέκταση mapscript δίνει την επιπλέον δυνατότητα χειρισμού χωρικών δεδομένων. Η εύκολη διασύνδεση με τον UMN Mapserver, η αξιοπιστία της, αλλά και η χρήση της από το πρότυπο FIST (που θα αναφερθεί παρακάτω), την υπέδειξαν ως την καταλληλότερη για τις ανάγκες της εφαρμογής.

2.1.5 Το πρότυπο χωρικών εφαρμογών FIST

Το FIST (Flexible Internet Spatial Template) είναι ένα πρότυπο για τη δημιουργία εφαρμογών παγκόσμιου ιστού με δυνατότητα χειρισμού χωρικών δεδομένων. Αποτελείται από τμήματα ανοικτού κώδικα php, που με κατάλληλες επεκτάσεις και προσαρμογές, παράγουν με ευέλικτο τρόπο προγράμματα που να ανταποκρίνονται στις εκάστοτε ανάγκες. Το FIST υποστηρίζει διάφορες πηγές γεωγραφικών δεδομένων, αφού ο κώδικάς του είναι ανεξάρτητος από συγκεκριμένες τεχνολογίες εξυπηρετητών (UNBC, 2006).

Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται τα κυριότερα σημεία από τις φάσεις ανάπτυξης της εφαρμογής.

2.2 Ανάλυση απαιτήσεων

Στη φάση αυτή καταγράφηκαν οι ανάγκες των χρηστών (ομάδα δακτυλίωσης πουλιών Πανεπιστημίου Αιγαίου), το είδος των δεδομένων που αφορούν τις παρατηρήσεις και τους χρήστες, οι επιθυμητές λειτουργίες της εφαρμογής, καθώς και οι περιορισμοί σε εξοπλισμό και λογισμικό. Στο πλαίσιο αυτό, ήταν απαραίτητη η διερεύνηση των παρακάτω ερωτημάτων:

- ποιες κατηγορίες δεδομένων χρειάζεται να αποθηκεύει η βάση δεδομένων και πως;
- τι προϊόντα και όψεις δεδομένων θα παράγονται;
- ποιες κατηγορίες χρηστών θα χρησιμοποιούν τη βάση και κατ' επέκταση την εφαρμογή;

Για να απαντηθούν τα παραπάνω ερωτήματα χρειάστηκε συστηματική διερεύνηση και συνομιλίες με πιθανούς χρήστες, αλλά και με την ομάδα που επιθυμούσε την υλοποίηση της εφαρμογής. Η ανίχνευση των αναγκών αποκάλυψε τις βασικές κατηγορίες δεδομένων, οι οποίες είναι:

- Τα δεδομένα με χωρική υπόσταση. Τα δεδομένα με χωρική υπόσταση αποτελούν οι σημειακές παρατηρήσεις πουλιών αλλά και οι επικαλύψεις (*layers*) που σχηματίζουν το βασικό χάρτη της εφαρμογής (πόλεις, ακτογραμμή, ποτάμια κ.τ.λ.).
- Τα περιγραφικά δεδομένα με μη χωρική υπόσταση. Τα δεδομένα με μη χωρική υπόσταση θα περιγράφουν βασικές οντότητες της εφαρμογής, όπως οι χρήστες της εφαρμογής αλλά και δεδομένα που κάνουν πληρέστερη την καταχώριση των παρατηρήσεων (π.χ. είδη πουλιών).

Οι χρήστες ανήκουν σε δύο ομάδες. Η πρώτη είναι οι απλοί παρατηρητές πουλιών, που αρχικά έχουν μόνο δικαίωμα ανάγνωσης και εισαγωγής δεδομένων και εκτέλεσης χωρικών ερωτημάτων σε αυτά. Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από τους διαχειριστές του συστήματος, οι οποίοι έχουν όλα τα δικαιώματα διαχείρισης στα δεδομένα της βάσης.

Με την ολοκλήρωση της ανάλυσης απαιτήσεων καταγράφηκαν οι κυριότερες απαιτήσεις, οι οποίες συνοψίζονται παρακάτω:

- Εύκολη πρόσβαση και υψηλή διαθεσιμότητα της εφαρμογής
- Ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων σε εξοπλισμό και λογισμικό για τον χρήστη
- Εισαγωγή σημείου παρατήρησης με χρήση GPS ή με χαρτογραφική πλοήγηση
- Κωδικοποίηση δεδομένων που αφορούν είδη και δραστηριότητες των πουλιών
- Πιστοποίηση των χρηστών της εφαρμογής
- Επεκτασιμότητα της εφαρμογής (ώστε να είναι εύκολη η ενσωμάτωση επιπλέον λειτουργιών στο μέλλον)
- Συμβατότητα με διεθνή πρότυπα (ώστε να είναι δυνατή η μελλοντική διασύνδεση με άλλα συστήματα, εμπορικά ή ελεύθερα)
- Φιλικότητα προς το χρήστη
- Χαμηλό κόστος λογισμικού της εφαρμογής

2.3 Εννοιολογικός σχεδιασμός βάσης δεδομένων

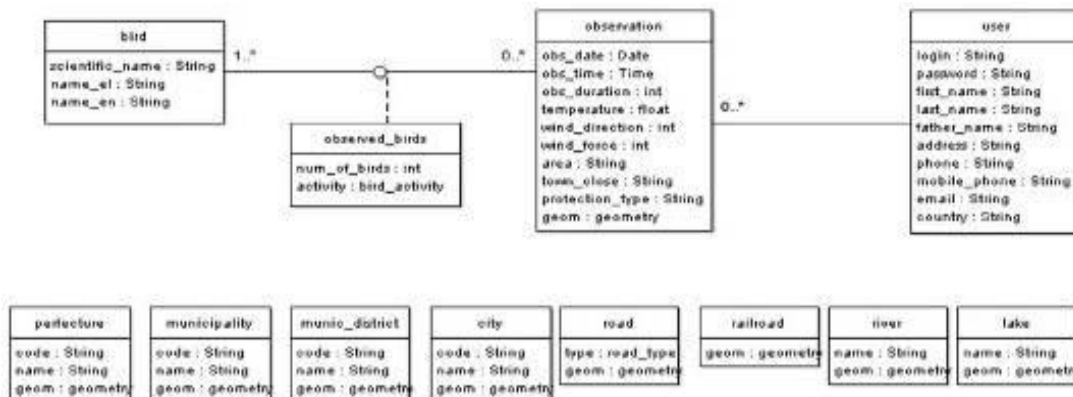
Ο σχεδιασμός του εννοιολογικού μοντέλου (ή μοντελοποίηση) της βάσης δεδομένων έγινε με χρήση της γλώσσας UML. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται το διάγραμμα κλάσεων που προέκυψε, ενώ στη συνέχεια δίνεται μια συνοπτική περιγραφή των κλάσεων και των συσχετίσεων του μοντέλου.

Η κλάση *observation* αναπαριστά τις παρατηρήσεις. Ενσωματώνει διάφορες ιδιότητες που περιγράφουν το χρόνο, τις συνθήκες και την τοποθεσία της παρατήρησης, καθώς και το καθεστώς προστασίας της περιοχής, αν υφίσταται. Η ιδιότητα *geom* διατηρεί τις

συντεταγμένες του σημείου παρατήρησης.

Η κλάση *bird* αναπαριστά τα είδη των άγριων πτηνών που συναντώνται στην Ελλάδα. Οι ιδιότητες της περιγράφουν την ονομασία κάθε είδους, τόσο την επιστημονική, όσο και την κοινή σε δύο γλώσσες.

Η κλάση συσχέτισης *observed_birds* αναπαριστά τα είδη των πουλιών που παρατηρήθηκαν σε κάθε παρατήρηση. Διατηρούνται οι πληροφορίες του πλήθους των πουλιών κάθε είδους, καθώς και της δραστηριότητας αυτών κατά την παρατήρηση. Η



Σχήμα 2. Εννοιολογικός σχεδιασμός της βάσης δεδομένων

δραστηριότητα έχει κωδικοποιηθεί για λόγους ενιαίας καταχώρησης.

Η κλάση *user* αναπαριστά τους πιστοποιημένους χρήστες της εφαρμογής και διατηρεί διάφορες προσωπικές πληροφορίες και στοιχεία επικοινωνίας για τον καθένα.

Η συσχέτιση μεταξύ των κλάσεων *user* και *observation* αναπαριστά τη σύνδεση κάθε παρατήρησης με τον χρήστη που την πραγματοποίησε.

Οι υπόλοιπες κλάσεις: *prefecture* (Νομός), *municipality* (Δήμος), *munic_district* (Δημοτικό Διαμέρισμα), *city* (οικισμός), *road* (δρόμος), *railroad* (σιδηροδρομική γραμμή), *river* (ποταμός) και *lake* (λίμνη), αναπαριστούν τα χωρικά δεδομένα που υποστηρίζουν την εισαγωγή του σημείου παρατήρησης κατά τη χαρτογραφική πλοήγηση του χρήστη. Όλες αυτές οι κλάσεις ενσωματώνουν κατηγορήμα τύπου *geometry* για τη αποθήκευση της χωρικής πληροφορίας τους.

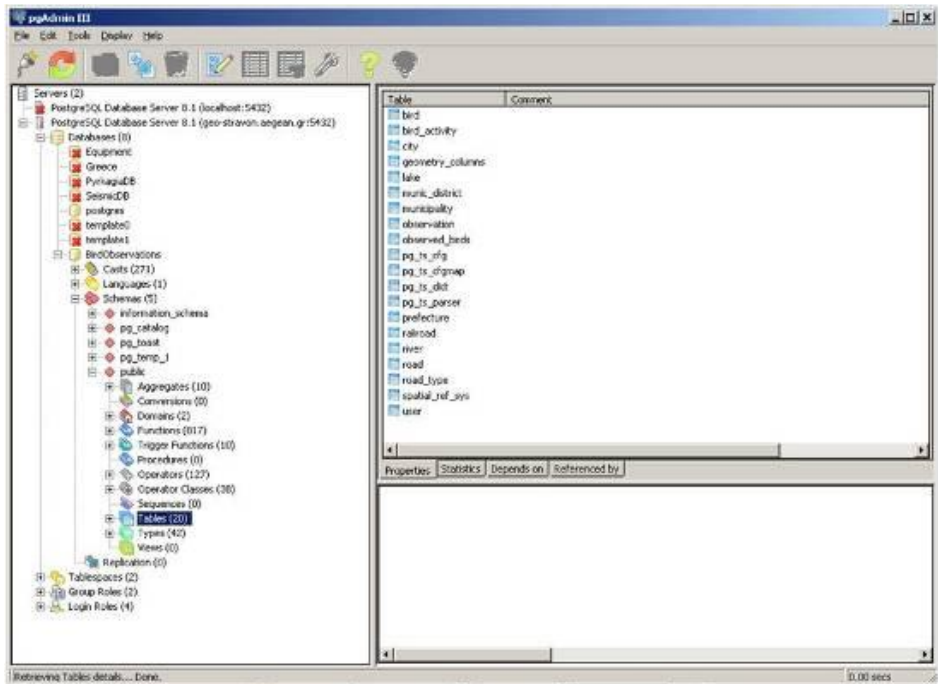
Για το σχεδιασμό του διαγράμματος UML χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό *argouML*.

2.4 Λογικός και φυσικός σχεδιασμός βάσης δεδομένων

Κατά τον λογικό σχεδιασμό μετασχηματίστηκε το εννοιολογικό μοντέλο της βάσης δεδομένων στο σχεσιακό μοντέλο δεδομένων, ακολουθώντας τους αντίστοιχους κανόνες (Ramakrishnan and Gehrke, 2002). Πρόέκυψε μια σειρά από σχέσεις (*relations*) για τη διαχείριση των στιγμιότυπων των κλάσεων και των συσχετίσεων, που στη συνέχεια (κατά τον φυσικό σχεδιασμό) αποτέλεσαν τους πίνακες της βάσης δεδομένων στο ΣΔΒΔ PostgreSQL/PostGIS. Τέλος, δημιουργήθηκαν τα αναγκαία ευρετήρια (*indexes*) για τη βελτίωση της απόδοσης των αναζητήσεων στη βάση δεδομένων. Ο φυσικός σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε με το ελεύθερο λογισμικό *pgadmin* (απεικονίζεται στο σχήμα 3).

Μετά την ολοκλήρωση της υλοποίησης της βάσης δεδομένων έγινε εισαγωγή των κωδικοποιημένων δεδομένων (στους πίνακες *bird*, *bird_activity*, *road_type*) καθώς των χωρικών δεδομένων αναφοράς (πίνακες *prefecture*, *municipality*, *munic_district*, *city*, *road*, *railroad*, *river*, *lake*).

2.5 Ακρίβεια γεωαναφοράς των παρατηρήσεων



Σχήμα 3. Φυσικός σχεδιασμός της βάσης δεδομένων

Ένα σημαντικό ζήτημα που προέκυψε κατά το σχεδιασμό της εφαρμογής χρήστη, είναι ο βαθμός ακρίβειας και η κλίμακα της χωρικής πληροφορίας, θέματα που σχετίζονται άμεσα με το τρόπο εισαγωγής του σημείου της παρατήρησης. Με βάση το (British Trust for Ornithology, 2007), υπάρχουν οι εξής προσεγγίσεις:

1. Ο χρήστης εισάγει ως περιοχή παρατήρησης τον κωδικό του τετραγώνου ενός πλέγματος (grid), τον οποίο βρίσκει με την βοήθεια ενός χάρτη.
2. Ο χρήστης εισάγει τη θέση της παρατήρησης πατώντας με το ποντίκι σε έναν χάρτη, κατόπιν πλοήγησης για την εύρεση του σωστού σημείου.
3. Ο χρήστης εισάγει τις ακριβείς συντεταγμένες της παρατήρησης με χρήση μιας συσκευής GPS.
4. Ο χρήστης εισάγει την ονομασία της περιοχής όπου έγινε η παρατήρηση.
5. Ο χρήστης εισάγει το σημείο παρατήρησης με χρήση των Google maps.

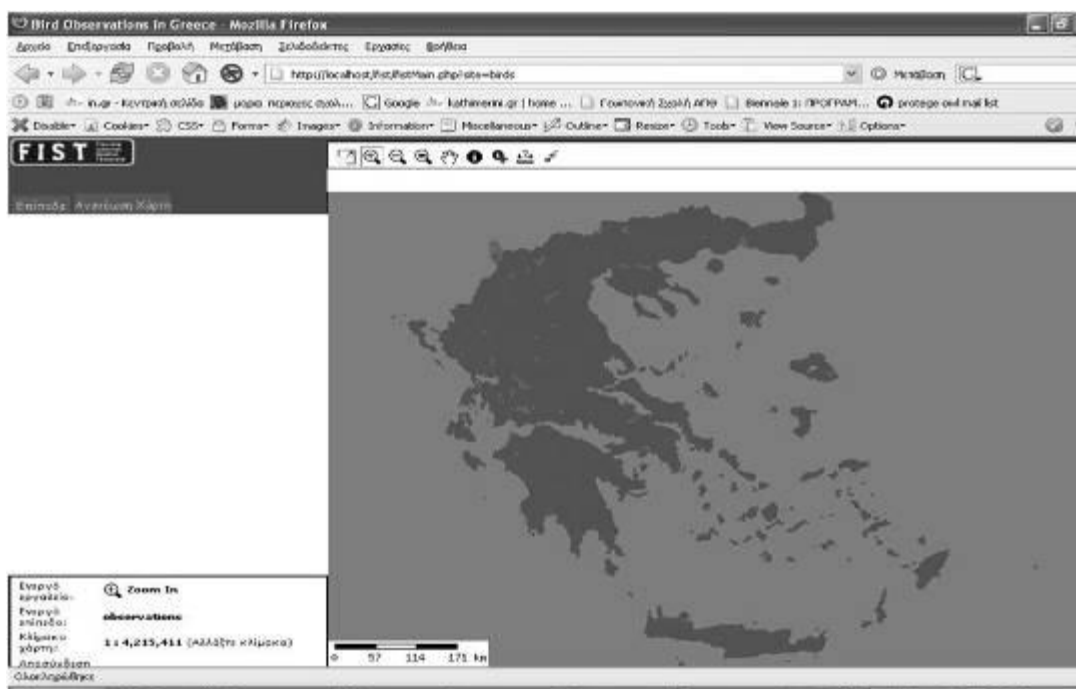
Επιλέχθηκε η υιοθέτηση των προσεγγίσεων 2 και 3. Η πρώτη υποβοηθά την ακριβέστερη επιλογή του σημείου παρατήρησης έναντι των προσεγγίσεων 1 και 4, ενώ η δεύτερη

απευθύνεται στους χρήστες που διαθέτουν τον κατάλληλο εξοπλισμό. Υπάρχει η πρόβλεψη για επέκταση της εφαρμογής που υλοποιήθηκε ώστε να υποστηρίζει όλους τους τρόπους εισαγωγής παρατηρήσεων.

3. Περιβάλλον αλληλεπίδρασης χρήστη

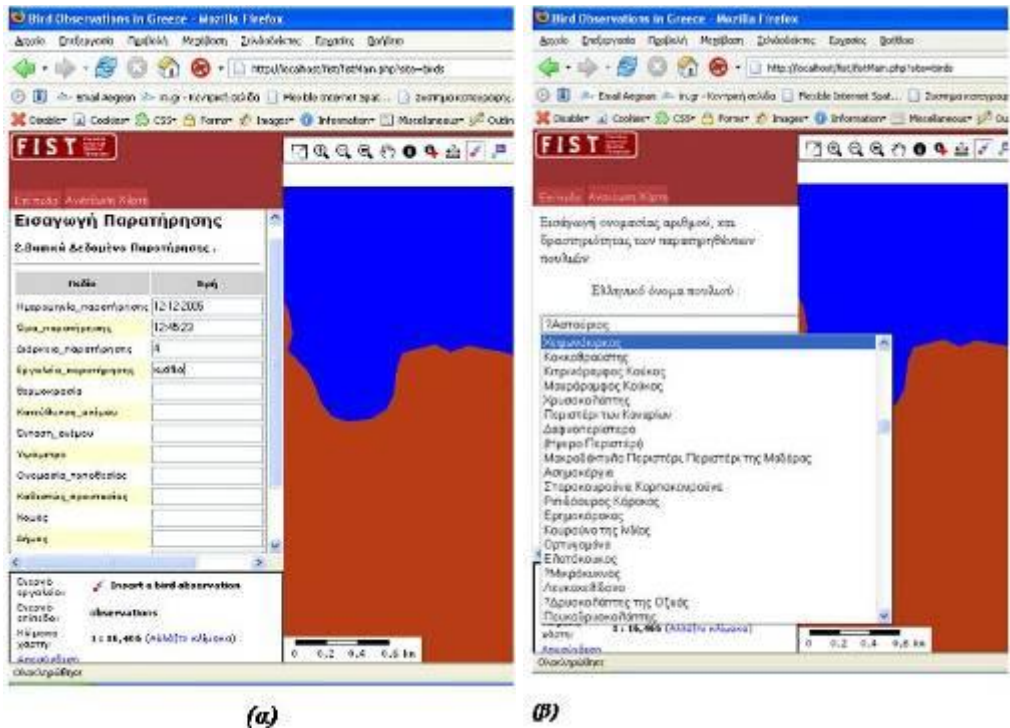
Στην ενότητα αυτή παραθέτουμε συνοπτικά τα βήματα που εκτελεί ο χρήστης/παρατηρητής από τον υπολογιστή του για την καταχώρηση των παρατηρήσεων. Όπως έχει αναφερθεί, η μοναδική απαίτηση είναι η χρήση ενός φυλλομετρητή του παγκόσμιου ιστού (web browser).

Μετά τον έλεγχο πρόσβασης, παρουσιάζεται στο χρήστη ο χάρτης της ελληνικής επικράτειας (σχήμα 4). Η εύρεση του σημείου παρατήρησης πραγματοποιείται με διαδοχικές εστιάσεις στον χάρτη, ενώ παράλληλα υπάρχει δυνατότητα εμφάνισης διαφόρων επικαλύψεων (layers), όπως οικισμών, δρόμων, ποταμών κ.λπ., για την υποβοήθηση του χρήστη.



Σχήμα 4. Η αρχική οθόνη εισαγωγής παρατηρήσεων

Μετά την επιλογή του σημείου παρατήρησης, ο χρήστης εισάγει στο αριστερό μέρος της οθόνης τα βασικά δεδομένα για τις συνθήκες και την περιοχή της παρατήρησης (σχήμα 5a). Στο επόμενο βήμα, επιλέγει το είδος και αριθμό των παρατηρηθέντων πουλιών, καθώς και τη δραστηριότητα αυτών (σχήμα 5b). Αυτό το βήμα μπορεί να επαναλαμβάνεται, μέχρι να εισαχθούν όλα τα διαφορετικά είδη πουλιών που παρατηρήθηκαν και ο χρήστης να επιλέξει έξοδο από τη διαδικασία εισαγωγής της παρατήρησης.



Σχήμα 5. Εισαγωγή των βασικών στοιχείων της παρατήρησης, καθώς και του πλήθους, του είδους και της δραστηριότητας των πουλιών

4. Συμπεράσματα και προοπτικές

Με την υλοποίηση της εφαρμογής ικανοποιήθηκε ο αρχικός σκοπός, ενώ παράλληλα απαντήθηκαν επιμέρους ερωτήματα που είχαν τεθεί. Πιο αναλυτικά, το πρόβλημα της απουσίας ενός ενιαίου συστήματος καταγραφής των παρατηρήσεων άγριων πτηνών στον Ελλαδικό χώρο, αντιμετωπίστηκε χωρίς την ανάγκη αγοράς ακριβού εμπορικού λογισμικού, ενώ παράλληλα η εφαρμογή που δημιουργήθηκε είναι εύκολη στη χρήση και προσπελάσιμη σε οποιονδήποτε πιστοποιημένο παρατηρητή έχει σύνδεση στο διαδίκτυο. Ακόμη, απαντήθηκε επιτυχώς το ερώτημα της διερεύνησης της ευρωστίας και αξιοπιστίας του Ελεύθερου Λογισμικού/Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα στην περιοχή των βάσεων γεωγραφικών δεδομένων και της διαδικτυακής χαρτογραφίας. Κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής διαπιστώσαμε την θετική ανταπόκριση της κοινότητας των χρηστών του ΕΛ/ΛΑΚ στην επίλυση των προβλημάτων που ανέκυπταν. Επίσης, προέκυψαν νέες ιδέες για μελλοντική εξέλιξη της εφαρμογής, που λόγω του ανοικτού της χαρακτήρα υποστηρίζει την ευέλικτη υλοποίηση αυτών. Να παρατηρηθεί εδώ ότι η εφαρμογή αποτελεί από μόνη της ένα παράδειγμα εφαρμογής ανοικτού κώδικα, ελεύθερου σε μετατροπές και αναδιανομή.

Στις μελλοντικές επεκτάσεις της εφαρμογής περιλαμβάνεται η υποστήριξη λειτουργιών ανάλυσης των αποθηκευμένων δεδομένων μέσω του Παγκόσμιου Ιστού, η οποία τη στιγμή αυτή πραγματοποιείται off-line με εξαγωγή των δεδομένων από τη βάση δεδομένων σε κατάλληλη μορφή για επεξεργασία. Επίσης, η εφαρμογή αυτή αποτελεί ένα βήμα στο χώρο της συλλογής και διαχείρισης περιβαλλοντολογικών και οικολογικών δεδομένων στον ελλαδικό χώρο. Το πεδίο καταγραφής των παρατηρήσεων μπορεί εύκολα να επεκταθεί για

την υποστήριξη ερευνών που απαιτούν δεδομένα από άλλους ζωικούς ή φυτικούς πληθυσμούς. Στην κατεύθυνση αυτή, με την απαραίτητη χρηματοδότηση, η εφαρμογή θα μπορούσε να μετεξελιχθεί σε ένα πολύπλευρο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων στα χέρια επιστημόνων, οργανισμών προστασίας της χλωρίδας και πανίδας, περιβαλλοντικών οργανώσεων και κρατικών υπηρεσιών.

Βιβλιογραφία

Adams, T., Garand, M., 2004: Free Software: The Open (GIS) Source Solution for Local Governments. A Case Study: Perspectives, Experience and Possibilities for the City of Frankfurt (Oder). 9th International Symposium on Information and Communication Technologies in Urban and Spatial Planning and Impacts of ICT on Physical Space, Vienna, 25 - 27 February 2004.

British Trust for Ornithology, 2007: Bird-track: Recording sites, **διαθέσιμο στη διεύθυνση:** http://www.bto.org/birdtrack/taking_part/help_record_sites.htm

Brovelli, M. A., Magni, D., 2003: An Archaeological web gis application based on mapserver and postgis. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (34), 89-94

Fischer-Stabel, P., Wannemacher, S., 2004: Open Source GIS - Architecture, Sharing Data and Knowledge in an UNESCO MAB Biosphere Reserve. 18th International Conference on Informatics for Environmental Protection, Geneva, 21-23 October 2004, 624-633.

Free Software Foundation, 2005: The Free Software Definition. Free Software Foundation, Boston, USA, **διαθέσιμο στη διεύθυνση:** <http://www.fsf.org/licensing/essays/free-sw.html>

Gaunt, A. S., Oring, L. W. (eds.) 1997: Guidelines to the Use of Wild Birds in Research. The Ornithological Council, Washington DC, USA.

Halim, S., 2005: Design and Implementation of WebGD Framework. University Consortium of Geographic Information Science Summer Assembly, Snow King Resort Wyoming, 28 June-1 July 2005.

Ingensand, J., Caloz, R., Pythoud, K., 2005: Creating an interactive network for wine-cultivation. The Inaugural Nordic Geographers Meeting, Lund 10-14 May 2005.

Pressman, R. S., 2000: Software Engineering: A Practitioner's Approach. McGraw-Hill, London, UK.

Ramakrishnan, R., Gehrke, J., 2002: Συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

The Apache HTTP Server Project, 2007: <http://httpd.apache.org/> (**επίσκεψη 13/6/2007**)

UNBC, 2006: Flexible Internet Spatial Template. University of Northern British Columbia, **διαθέσιμο στη διεύθυνση:** <http://datashare.gis.unbc.ca/fist/index.htm>

ΜΙΑ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΥΛΩΝ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

Αθανάσης Ν., Καλαμποκίδης Κ., Βαϊτης Μ., Σουλακέλλης Ν.
Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας

Περίληψη

Η ανάγκη για εύκολη πρόσβαση σε γεωγραφικά δεδομένα αυξάνεται ολοένα και περισσότερο. Όμως οι πληροφορίες αυτές είναι πολλές φορές διασκορπισμένες σε διάφορους οργανισμούς και φορείς (εργαστήρια γεωγραφικών πληροφοριών, δημόσιοι φορείς γεωγραφικών δεδομένων κ.λπ.), κάτι που δυσχεραίνει την αποτελεσματική συλλογή και αξιοποίησή τους. Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη γεωγραφικών διαδικτυακών πυλών, γνωστών ως γεωπύλες (geoportals), έχει βοηθήσει σημαντικά στην καλύτερη και αποτελεσματικότερη οργάνωση και διαχείριση γεωγραφικών δεδομένων στο διαδίκτυο. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια καινοτόμος μεθοδολογία για την οργάνωση πληροφοριών σε γεωγραφικές πύλες. Με βάση το Σημασιολογικό Ιστό (Semantic Web), η προσέγγιση αυτή εκμεταλλεύεται το πλαίσιο περιγραφής πόρων (Resource Description Framework-RDF) για την περιγραφή των μεταδεδομένων της γεωπύλης μέσω μιας κατάλληλης οντολογίας. Όταν οι χρήστες αναζητούν πληροφορίες, η σημασιολογική αυτή οργάνωση των πληροφοριών αξιοποιείται με σκοπό την αποτελεσματικότερη αναζήτηση επιθυμητών πληροφοριών στο περιβάλλον της γεωπύλης.

TOWARDS A SEMANTICS-BASED APPROACH IN THE DEVELOPMENT OF GEOGRAPHIC PORTALS

Athanasios N., Kalabokidis K., Vaitis M., Soulakellis N.
Department of Geography, University of the Aegean, Greece

Abstract

As the demand for geospatial data increases, the lack of efficient ways to find suitable information becomes critical. In this paper, a new methodology for knowledge discovery in geographic portals is presented. Based on the Semantic Web, our approach exploits the Resource Description Framework (RDF) in order to describe the geoportals' information with ontology-based metadata. When users search for data of interest our approach takes advantage over the portal's semantic infrastructure. The high level navigation and querying mechanisms provided lead to a more accurate and efficient information discovery. New information published in the geoportals by information providers is enriched with metadata that hold the appropriate ontology-based semantics.

Λέξεις κλειδιά: γεωπύλη, σημασιολογικός ιστός, μεταδεδομένα.

Key words: geoportals, semantic web, metadata.

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη διαδικτυακών γεωγραφικών πυλών, γνωστές ως γεωπύλες (γεωγραφικές πύλες), έχει βοηθήσει σημαντικά στην καλύτερη και αποτελεσματικότερη οργάνωση και γεωγραφικών πληροφοριών στο διαδίκτυο. Οι γεωπύλες παρέχουν ολοκληρωμένη πρόσβαση σε γεωγραφικά σύνολα πληροφοριών, όπως χάρτες, γεωγραφικές υπηρεσίες, αναλυτικά μοντέλα και συστήματα στήριξης αποφάσεων. Τα

γεωγραφικά δεδομένα σε μια γεωπύλη ανανεώνονται διαρκώς από κατάλληλους παροχείς πληροφοριών (information providers). Σκοπός των παροχών πληροφοριών είναι να δημοσιοποιούν τις περιγραφές των πληροφοριών τους, γνωστές και ως μεταδεδομένα, στη γεωπύλη ώστε οι υπόλοιποι χρήστες της να είναι σε θέση να τα αξιοποιούν ανά πάσα στιγμή. Η γεωπύλη με άλλα λόγια λειτουργεί ως διαμεσολαβητής μεταξύ χρηστών και παροχών. Οι παροχείς στέλνουν περιγραφές μεταδεδομένων στη γεωπύλη, ενώ οι χρήστες της γεωπύλης αναζητούν και βρίσκουν γεωγραφικές πληροφορίες που τους ενδιαφέρουν.

Σε ένα όμως τόσο κατανεμημένο σύστημα όπως μια γεωπύλη, υπάρχουν ακόμα πολλά ανοικτά ζητήματα. Η ραγδαία ανάπτυξη των διαθέσιμων πληροφοριών σε συνδυασμό με την έλλειψη ενός κοινού διαλειτουργικού τρόπου διακίνησης και αξιοποίησής τους, αποτελούν τις βασικότερες προκλήσεις. Προσπάθειες για προτυποποίηση γεωγραφικών πληροφοριών συντελούνται κυρίως από το Open Geospatial Consortium (OGC, 2004), ενώ τα βασικότερα πρότυπα μεταδεδομένων είναι τα Content Standard on Digital Geospatial Metadata Standard (Lee and Chan, 2000) της Geographic Data Committee (FGDC) και το πρότυπο "ISO 19115" (Ostensen, 1996) τα οποία περιγράφουν τις ιδιότητες των δεδομένων μέσα από ένα προκαθορισμένο σύνολο χαρακτηριστικών. Όμως, οι πληροφορίες πολλές φορές περιέχουν ερμηνείες κατανοητές αποκλειστικά μόνο από τους δημιουργούς τους. Η χρησιμότητα της πληροφορίας που ανήκει σε ένα περιβάλλον είναι περιορισμένη όταν αυτή χρησιμοποιείται σε ένα διαφορετικό περιβάλλον, (Bernard *et al.*, 2003), εξαιτίας της ελλιπούς μετάφρασης της ερμηνείας της. Το πρόβλημα αυτό είναι ευρύτερα γνωστό ως σημασιολογική ετερογένεια (Goh *et al.*, 1999). Τα πρότυπα γεωγραφικών πληροφοριών παρέχουν περιγραφές με βάση λέξεις κλειδιά, δίχως η σημασιολογία της να μπορεί να γίνει κατανοητή από τα υπολογιστικά συστήματα (Parekh *et al.*, 2004). Έτσι, τα συμβατικά πρότυπα μεταδεδομένων όταν χρησιμοποιούνται από συστήματα αναζήτησης γεωγραφικών πληροφοριών πολλές φορές είτε δεν βρίσκουν τις επιθυμητές πληροφορίες στο χρήστη είτε αυτές που βρίσκουν δεν είναι (σημασιολογικά) κοντά σε αυτό που αναζητά (Bernstein and Klein, 2002). Παράλληλα, πολλές φορές οι παροχείς μιας γεωπύλης επιθυμούν να αποδώσουν στα δεδομένα χαρακτηριστικά που δεν ανήκουν όμως στο σύνολο των προτύπων μεταδεδομένων. Σε μια γεωπύλη φυσικών καταστροφών για παράδειγμα, μια φωτιά θα μπορούσε να έχει ως χαρακτηριστικό τη χρήση γης (πριν αυτή καταστραφεί) ή το ποσοστό της σοδιάς που καταστράφηκε από τη φωτιά. Αν και τα πρότυπα μεταδεδομένων είναι επεκτάσιμα, εντούτοις χαρακτηριστικά όπως τα παραπάνω δεν περιέχονται σε αυτά, με αποτέλεσμα οι πληροφορίες μιας γεωπύλης να στερούνται σημαντικά μεταδεδομένα.

Μια προσέγγιση για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων είναι ο Σημασιολογικός Ιστός (Antonίου *et al.*, 2005), μια προέκταση του παγκόσμιου ιστού όπου η σημασιολογία της πληροφορίας είναι κατανοητή και επεξεργάσιμη από κατάλληλα υπολογιστικά προγράμματα. Βασικό στοιχείο στο σημασιολογικό ιστό διαδραματίζουν οι οντολογίες. Οντολογία είναι μια τυπική, ρητή προδιαγραφή μιας κοινής αντίληψης πάνω σε ένα συγκεκριμένο πεδίο (Gruber, 1993). Με τη χρήση οντολογιών, η σημασιολογία των πληροφοριών μπορούν να ερμηνευτούν κατάλληλα τόσο από ανθρώπους όσο και από κατάλληλα υπολογιστικά συστήματα με αποτέλεσμα τα συστήματα αυτά να μπορούν να βρίσκουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις πληροφορίες που οι χρήστες επιθυμούν (Lutz, 2007). Παράλληλα, κάθε παροχέας πληροφοριών μπορεί να περιγράψει τις πληροφορίες που πρόκειται να δημοσιοποιήσει βασισμένος σε κατάλληλες οντολογίες.

Αν και πολλά συστήματα αναζήτησης γεωγραφικών πληροφοριών βασίζονται ήδη σε οντολογίες και σε τεχνολογίες του σημασιολογικού ιστού, εντούτοις κανένα από τα συστήματα γεωγραφικών πυλών δεν ακολουθούν μια τέτοια προσέγγιση. Οι συμβατικές τεχνικές αναζήτησης βασισμένες σε λέξεις κλειδιά που χρησιμοποιούν συχνά δυσκολεύουν τους χρήστες στο να βρουν τις πληροφορίες που επιθυμούν. Αυτό λοιπόν που λείπει από τις τρέχουσες εφαρμογές γεωπυλών είναι η αξιοποίηση της σημασιολογίας της πληροφορίας κατά την αναζήτηση επιθυμητών δεδομένων.

Η παρούσα εργασία περιγράφει μια καινοτόμα προσέγγιση στην οργάνωση της πληροφορίας σε ένα περιβάλλον γεωπύλης. Πιο συγκεκριμένα, η προσέγγισή μας:

- Αξιοποιεί τη σημασιολογία των πληροφοριών της γεωπύλης μέσα από την κατάλληλη χρήση γλωσσών οντολογιών, όπως το πλαίσιο περιγραφής πόρων (Resource Description Framework-RDF) (Lassila and Swick, 2001).
- Επιτρέπει νέες πληροφορίες που δημοσιοποιούνται να είναι εμπλουτισμένα με τα κατάλληλα μεταδεδομένα βασισμένα στην οντολογία της γεωπύλης.
- Χρησιμοποιεί σημασιολογικές γλώσσες επερωτήσεων που αξιοποιούν τα μεταδεδομένα της οντολογίας και αυξάνουν την ακρίβεια της αναζήτησης επιθυμητών πληροφοριών.

2. Σχετική εργασία

Στην περιοχή γεωγραφικών συστημάτων, το πρόβλημα της σημασιολογικής ετερογένειας κατά την αναζήτηση πληροφοριών έχει μελετηθεί διεξοδικά όπως για παράδειγμα στις περιπτώσεις των (Lutz and Klien, 2006). Άλλα συστήματα όπως το GeoCosm (Sudha *et al.*, 2001) και το (Córcoles and González, 2004) αναφέρονται σε ζητήματα ενοποίησης γεωγραφικών δεδομένων. Συγκρινόμενα με την δική μας προσέγγιση, όλα αυτά τα συστήματα περιγράφουν λύσεις βασισμένες σε οντολογίες για να αντιμετωπίσουν τα διάφορα προβλήματα αξιοποίησης γεωγραφικών πληροφοριών. Παρόλα αυτά, κάποιες από αυτές είναι ακόμα σε θεωρητικό στάδιο ενώ οι υπόλοιπες δεν είναι υλοποιημένες για να δουλεύουν στον παγκόσμιο ιστό, όπως μια πύλη γεωγραφικής πληροφορίας. Αντιθέτως, η δική μας προσέγγιση όχι μόνο αξιοποιεί τη σημασιολογία των πληροφοριών και προσφέρει εξελιγμένες τεχνικές αναζήτησης που λαμβάνουν υπόψη τους τη σημασιολογία των δεδομένων. Η ανάπτυξη των γεωπυλών περιγράφεται στο (Maguire and Longley, 2005). Μερικές από τις εμπορικές γεωπύλες διαχειρίζονται γεωγραφικά δεδομένα από όλο τον κόσμο, όπως τα "Geospatial One Stop" και "Geography Network" (Tait, 2005), ενώ άλλες διαχειρίζονται δεδομένα από συγκεκριμένες περιοχές ή χώρες, όπως η γεωπύλη του Καναδά "Mapster" (Tang and Selwood, 2005) και της Νορβηγίας "geoNorge" (Tang and Selwood, 2005). Άλλες πάλι γεωπύλες είναι επικεντρωμένες σε συγκεκριμένους τομείς γεωγραφικών πληροφοριών όπως γεωπύλες φυσικών καταστροφών (Walker and Maidment, 2006). Όμως, όλες οι παραπάνω υλοποιήσεις γεωγραφικών πυλών στηρίζονται στα συμβατικά πρότυπα μεταδεδομένων. Μολονότι όλα χρησιμοποιούν διαλειτουργικά πρότυπα για τη διακίνηση και οργάνωση των δεδομένων τους, όπως τα SOAP, UDDI, WFS, WMS (Zhao *et al.*, 2004), κανένα δεν ακολουθεί μια προσέγγιση βασισμένη στο σημασιολογικό ιστό και στην αξιοποίηση μεταδεδομένων βασισμένων σε οντολογίες.

Στην περιοχή των σημασιολογικών πυλών στην προσέγγιση του (Athanasios *et al.*, 2004) προτείνεται μια γεννήτρια κατασκευής σημασιολογικών πυλών (Semantic Web Portal Generator-SWPG), μια γενική προσέγγιση που επιτρέπει την κατασκευή σημασιολογικών πυλών ανεξάρτητα από το αντικείμενο που προέρχονται τα δεδομένα της πύλης. Αξιοποιεί την γλώσσα RQL (Karvounarakis *et al.*, 2004) για να προσφέρει πρόσβαση σε πόρους που είναι οργανωμένοι με βάση το πρότυπο RDF. Παρόμοιες προσεγγίσεις είναι η σημασιολογική πύλη ICS-FORTH (Athanasios *et al.*, 2004) και (Kotzinos *et al.*, 2005). Ένα παρεμφερές σύστημα είναι το gDisDL (Xing, 2005), μια ψηφιακή βιβλιοθήκη για διαχείριση μεταδεδομένων φυσικών κινδύνων. Συγκρινόμενες με τη δική μας προσέγγιση, σε όλες τις εφαρμογές αυτές οι οντολογίες παίζουν ένα βασικό ρόλο, ενώ παράλληλα χρησιμοποιούν σημασιολογικές γλώσσες επερωτήσεων για τη διαχείριση των πληροφοριών τους. Παρόλα αυτά, καμιά από τις προσεγγίσεις αυτές δεν διαθέτει τα βασικά χαρακτηριστικά μιας εφαρμογής γεωπύλης, όπως για παράδειγμα την απεικόνιση των γεωγραφικών πληροφοριών τους σε χάρτες.

3. Μεθοδολογία

Χρησιμοποιούμε το πλαίσιο περιγραφής πόρων (Resource Description Framework-RDF) για την αναπαράσταση των μεταδεδωμένων των πληροφοριών της γεωπύλης. Παρόμοια μοντέλα, όπως το DAML+OIL (Connolly *et al.*, 2001) ή το OWL (Dean *et al.*, 2002), είναι στα άμεσα σχέδιά μας για να αξιοποιηθούν. Το RDF είναι ένα πλαίσιο περιγραφής μεταδεδωμένων. Αποτελεί μέρος της κοινοπραξίας W3C για τη διαχείριση (κωδικοποίηση, ανταλλαγή και επεξεργασία) των μεταδεδωμένων οποιουδήποτε πληροφοριακού πόρου (Καρουνarakis, 2004). Ο στόχος του RDF είναι ο καθορισμός των ιδιοτήτων των πόρων με τρόπο διαλειτωρητικό και ανεξάρτητο του πεδίου από το οποίο προέρχονται (Christophides, 2003). Αυτές οι ιδιότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για να αποδώσουν την τιμή μιας ιδιότητας του πόρου (όπως το όνομά του), είτε για να δηλώσουν συσχετίσεις με διαφορετικούς πόρους. Οι περιγραφές των πόρων RDF απεικονίζονται ως κατευθυνόμενοι γράφοι και αποτελούνται από κόμβους και τόξα που τους συνδέουν. Τα τόξα αντιπροσωπεύουν τις ιδιότητες των πόρων (απλές είτε συσχετίσεις), ενώ οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τους πόρους και τις ατομικές τους τιμές. Μαζί με τις περιγραφές, ένα σχήμα RDF (RDF Schema-RDFS) ορίζεται σε ένα πιο αφαιρετικό επίπεδο, όπου κλάσεις αναπαριστούν πόρους με κοινά γνωρίσματα και ιδιότητες αναπαριστούν τις συσχετίσεις μεταξύ κλάσεων.

Υπεύθυνοι για τη δημιουργία των μεταδεδωμένων (RDF σχήματος και των περιγραφών) των πληροφοριών της γεωπύλης είναι οι διαχειριστές του ιστοτόπου της, παρόλα αυτά το σύστημά μας επιτρέπει νέες πληροφορίες που δημοσιοποιούνται από αντίστοιχους παροχείς να εμπλουτίζονται με μεταδεδωμένα βασισμένα στην οντολογία της γεωπύλης. Ο εμπλουτισμός αυτός επιτυγχάνεται όμως με τρόπο εύκολο, δίχως οι παροχείς να χρειάζεται να διαθέτουν γνώσεις του προτύπου RDF. Μέσα από το περιβάλλον της γεωπύλης, συμπληρώνουν τα μεταδεδωμένα της νέας πληροφορίας που πρόκειται να συνεισφέρουν, ορίζοντας τα ατομικά γνωρίσματα τους καθώς και πιθανές συσχετίσεις με πληροφορίες που ήδη έχουν δημοσιευτεί. Ο καθορισμός αυτός των ατομικών γνωρισμάτων και των συσχετίσεων με άλλες πληροφορίες γίνεται με βάση το RDF σχήμα της πύλης. Μετά την αποστολή τους, τα μεταδεδωμένα συλλέγονται από τη γεωπύλη και μετατρέπονται σε RDF περιγραφές οι οποίες προστίθενται σε αυτές που ήδη υπάρχουν. Έτσι, μετά το τέλος αυτής της διαδικασίας, η νέα πληροφορία έχει δημοσιευτεί και αποτελεί μέρος του συνόλου των διαθέσιμων πληροφοριών της γεωπύλης.

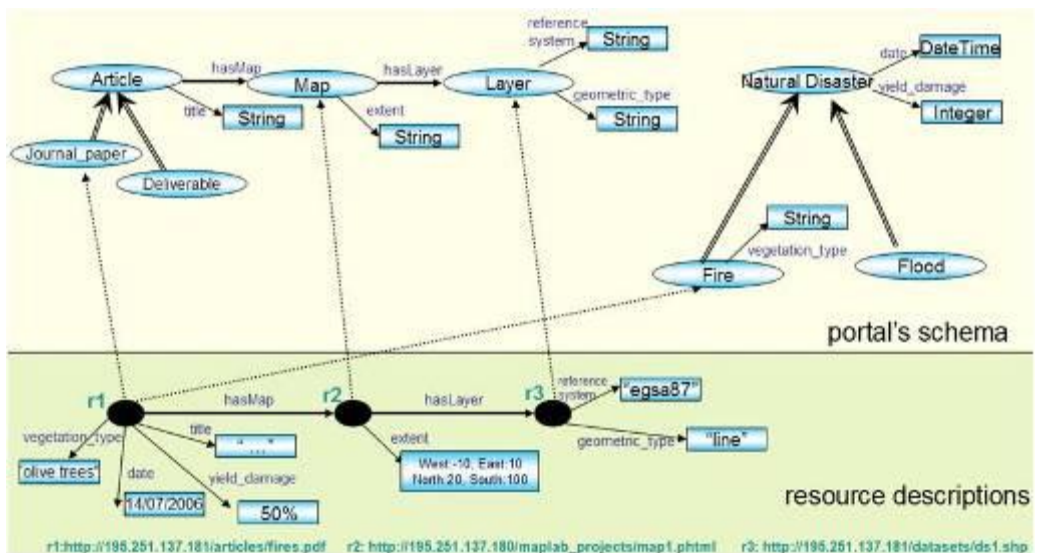
Έχοντας ως βάση τη σημασιολογική αυτή υποδομή, η γεωπύλη προσφέρει ανεπτυγμένους μηχανισμούς πλοήγησης που αξιοποιούν τη σημασιολογία της πληροφορίας. Οι μηχανισμοί αυτοί στηρίζονται στη σημασιολογική γλώσσα ερωτήσεων RQL (RDF Query Language) πάνω στα μεταδεδωμένα της πύλης και επιτρέπουν πέρα από το φιλτράρισμα της πληροφορίας να πλοηγηθούν σε (σημασιολογικά) συσχετιζόμενα δεδομένα. Κάθε συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων όπως αυτές προκύπτουν από τις RDF περιγραφές μετατρέπεται στη γεωπύλη σε υπερσύνδεσμο που συνδέει δύο σελίδες μεταξύ τους. Έτσι, όταν οι χρήστες αναζητήσουν μια επιθυμητή πληροφορία στο σύστημα, αυτό απεικονίζει δίπλα από κάθε πληροφορία έναν υπερσύνδεσμο προς συσχετιζόμενες πληροφορίες, με βάση πάντα τις RDF περιγραφές των μεταδεδωμένων. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει την περαιτέρω πλοήγηση σε πληροφορίες που εννοιολογικά σχετίζονται και που έτσι είναι πιθανό να ενδιαφέρουν σημαντικά το χρήστη.

4. Η γεωπύλη φυσικών καταστροφών

Για να αναδειχθούν περισσότερο τα πλεονεκτήματα της προσέγγισής μας, αναπτύχθηκε μια πιλοτική γεωπύλη φυσικών καταστροφών στην περιοχή του Βορειοανατολικού Αιγαίου. Οι πληροφορίες της προέρχονται από το Τμήμα Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου, τη Δασική Υπηρεσία Λέσβου και την Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου.

Στο σχήμα 1 απεικονίζονται τα μεταδεδωμένα της γεωπύλης, εκφρασμένα σε RDF. Για

λόγους λιτότητας μόνο οι περιγραφές τριών πόρων φαίνονται (r_1 , r_2 and r_3). Ο r_1 είναι ένα άρθρο (κλάση *Article*), το r_2 είναι ένας χάρτης (κλάση *Map*) και ο r_3 ένα στρώμα (κλάση *Layer*). Οι βασικές RDF κλάσεις είναι οι *Article* (άρθρο), *Map* (χάρτης), *Layer* (στρώμα) και "Natural Disaster" (φυσική καταστροφή). Πληροφορίες κατηγοριοποιημένες κάτω από την κλάση *Article* έχουν ως ιδιότητα το *title* (δηλαδή ο τίτλος του άρθρου), παρόλα αυτά μπορούν να σχετίζονται με μια ή περισσότερες φυσικές καταστροφές (κλάσεις *Fire* και *Flood*), ως εκ τούτου πληροφορίες της τάξης *Article* ενδέχεται να είναι κατηγοριοποιημένες κάτω από την κλάση "Natural Disaster" ώστε να διαθέτουν χαρακτηριστικά όπως *date* (ημερομηνία που προκλήθηκε η καταστροφή), *yield damage* (ποσοστό καταστροφής της σοδιάς) και *vegetation type* (τύπος βλάστησης). Το εύρος τιμών των *date* και *yield damage* είναι τύπου *DateTime* (ημερομηνία) και *Integer* (ακέραιος) αντίστοιχα, όπως ορίζονται στο (Thompson *et al.*, 2000). Πληροφορίες της κλάσης *Article* μπορούν να κατηγοριοποιηθούν πιο εξειδικευμένα στις υπο-κλάσεις *Journal paper* και *Deliverable*. Ένα άρθρο μπορεί να συσχετίζεται και με έναν ή περισσότερους χάρτες, κάτι που δηλώνεται με την συσχέτιση *hasMap*. Οι χάρτες (πληροφορίες της τάξης *Map*) ενδεχομένως να διαθέτουν ένα ή περισσότερα στρώματα (*Layers*), κάτι που δηλώνεται μέσα από τη συσχέτιση *hasLayer*. Κάθε δεδομένο της τάξης *Layer* διαθέτει χαρακτηριστικά όπως το σύστημα αναφοράς *reference system* (π.χ. *egsa87*, *WGS84* κ.λπ.) και ο γεωμετρικός τύπος *geometric type* (π.χ. *point*, *polygon*, *line* κ.λπ.).



Σχήμα 1. Δείγμα των μεταδεδομένων της γεωπύλης φυσικών καταστροφών

Η διεύθυνση του r_1 είναι <http://195.251.137.181/articles/fires.pdf>, έχει ως τίτλο (ιδιότητα *title*): "Integrating new methods and tools in fire danger rating" (Vasilakos *et al.*, 2007) και αναφέρεται σε μια φωτιά (*Fire*) που ξεκίνησε στις 27/8/2003. Το r_1 σχετίζεται με το χάρτη r_2 που έχει διεύθυνση: http://195.251.137.180/maplab_projects/map1.phtml και απεικονίζει μια περιοχή (ιδιότητα *extent*) "-10, 10, 20, 100". Ο χάρτης αυτός απαρτίζεται από το στρώμα r_3 με διεύθυνση <http://195.251.137.181/datasets/ds1.shp> και απεικονίζει ένα γραμμικό στοιχείο (*line*) στο *egsa87* σύστημα αναφοράς.

Η οργάνωση αυτή των μεταδεδομένων με βάση την οντολογία της γεωπύλης, αξιοποιείται με σκοπό την αποτελεσματικότερη αναζήτηση επιθυμητών πληροφοριών. Οι μηχανισμοί πλοήγησης και αναζήτησης πληροφοριών στο σύστημα απεικονίζονται στο σχήμα 2. Το

αριστερό τμήμα δείχνει τις κλάσεις του RDF σχήματος σε μια ιεραρχική (δενδρική) δομή ώστε να αναπαριστώνται οι κλάσεις και οι αντίστοιχες υποκλάσεις τους. Στο κεντρικό μέρος απεικονίζεται ένας γενικός χάρτης όπου ο χρήστης μπορεί να πλοηγηθεί και να καθορίσει την περιοχή στην οποία θα αναφέρονται οι πληροφορίες που αναζητά. Επιλέγοντας μια από τις κατηγορίες στα αριστερά, η γεωπύλη δίνει τη δυνατότητα για φιλτράρισμα με βάση κάποιες



Σχήμα 2. Αναζήτηση πληροφοριών από το περιβάλλον της γεωπύλης

λέξεις – κλειδιά. Στο σύστημά μας το φιλτράρισμα καθορίζεται από τις ιδιότητες της εκάστοτε οντολογίας της γεωπύλης. Για κάθε επιλογή κατηγορίας δεδομένων, η γεωπύλη απεικονίζει τις ιδιότητες της συγκεκριμένης κατηγορίας. Έτσι, επιλέγοντας για παράδειγμα την κατηγορία *Article*, η γεωπύλη απεικονίζει ένα πλαίσιο όπου ο χρήστης μπορεί να φιλτράρει με βάση τον τίτλο των άρθρων (ιδιότητα *title* του RDF σχήματος), τον τύπο της φυσικής καταστροφής, την ημερομηνία που προκλήθηκε η καταστροφή (ιδιότητα *date*), το ποσοστό καταστροφής της σοδιάς (ιδιότητα *yield damage*) και τύπος βλάστησης (ιδιότητα *vegetation type*). Στο στιγμιότυπο του σχήματος 2, ο χρήστης έχει καθορίσει ότι ενδιαφέρεται για άρθρα σχετικά με φωτιές στην περιοχή που οπτικά περιορίζεται από το χάρτη του κεντρικού τμήματος της εικόνας. Τα άρθρα αυτά περιέχουν τη λέξη *wildfire* στον τίτλο τους.

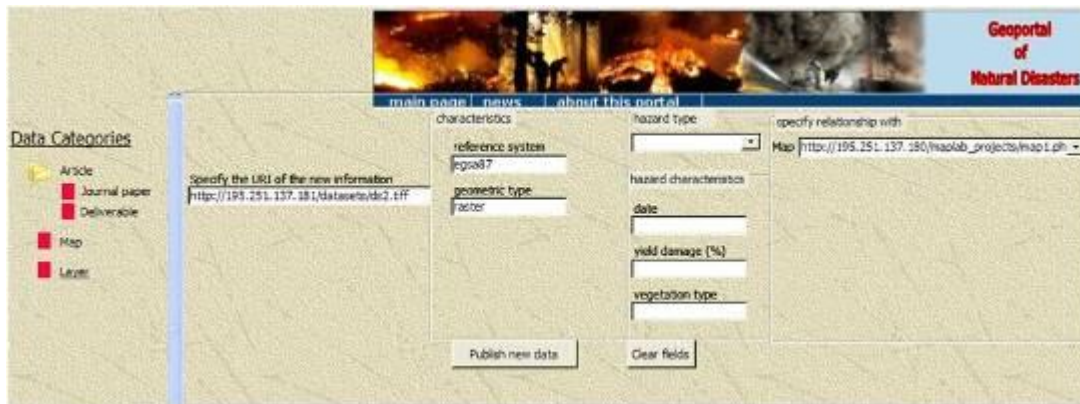
Πέρα από το φιλτράρισμα, η γεωπύλη επιτρέπει την πλοήγηση σε σημασιολογικά συσχετιζόμενες πληροφορίες. Για κάθε μια από τις πληροφορίες που ταιριάζουν στα κριτήρια που έθεσε ο χρήστης, το σύστημα αυτόματως προσδιορίζει όλες τις συσχετίσεις των πληροφοριών αυτών με άλλες πληροφορίες, με βάση τη σημασιολογία που προκύπτει από το RDF σχήμα. Εάν υπάρχει συσχέτιση με κάποια άλλη πληροφορία, εμφανίζεται ένας σπυρτικός υπερσύνδεσμος (“see related”) προς την πληροφορία αυτή. Έτσι, δίπλα από το άρθρο Το σχήμα 3 εμφανίζει τα αποτελέσματα της αναζήτησης σχετικά με άρθρα που περιέχουν τη λέξη *wildfire* στον τίτλο τους. Δίπλα από τα μεταδεδομένα της πληροφορίας που βρέθηκε, το σύστημα «προτείνει» στο χρήστη μέσα από τον υπερσύνδεσμο «see related Map(s)” να επισκεφτεί και το χάρτη r2 που ενδεχομένως να τον ενδιαφέρει.

Όταν ένα καινούριο δεδομένο δημοσιοποιείται στη γεωπύλη, αυτό είναι εμπλουτισμένο με τα κατάλληλα μεταδεδομένα με βάση το RDF σχήμα. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στο σχήμα 4. Όταν ο παροχέας πληροφοριών επιλέξει μια από τις κατηγορίες δεδομένων από το αριστερό μέρος της γεωπύλης, τότε στα δεξιά του συστήματος εμφανίζεται μια κατάλληλη φόρμα όπου δηλώνονται τα χαρακτηριστικά της νέας πληροφορίας. Το σχήμα 4 δείχνει ένα στιγμιότυπο από τη διαδικασία δημοσιοποίησης. Ο παροχέας έχει επιλέξει να δημοσιοποιήσει

ένα νέο στρώμα (layer). Αφού επιλέξει την κατηγορία Layer (που αντιστοιχεί στην κλάση Layer του RDF σχήματος) από το αριστερό τμήμα του συστήματος, καθορίζει τη διεύθυνση του νέου πόρου, τα χαρακτηριστικά του (γεωμετρικό σύστημα και γεωμετρικό τύπο) καθώς και τη συσχέτισή του με έναν υπάρχοντα χάρτη. Στην περίπτωση του σχήματος 4, το νέο στρώμα έχει ως διεύθυνση <http://195.251.137.181/datasets/ds2.tiff>, βρίσκεται στο egSa87 γεωμετρικό σύστημα και είναι ένα στρώμα raster του χάρτη http://195.251.137.180/maplab_projects/map1.phtml.



Σχήμα 3. Πλοήγηση σε συσχετιζόμενες πληροφορίες



Σχήμα 4. Δημοσιοποίηση νέων πληροφοριών στη γεωπύλη

5. Επίλογος

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε μια καινοτόμος προσέγγιση στην ανάπτυξη γεωγραφικών πυλών διαδικτύου. Η προσέγγισή μας αξιοποιεί το πλαίσιο περιγραφής πόρων (RDF) για τις περιγραφές των μεταδεδομένων της γεωπύλης. Νέες πληροφορίες που

δημοσιοποιούνται είναι εμπλουτισμένες με τα κατάλληλα μεταδεδομένα βασισμένα σε ένα RDF σχήμα που παίζει το ρόλο της οντολογίας. Χρησιμοποιώντας τη σημασιολογικές γλώσσες επερωτήσεων RQL πάνω στα μεταδεδομένα της οντολογίας αυξάνεται η ακρίβεια της αναζήτησης επιθυμητών πληροφοριών.

Η λειτουργικότητα της παρούσας προσέγγισης εφαρμόζεται πάνω σε μια γεωπύλη φυσικών καταστροφών για την περιοχή του βορειανατολικού Αιγαίου. Πρωταρχικός μας στόχος είναι η τελειοποίηση του συστήματος, ενώ στη συνέχεια σχεδιάζεται να εφαρμοστούν πέρα από το πρότυπο RDF και άλλα παραπλήσια μοντέλα γλωσσών οντολογιών όπως το DAML+OIL και OWL. Με την ολοκλήρωση της γεωπύλης επιθυμούμε μέσα από τους καινοτόμους μηχανισμούς της να αναπτυχθεί μια τράπεζα δεδομένων για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων φυσικών κινδύνων, αφετέρου να παγιωθεί στο ευρύ κοινό μια «κουλτούρα κινδύνου», δηλαδή μια συλλογική ευαισθητοποίηση πάνω σε θέματα πυρκαγιών και εν γένει διατήρηση της φυσικής μας κληρονομιάς.

Βιβλιογραφία

Alexaki, S., Christophides, V., Karvounarakis, G., Plexousakis, D., Tolle, K., 2001: *The ICS-FORTH RDFSuite: Managing Voluminous RDF Description Bases*, 2nd International Workshop on the Semantic Web (SemWeb'01), in conjunction with Tenth International World Wide Web Conference (WWW10), 1-13.

Antoniou, G., Franconi, E., Van Harmelen, F., 2005: *Introduction to Semantic Web Ontology Languages*, Lecture Notes in Computer Science 3564, 1-21

Athanasis, N., Christophides, V., Kotzinos, D., 2004: *Generating On the Fly Queries for the Semantic Web: The ICS-FORTH Graphical RQL Interface (GRQL)*, proceedings of the 3rd International Semantic Web Conference (ISWC'04), Hiroshima, Japan.

Bernard, L., U., Einspanier, S., Haubrock, S., Hübner, W., Kuhn, R., Lessing, M., Lutz, U. Visser, 2003: Ontologies for intelligent search and Semantic Translation in Spatial Data Infrastructures, *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, 451-462.

Berners-Lee, J., Hendler, J., Lassila, O., 2001: The Semantic Web, *Scientific American*, vol. 184, no. 5, 34-43.

Bernstein, A., Klein, M., 2002: *Towards High-Precision Service Retrieval*. International Semantic Web Conference, Sardinia, Italy.

Brickley, D., Guha, R.V., 1999: *Resource Description Framework (RDF) Schema Specification*. Proposed Recommendation.

Christophides, V., Plexousakis, D., Scholl, M., Tannen, V., 2003: *The Semantic Web: Myths and Reality*, The Onassis Foundation Lectures Series in Computer Science: Internet and Web: Crawling the Algorithmic Foundations.

Connolly, D., Van Harmelen, McGuinness, D., Patel-Schneider, P., Stein, L.A, 2001: *DAML+OIL Reference Description*, W3C Note.

Córcoles, J. E., González, P., 2004: *Using RDF to Query Spatial XML*. ICWE, 316-329.

Dean, M., Connolly, D., Van Harmelen, F., Hendler, J., Horrocks, I., McGuinness, D., Patel-Schneider, P., Stein, L.A. 2002: *OWL Web Ontology Language 1.0 Reference W3C Working Draft*.

Goh, C. H., Bressan, S., Madnick, S., & Siegel, M, 1999: Context Interchange: New Features and Formalisms for the Intelligent Integration of Information. *ACM Transactionson Information Systems*, 17(3), 270-293.

- Greve, K., Kiehle, C., 2006: OGC-Standards (Open Geospatial Consortium) of the future, *GIS-Business* (10), 30-32.
- Gruber, T., 1993: A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition*, 5(2), 199-220.
- ISO/TC 211 Working Group 3, 1997: *Geographic Information - Metadata, ISO Standard 15046-15 Version 2.0, Draft*.
- Karvounarakis, G., Christophides, V., Plexousakis, D., Alexaki, S., 2001: *Querying RDF Descriptions for Community Web Portals*, 17^{èmes} Journées Bases de Données Avancées (BDA'01), 133-144, Agadir, Maroc.
- Karvounarakis, G., Magkanaraki A., Alexaki, S., Christophides, V., Plexousakis, D., Scholl, M., Tolle, K., 2004: *RQL: A Functional Query Language for RDF, The Functional Approach to Data Management: Modelling, Analyzing and Integrating Heterogeneous Data*, LNCS Series, Springer-Verlag.
- Klien, E., Lutz, M., Kuhn, 2005: W., Ontology-based discovery of geographic information services - An application in disaster management. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30 (1), 102-123.
- Kokla, M., Kavouras, M., 2002: *Theories of Concepts in Resolving Semantic Heterogeneities*, Proceedings of the 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, Palma de Mallorca, Spain.
- Kotzinos, D., Pediaditaki, S., Apostolidis, A., Athanasis, N., Christophides, V., 2005: *Online Curriculum on the Semantic Web: The CSD-UoC Portal for Peer-to-peer e-learning*, Proceedings of the 14th Intl' World Wide Web Conference (WWW'05), Chiba, Japan.
- Larsen, L. P., 1996: Learning to speak metadata, *GIS Europe*, Vol. 5, no 7 (20-22)
- Larsgaard, M.L., 2005: Metadata of digital geospatial data, *Cartographic Journal*, 42 (3), 231-237.
- Lassila, O., Swick, R., 2001: *Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification*.
- Lee, Y.C., Chan, H.C.E., 2000: Spatial metadata and its management , *Geomatica*, 54 (4), 451-462.
- Lutz, M., 2007: Ontology-Based descriptions for semantic discovery and composition of geoprocessing services, *GeoInformatica*, 11 (1), 1-36.
- Lutz, M., Klien, E., 2006: Ontology-based retrieval of geographic information, *International Journal of Geographical Information Science*, 20 (3), 233-260.
- Maguire, D. J., Longley, P. A., 2005: *The emergence of geoportals and their role in spatial data infrastructures*, Proceeding of the 7th Conference on Global Spatial Data Infrastructure.
- McBride, B., 2002: Jena: A semantic web toolkit, *IEEE Internet Computing*, 6 (6), 55-58.
- OGC-Open Geospatial Consortium, 2004: *Catalogue Services Specification, Version 2.0, OGC Implementation Specification 04-021r2*.
- Ostensen, O., 1996: ISO TC/211 ISO standards for GI infrastructures, *Geomatics Info Magazine*, 10 (3), 24-25.

Panian, Z., 2006: Service-oriented architecture implementation: A requirements-driven approach WSEAS, *Transactions on Information Science and Applications*, 3 (12), 2417-2424.

Parekh, V., Gwo, J., Finnin, T., 2004: Ontology based Semantic Metadata for Geoscience, *Data. IKE*, 485-490.

Qi, L., Lingling, G., Yong, T., Huang F., 2004: *An integrated geospatial metadata storing architecture Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IGARSS '04, IEEE International Volume 7, 4425– 4427.

Reitsma, F., Albrecht, J., 2005: Modeling with the semantic web in the geosciences, *IEEE Intelligent Systems*, 20 (2), 86-88.

Shi, R., Wu, C., 2006: *XML based map web publication technologies*, ICIS '06 International Congress of Imaging Science, 672-674.

Stonebraker, M., 1990: Postgres DBMS, *ACM SIGMOD Record*, 19 (2), 394.

Studer, R., Benjamins, V. R., Fensel, D., 1998: Knowledge Engineering: Principles and Methods, *Data and Knowledge Engineering*, 25(1-2), 161-197.

Sudha, R., Vijay, K., Limin, Z., Daniel, D. Z., 2001: *GeoCosm: A Semantics-Based Approach for Information Integration of Geospatial Data*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2465.

Tait, M. G., 2005: Implementing geoportals: applications of distributed GIS. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(1).

Tang, W., Selwood, J., 2005: *Spatial Portals*, ESRI Press.

Thompson, H.S., Beech, D., Maloney, M., Mendelsohn, N., 2000: XML schema part 1: Structures. W3C Candidate Recommendation.

Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J., Kallos, G., Matsinos, Y., 2007: Integrating new methods and tools in fire danger rating, *International Journal of Wildland Fire*, 16, 306–316.

Wagner, H., Weibel, S., 2005: The Dublin core metadata registry: Requirements, implementation, and experience. *Journal of Digital Information*, 6(2)1, State of the Dublin Core Metadata Initiative, April 2003.

Walker, W.S., Maidment, D.R. 2006: Geodatabase design for FEMA flood hazard studies, Technical (Online) Report-University of Texas at Austin, Center for Research in Water Resources, 6 (10), 1-197.

Xing, W., Dikaiakos, M.D., Yang, H., Sphyris, A., Eftichidis, G., 2005: A grid-enabled digital library system for natural disaster metadata, *Lecture Notes in Computer Science* 3470, 516-526.

Zhao, P., Chen, A., Liu, Y., Di, L., [Yang, W.](#), Li, P., 2004: Grid metadata catalog service-based OGC web registry service, *Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, 22-30.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΗΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

Σκοπελίτη Α.

*Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών,
Εργαστήριο Χαρτογραφίας*

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει ένα μοντέλο για την εμπλουτισμένη ψηφιακή καταγραφή των γραμμικών δεδομένων ικανό να υποστηρίξει μια διαδικτυακή υπηρεσία γενίκευσης στα πλαίσια της δυναμικής παραγωγής χαρτών. Η εμπλουτισμένη ψηφιακή καταγραφή των γραμμικών δεδομένων βασίζεται στην αναγνώριση της δομής, στην περιγραφή της μορφής της γραμμής και στη διαδικαστική γνώση για τη βέλτιστη πρακτική γενίκευσης. Επιπλέον υποστηρίζει την εκτίμηση και την καταγραφή της ποιότητας του τελικού αποτελέσματος. Η δυνατότητα υλοποίησης του μοντέλου καταγραφής για τη μεταφορά δεδομένων στο διαδίκτυο ερευνάται βάσει των δυνατοτήτων που προσφέρει η GML (Geography Markup Language - Γεωγραφική Επεκτάσιμη Γλώσσα Σήμανσης).

AN ENHANCED MODEL FOR LINEAR FEATURES THAT SUPPORTS GENERALIZATION IN THE WEB MAPPING CONTEXT

Skopeliti A.

*National Technical University of Athens, Faculty of Rural and Surveying Engineering,
Cartography Laboratory*

Abstract

In recent years cartography has evolved in a new direction with the application of web technologies and services. Maps in the web context are generally generated on-demand and on-the-fly. The demand for dynamic web map generation has also lead to increased requirements on automated map generalization procedures. This paper presents an enhanced model for the digital encoding of linear features that supports a generalization service for web mapping. The model incorporates the structural knowledge for the description of the linear features shape and the procedural knowledge for the most appropriate generalization solution. It supports the assessment and it reports the quality of the generalization result. The implementation of this model for web data transfer is possible utilizing GML (Geography Markup Language).

Λέξεις κλειδιά: γενίκευση γραμμικών οντοτήτων, χαρτογραφία στο διαδίκτυο, GML.

Key words: linear features generalization, web mapping, GML.

1. Εισαγωγή

Η εξάπλωση της χαρτών στο διαδίκτυο (web mapping), η δημιουργία χαρτών σύμφωνα με τις επιλογές του χρήστη (on demand mapping) και η δυνατότητα δημιουργίας χαρτών δυναμικά (on the fly mapping), δηλαδή σε πραγματικό χρόνο, οδήγησε στη δημιουργία πρωτότυπων συστημάτων και υπηρεσιών (web map service) για την απόδοση των ψηφιακών γεωγραφικών δεδομένων. Οι εξελίξεις αυτές δημιούργησαν νέες ανάγκες για την εφαρμογή της χαρτογραφικής γενίκευσης ως μιας υπηρεσίας στα πλαίσια της δυναμικής δημιουργίας

ενός χάρτη για το διαδίκτυο.

Για τη δυναμική δημιουργία χαρτών σύμφωνα με τις επιλογές του χρήστη τα δεδομένα θα πρέπει να είναι διαθέσιμα σε ανάλογη κλίμακα (βαθμό γενίκευσης), το οποίο σπάνια συμβαίνει. Για τη επίλυση του προβλήματος αυτού υπάρχουν δύο εναλλακτικές λύσεις (Cecconi, 2003). Η πρώτη βασίζεται στην ύπαρξη μιας γεωγραφικής βάσης με δεδομένα σε πολλαπλές κλίμακες, την ανάκτηση και την απόδοση τους. Η λύση αυτή είναι η πιο απλή, με μικρότερο υπολογιστικό κόστος, αποτελεσματική για συγκεκριμένες εφαρμογές αλλά μη ευέλικτη λειτουργικά όσον αφορά την ενημέρωση των δεδομένων σε πολλαπλές κλίμακες, όπου τα δεδομένα συχνά δεν συνδέονται ιεραρχικά, και κατά την απόδοση σε κλίμακες που δεν είναι συγγενείς των υπαρχόντων. Η δεύτερη τακτική αφορά την ανάκτηση δεδομένων από τη βάση δεδομένων και τη γενίκευση τους σε πραγματικό χρόνο κατά την παραγωγή του χάρτη (on the fly generalization). Η προσέγγιση αυτή είναι ευέλικτη, επιτρέπει την πλήρη προσαρμογή στις επιλογές του χρήστη και η ενημέρωση της βάσης δεδομένων είναι απλούστερη. Μειονεκτήματα της λύσης αυτής θεωρούνται ο χρόνος εφαρμογής και το κόστος των υπολογισμών. Εκτιμάται ότι η σημερινή ευκολία πρόσβασης σε συστήματα με αυξημένη υπολογιστική ισχύ και με υψηλή ταχύτητα στο διαδίκτυο καθώς και η πρόοδος για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας της γενίκευσης καθιστούν την δεύτερη προσέγγιση ερευνητικά πιο επίκαιρη.

Για να είναι δυνατή η εφαρμογή της γενίκευσης σε πραγματικό χρόνο θα πρέπει να υποστηρίζεται από αλγόριθμους γρήγορους και αποτελεσματικούς και προ-υπολογισμένες δομές και ιδιότητες (Cecconi, 2003). Αυτό επιτυγχάνεται με τον εμπλουτισμό των δεδομένων. Η διαδικασία της εμπλουτισμένης καταγραφής των δεδομένων (data enhancement / enrichment) αναφέρεται στην αποθήκευση επιπλέον βοηθητικής πληροφορίας σε υπάρχοντα δεδομένα ώστε να είναι πιο αποτελεσματικές και πιο απλές η διαχείριση και η επεξεργασία τους σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Η επιπλέον πληροφορία προκύπτει από την ανάλυση των δεδομένων για μια συγκεκριμένη χρήση. Η ανάλυση αυτή υλοποιείται στα πλαίσια ενός Γ.Σ.Π., όπου προσφέρονται ή αναπτύσσονται εξειδικευμένα εργαλεία για την ανάλυση των χωρικών δεδομένων, πρωτίστως της χαρτοσύνθεσης (Ruas, 1999). Η εμπλουτισμένη ψηφιακή καταγραφή συνήθως περιλαμβάνει την εννοιολογική και γεωμετρική περιγραφή των αντικειμένων (Jones et al., 1996) ή ομάδων αντικειμένων (μοτίβο, δομή). Στην περίπτωση της δυναμικής γενίκευσης, η επιπλέον πληροφορία συμβάλει στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας με ορθά αποτελέσματα και ταχύτητα εφαρμογής.

Η έρευνα για τη γενίκευση των διανυσματικών δεδομένων έχει επικεντρωθεί στα γραμμικά δεδομένα. Ένας λόγος είναι ότι η αυτόματη γενίκευση των γραμμικών οντοτήτων είναι λιγότερο πολύπλοκη σε σχέση με αυτή άλλων οντοτήτων. Ένας δεύτερος λόγος είναι ότι οι περισσότερες οντότητες που εμφανίζονται σε ένα τοπογραφικό χάρτη μεσαίας κλίμακας είναι γραμμές. Η εργασία αυτή εστιάζει στο θέμα της γενίκευσης των γραμμικών οντοτήτων καθώς λόγω της υπάρχουσας έρευνας είναι δυνατός ο εμπλουτισμός των δεδομένων. Ο χαρτογράφος που γενικεύει σε αναλογικό περιβάλλον έχει μια συνολική και συνεχή αντίληψη της γραμμής. Λαμβάνει υπόψη του τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και είναι ικανός να αποδώσει τα κυριότερα από αυτά. Η γνώση της μορφής της γραμμής του επιτρέπει τη δημιουργία μιας σωστά γενικευμένης απόδοσης. Σύμφωνα με την τρέχουσα βιβλιογραφία για τη γενίκευση (Buttenfield, 1985; Plazanet et al., 1995; Reichenbacher, 1995; Mustiere, 1998 κ.α.), η αυτοματοποιημένη γενίκευση των γραμμικών οντοτήτων συνδέεται με την αναλυτική περιγραφή του οπτικού χαρακτήρα, δηλαδή της μορφής της γραμμής, και την κατάτμηση των αντικειμένων σε ομοιογενή τμήματα στα οποία θα εφαρμοστούν κατάλληλοι αλγόριθμοι. Οι παραπάνω διαδικασίες επιτυγχάνουν την καταγραφή της δομής των οντοτήτων στη χαρτογραφική βάση δεδομένων (δομική γνώση). Η διαδικαστική γνώση, δηλαδή το πώς υλοποιείται η γενίκευση, μπορεί να παρακολουθηθεί και να συνδεθεί με τη δομική γνώση, επιτρέποντας την απάντηση ερωτημάτων όπως ποιος αλγόριθμος γενίκευσης και ποιές παράμετροι πρέπει να επιλεγούν για μια συγκεκριμένη ενέργεια ανάλογα με την οντότητα, την κλίμακα και την πολυπλοκότητα της γραμμής. Αυτή τη χαρτογραφική γνώση

καταγράφει και ενσωματώνει στη γεωγραφική βάση δεδομένων το μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών δεδομένων που θα αναλυθεί στη συνέχεια.

2. Μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης

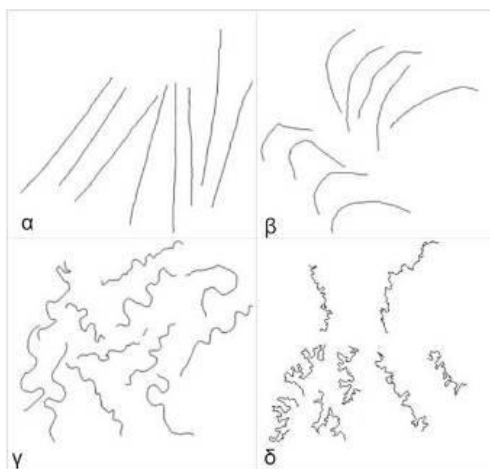
Στόχος της εργασίας αυτής είναι: α. να περιγράψει ένα μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών δεδομένων που στηρίζει την εφαρμογή της γενίκευσης και τον έλεγχο της ποιότητας του αποτελέσματος και β. να περιγράψει την υλοποίηση του μοντέλου εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών δεδομένων για τη γενίκευση στο σχεδιασμό της βάσης δεδομένων και στη δομή μεταφοράς των δεδομένων στο διαδίκτυο βάσει της Geographic Markup Language (GML).

2.1 Περιγραφή της μορφής των γραμμικών οντοτήτων με τη χρήση μέτρων και ανανώριση της δομής μέσω της κατάτμησης σε ομοιογενή τμήματα

Στα πλαίσια της έρευνας που πραγματοποιήθηκε τα τελευταία χρόνια (Skopeliti and Tsoulos, 1999; Σκοπελίτη, 2001; Skopeliti and Tsoulos, 2005) διερευνήθηκε η δυνατότητα περιγραφής της μορφής της χαρτογραφικής γραμμής με μια ομάδα μέτρων και η χρήση αυτών για την ομαδοποίηση των γραμμών. Η μελέτη αυτή αφορά τις φυσικές οντότητες όπως η ακτογραμμή και τα ρέματα, καθώς το σχήμα τους δεν μπορεί να περιγραφεί από τα βασικά γεωμετρικά αρχέτυπα όπως ο κύκλος κ.α. Η βασική ιδέα σε αυτή την προσέγγιση είναι η χρήση μια ομάδας μέτρων που υπολογίζονται σε διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης. Η άποψη αυτή έχει υιοθετηθεί από πολλούς ερευνητές που ακολούθησαν διαφορετικές τακτικές για την περιγραφή του σχήματος (Buttenfield, 1991; Bernhardt, 1992; Mokhtarian and Mackworth, 1992; Mandelbrot, 1967). Στα πλαίσια της έρευνας αυτής αξιολογήθηκαν όλα τα μέτρα που προτείνονται στη βιβλιογραφία (Buttenfield, 1991; Bernhardt, 1992; McMaster, 1986; Jasinski, 1991 κ.α.) όπως: η κλασματική διάσταση, το πλάτος, η κατάτμηση, η διακύμανση σφάλματος, η γωνιότητα και τα στατιστικά της μεγέθη, η συνταύτιση, μέτρα του μήκους καμπυλότητας, η μέση απόκλιση από τη γραμμή βάσης κ.α.. Ως πειραματικά δεδομένα (Skopeliti and Tsoulos, 2005) χρησιμοποιήθηκαν τμήματα ακτογραμμής μεσαίας κλίμακας τέτοια ώστε: κάθε ένα από αυτά να παρουσιάζει ομοιογένεια της μορφής κατά μήκος του και να διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη μορφή ώστε ως σύνολο να καλύπτουν τη ποικιλία της μορφής που παρουσιάζει η ακτογραμμή. Η Παραγοντική Ανάλυση είναι η στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή από ένα πλήθος αρχικών μέτρων ενός μικρότερου συνόλου με την ελάχιστη απώλεια πληροφορίας. Η Παραγοντική Ανάλυση υλοποιήθηκε με δεδομένα τις τιμές των μέτρων που υπολογίστηκαν για όλα τα τμήματα του συνόλου των πειραματικών δεδομένων. Με βάσει τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης και τη χαρτογραφική κρίση, επιλέχθηκε ένα υποσύνολο των μέτρων για την περιγραφή της μορφής: η μέση γωνιότητα, η μέση απόλυτη γωνιότητα και η διακύμανση σφάλματος της γραμμής. Τα μεγέθη που επιλέχθηκαν με την Παραγοντική Ανάλυση παρουσιάζουν μικρή συσχέτιση μεταξύ τους και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην Ανάλυση Ομάδων. Η Ανάλυση Ομάδων είναι μια στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ομαδοποίηση δεδομένων βάσει των χαρακτηριστικών που περιγράφονται από μια ομάδα μέτρων. Το πλήθος των ομάδων και η σύσταση των ομάδων προκύπτει από την εφαρμογή της στατιστικής μεθόδου της Ανάλυσης Ομάδων χωρίς την επέμβαση του χαρτογράφου. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η επιτυχή ταξινόμηση ενός υποσυνόλου των γραμμών με την Ανάλυση Ομάδων σε τέσσερις ομάδες διαφορετικής πολυπλοκότητας, που εκ των υστέρων χαρακτηρίζονται λεκτικά από τον χαρτογράφο ως: ομαλές, ομαλές με μια βασική καμπυλότητα, ημιτονοειδείς και πολύ ημιτονοειδείς. Κατά τη διαδικασία της Ανάλυσης Ομάδων, κάθε γραμμή αποτελεί ένα δάνυσμα στο χώρο, που δημιουργούν τα μέτρα περιγραφής της μορφής, του οποίου το μέτρο εκφράζει ποσοτικά τη μορφή της γραμμής.

Για να είναι επιτυχής η περιγραφή της μορφής και η ταξινόμηση των γραμμικών

οντοτήτων βάσει της προαναφερθείσας μεθόδου, αυτές θα πρέπει να είναι ομοιογενείς ως προς τη μορφή σε όλο το μήκος τους. Επομένως είναι αναγκαία μια μεθοδολογία κατάτμησης. Η μεθοδολογία κατάτμησης σε ομοιογενή τμήματα (Skopeliti and Tsoulos 1999, Skopeliti and Tsoulos 2001a) αφορά τις φυσικές χαρτογραφικές γραμμές όπως η ακτογραμμή, το υδρολογικό δίκτυο κ.α. και βασίζεται στον προσδιορισμό της μορφής της γραμμής βάσει της κλασματικής διάστασης και της μεθόδου περιγραφής της μορφής με ομάδα μέτρων. Με βάση τη μεθοδολογία κατάτμησης και περιγραφής της μορφής των γραμμών με μέτρα, οι χαρτογραφικές γραμμές μιας βάσης δεδομένων που ακολουθεί το μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης αρχικά καταταμούνται σε ομοιογενή τμήματα και στην συνέχεια αυτά ομαδοποιούνται (βλ. παράδειγμα του Σχήματος 2).



Σχήμα 1. Ένα υποσύνολο των δεδομένων ταξινομήθηκε σε τέσσερις ομάδες διαφορετικής πολυπλοκότητας που μπορούν να χαρακτηριστούν ως α. ομαλές, β. ομαλές με μια βασική καμπυλότητα, γ. ημιτονοειδείς και δ. πολύ ημιτονοειδείς.

2.2 Εκτίμηση της ποιότητας της γενίκευσης και προσδιορισμός της βέλτιστης πρακτικής

Η ψηφιακή χαρτογραφική γενίκευση των γραμμικών οντοτήτων εφαρμόζεται με μια σειρά μετασχηματισμών όπως η απλοποίηση, η εξομάλυνση κ.α. Οι μετασχηματισμοί αυτοί απαλείφουν ή μετακινούν τις κορυφές που ορίζουν μια γραμμική οντότητα με αποτέλεσμα να αλλάζει η μορφή και η οριζοντιογραφική θέση. Η έρευνα για την αυτοματοποίηση της γενίκευσης συνδέεται με την εκτίμηση της ποιότητας του αποτελέσματος προκειμένου να είναι δυνατή η επιλογή ή η απόρριψη μιας λύσης. Η εκτίμηση της ποιότητας της γενίκευσης των γραμμικών χαρτογραφικών οντοτήτων απαιτεί την ποσοτική περιγραφή της οριζοντιογραφικής θέσης και της μορφής.

Η μορφή της γραμμής στην αρχική και τη γενικευμένη της κατάσταση μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση της παραπάνω ομάδας μέτρων. Επιπλέον η μεταβολή του σχήματος της γενικευμένης γραμμής σε σχέση με το αρχικό μπορεί να περιγραφεί με την παραπάνω ομάδα μέτρων. Κατά τη διαδικασία της Ανάλυσης Ομάδων, η «απόσταση» ανάμεσα σε δύο γραμμές στο χώρο που δημιουργούν τα μέτρα περιγραφής της μορφής προσδιορίζει την ύπαρξη ομοιότητας ή μη. Αντίστοιχα η «απόσταση» ανάμεσα στην αρχική και τη γενικευμένη γραμμή περιγράφει τη μεταβολή του σχήματος. Πρόκειται για μια ποσοτική περιγραφή της μεταβολής του σχήματος λόγω του μετασχηματισμού της γενίκευσης, απαραίτητη για την αντικειμενική εκτίμηση του αποτελέσματος της γενίκευσης.

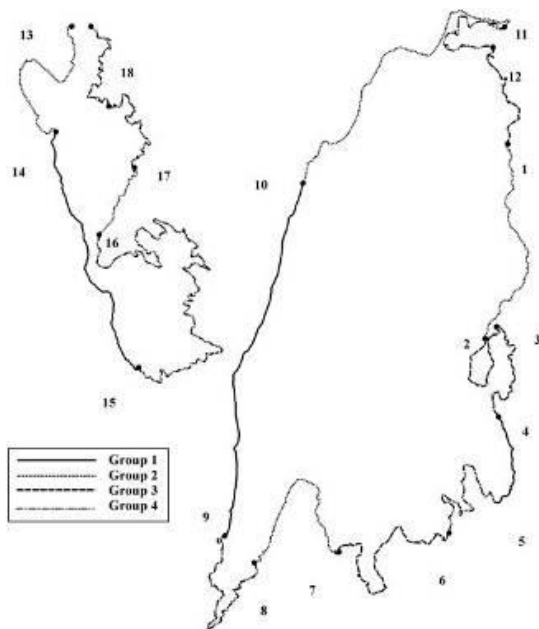
Πέρα από τη επίδραση στη μορφή των γραμμικών οντοτήτων, η χαρτογραφική γενίκευση επιδρά και στη οριζοντιογραφική θέση. Η εκτίμηση της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης πραγματοποιείται με μέτρα που έχουν διατυπωθεί στη βιβλιογραφία, όπως η Μέση Ευκλείδεια απόσταση από τη γραμμή υπό έλεγχο προς τη γραμμή αναφοράς και αντίστροφα, η Απόσταση Hausdorff, ο λόγος του εμβαδού της επιφάνειας ανάμεσα στη γραμμή υπό έλεγχο και τη γραμμή αναφοράς προς το μήκος της γραμμής αναφοράς κ.α. (Abbas et al., 1995; McMaster, 1987).

Η δυνατότητα περιγραφής της οριζοντιογραφικής θέσης και της μορφής των γραμμικών χαρτογραφικών οντοτήτων καθώς και της μεταβολής τους με αναλυτικό τρόπο, επιτρέπει την εξαγωγή γνώσης για τα αποτελέσματα της χαρτογραφικής γενίκευσης. Σε υπάρχουσες μελέτες (Σκοπελίτη, 2001; Skopeliti and Tsoulos, 2001a; Skopeliti and Tsoulos, 2001b), έχει αποδειχθεί ότι τα παραπάνω μέτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή της ποιότητας των αποτελεσμάτων της γενίκευσης και τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης. Μέσω πειραματισμού με εναλλακτικές στρατηγικές γενίκευσης που ορίζονται από τους τελεστές γενίκευσης, τους αλγόριθμους και τις τιμές των παραμέτρων η βέλτιστη λύση για κάθε ομάδα γραμμών μπορεί να εντοπιστεί. Μια λύση γενίκευσης θεωρείται βέλτιστη όταν ένας αριθμός κριτηρίων και περιορισμών που προτείνεται από τον χαρτογράφο ικανοποιούνται. Για παράδειγμα η διατήρηση της ποικιλίας των σχημάτων, η διατήρηση των χαρακτηριστικών των αρχικών γραμμών, ο κατάλληλος βαθμός γενίκευσης για την νέα κλίμακα, η ελαχιστοποίηση της παραμόρφωσης του σχήματος και του σφάλματος οριζοντιογραφικής θέσης κ.α. Η βέλτιστη λύση που επιλέγεται από το χαρτογράφο συγκροτεί διαδικαστική γνώση για την γενίκευση των γραμμικών οντοτήτων. Η γνώση που προκύπτει από την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων γενίκευσης και την επιλογή της βέλτιστης λύσης μπορεί να αποθηκευτεί στη βάση δεδομένων με βάση το μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών δεδομένων.

Όταν τα γενικευμένα δεδομένα μεταφέρονται μέσω μιας υπηρεσίας του διαδικτύου ως δεδομένα ή στη μορφή χάρτη, ο χρήστης θα πρέπει να είναι ενήμερος για την ποιότητα τους. Επομένως η διανομή διανυσματικών γεωγραφικών δεδομένων μέσω μιας υπηρεσίας τους διαδικτύου που έχουν υποστεί γενίκευση θα πρέπει να υποστηρίζεται από μετα-δεδομένα για την ακρίβεια. Αυτό επιτυγχάνεται με την καταγραφή της μεταβολής της μορφής και της οριζοντιογραφικής θέσης μαζί με τη γενικευμένη γραμμή, βάσει των μεγεθών που προαναφέρθηκαν.

Πίνακας 1 Παράδειγμα των περιορισμών σε επίπεδο μεμονωμένων γραμμών, των μέτρων που χρησιμοποιούνται ως εργαλεία εκτίμησης και των συνθηκών που ελέγχονται.

Περιορισμός	Μέτρο	Συνθήκη
Διατήρηση της ποικιλίας στη μορφή	Ο αριθμός των ομάδων στην ιεραρχική ταξινόμηση με την Ανάλυση Ομάδων	Ο αριθμός των ομάδων στην ιεραρχική ταξινόμηση ισούται με τον αριθμό των ομάδων των αρχικών γραμμών
Διατήρηση της συνολικής πολυπλοκότητας	Ο αριθμός των ομάδων στην μη - ιεραρχική ταξινόμηση με την Ανάλυση Ομάδων	Ο αριθμός των ομάδων στην μη - ιεραρχική ταξινόμηση ε ισούται με τον αριθμό των ομάδων των αρχικών γραμμών
Ελαχιστοποίηση της παραμόρφωσης της μορφής	Μέση μεταβολή της μορφής	Οι τιμές της μέσης μεταβολής της μορφής είναι μικρές
Ελαχιστοποίηση του σφάλματος της οριζοντιογραφικής θέσης	Μέση μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης	Οι τιμές της μέσης μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης είναι μικρότερες της διακριτικής ικανότητας του ματιού στην κλίμακα απόδοσης



Σχήμα 2. Κατάμηση της ακτογραμμής και ομαδοποίηση ανάλογα με την πολυπλοκότητα της μορφής σε τέσσερις ομάδες: «πολύ ομαλές» (group 1), «ομαλές» (group 2), «ημιτονοειδείς» (group 3) και «πολύ ημιτονοειδείς» (group 4).

Η αξιοποίηση των παραπάνω μεθοδολογιών δημιουργεί το μοντέλο εμπλουτισμένης καταγραφής των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης. Το μοντέλο αυτό συντίθεται από τα παρακάτω στοιχεία: α. Περιγραφή της μορφής: επιτυγχάνεται από μια ομάδα επιλεγμένων μέτρων και επιτρέπει την ταξινόμηση των γραμμών ανάλογα με τη μορφή τους σε ομάδες διαφορετικής πολυπλοκότητας π.χ. ομαλές, ημιτονοειδείς κ.α., β. Ποσοτική περιγραφή του αποτελέσματος της γενίκευσης: μέτρα περιγράφουν την αλλαγή του σχήματος και την οριζοντιογραφική θέσης ανάμεσα στην αρχική και γενικευμένη γραμμή. Τα μέτρα αυτά σε συνεργασία με τους περιορισμούς που θα πρέπει να ικανοποιεί το τελικό αποτέλεσμα επιτρέπουν την εκτίμηση της ποιότητας, γ. Διαδικαστική γνώση για τη γενίκευση: μέσω της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της γενίκευσης η βέλτιστη λύση προτείνεται για κάθε ομάδα γραμμών ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους και δ. Καταγραφή της ακρίβειας θέσης που αναλύεται στην οριζοντιογραφική ακρίβεια και στην ακρίβεια του σχήματος ως μετα-δεδομένα μαζί με τα γενικευμένα δεδομένα.

Η παραπάνω διαδικασία αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της γενίκευσης χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης στην ακόλουθη μελέτη (Skopeliti and Tsoulos, 2001b). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι η ακτογραμμή της Λευκάδας και της Ιθάκης. Τα δεδομένα έχουν κλίμακα αναφοράς 1:100 000 και ζητείται η απόδοση τους σε κλίμακα 1: 500 000. Ο τελεστής που θα εφαρμοστεί είναι η απλοποίηση. Η ποιότητα του αποτελέσματος κρίνεται από την ικανοποίηση μιας ομάδας περιορισμών σε επίπεδο μεμονωμένης γραμμής. Σε πρώτο στάδιο εφαρμόζεται η διαδικασία αυτόματης αναγνώρισης της δομής και η ακτογραμμή κατατμείται σε ομοιογενή τμήματα (Σχήμα 2). Στη συνέχεια η ομάδα μέτρων υπολογίζεται για κάθε γραμμή και ακολουθεί η ομαδοποίηση τους. Το πλήθος των ομάδων και η σύσταση των ομάδων προκύπτει από την εφαρμογή της στατιστικής μεθόδου της Ανάλυσης Ομάδων χωρίς την επέμβαση του χαρτογράφου (Σχήμα 2). Η ακτογραμμή των δύο νησιών κατατμείται σε δεκαοκτώ τμήματα (18) τα οποία ταξινομούνται

σε τέσσερις ομάδες διαφορετικής πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζονται λεκτικά από τον χαρτογράφο εκ των υστέρων ως «πολύ ομαλές» (VSM - group 1), «ομαλές» (SM- group 2), «ημιτονοειδείς» (SIN- group 3) και ««πολύ ημιτονοειδείς» (VSIN- group 4). Για την εφαρμογή της απλοποίησης διατίθενται οι ακόλουθοι αλγόριθμοι: ο συνολικός αλγόριθμος των Douglas Peucker, οι τοπικοί αλγόριθμοι των Reuman – Witkam, του Lang και της Ευκλείδειας απόστασης και ένας αλγόριθμος που αναγνωρίζει τη δομή Bendsimplify (ESRI ARC/INFO) (BS). Η τιμή της παραμέτρου ανοχής κατά την εφαρμογή των αλγορίθμων ισούται με τη διακριτική ικανότητα του ματιού (0.25 mm) στη νέα κλίμακα. Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς από τη διεθνή βιβλιογραφία (ένα υποσύνολο τους παρουσιάζεται στον Πίνακα 1) που πρέπει να ικανοποιούν οι γραμμικές οντότητες μετά τη γενίκευση σε επίπεδο μεμονωμένης οντότητας, τα μέτρα που προκύπτουν από τη μεθοδολογία περιγραφής της μεταβολής της μορφής και της οριζοντιογραφικής θέσης μετατρέπονται σε εργαλεία εκτίμησης καθώς ελέγχουν την ικανοποίηση ή μη κάποιων συνθηκών που περιγράφουν την ποιότητα του αποτελέσματος της γενίκευσης. Τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν τη βαθμολόγηση κάθε μιας από τις παραπάνω εναλλακτικές λύσεις απλοποίησης κάθε φορά που ικανοποιείται μια επιθυμητή συνθήκη. Στη συνέχεια επιλέγεται η βέλτιστη πρακτική σε επίπεδο αλγορίθμου για κάθε ομάδα γραμμών, δηλαδή εκείνη που έλαβε τη μεγαλύτερη βαθμολογία. Αυτή την πληροφορία της βέλτιστης πρακτικής σε επίπεδο ομάδας γραμμών καθώς και τη μεταβολή της μορφής και της οριζοντιογραφικής θέσης σε επίπεδο γραμμής μεταφέρει το προτεινόμενο μοντέλο. Στη συγκεκριμένη μελέτη βέλτιστα κρίθηκαν βάσει της βαθμολογίας τα αποτελέσματα του αλγορίθμου Bendsimplify για όλες τις ομάδες γραμμών.

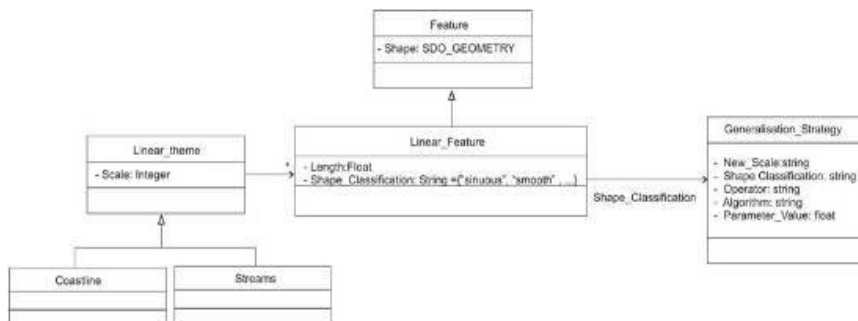
3. Σχήμα καταγραφής στη βάση δεδομένων και μεταφοράς των δεδομένων στο διαδίκτυο

Ο σχεδιασμός της γεωγραφικής βάσης δεδομένων βασίζεται στο μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης. Οι γραμμικές οντότητες ενός θεματικού επιπέδου π.χ. ακτογραμμή αποτελούνται από ομοιογενή τμήματα μετά από την κατάτμηση των αρχικών δεδομένων, είναι ταξινομημένες ανάλογα με τη μορφή τους και συνοδεύονται από τη διαδικαστική γνώση για τη βέλτιστη γενίκευση.

Η χωρική βάση δεδομένων υλοποιείται στην Oracle 9i, που είναι ένα αντικειμενοστραφές και σχεσιακό περιβάλλον διαχείρισης βάσης δεδομένων (DBMS). Στην Oracle 9i το μοντέλο των δεδομένων περιλαμβάνει τον τύπο SDO_GEOMETRY που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της γεωμετρίας των οντοτήτων. Η γεωμετρία αποθηκεύεται βάσει των «απλών οντοτήτων» της κοινοπραξίας OGC. Τα πρότυπα αυτά χρησιμοποιούνται και από την GML. Η συμβατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα επιθυμητή καθώς η γεωγραφική βάση δεδομένων αναπτύσσεται για να τροφοδοτεί την καταγραφή των δεδομένων σε μορφή GML. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα της Oracle να επικοινωνεί με Σ.Γ.Π. όπως το Arc/Info (ESRI). Αυτό διευκολύνει τη διαχείριση των δεδομένων στη βάση και την επεξεργασία της γεωμετρίας.

Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται το διάγραμμα τάξεων UML της γεωγραφικής βάσης δεδομένων. Τα στοιχεία κάθε γραμμικής οντότητας καταγράφονται κατατεμημένα σε ομοιογενή τμήματα. Το πεδίο "Shape_Classification" (Ταξινόμηση Μορφής) καταγράφει την πληροφορία βάσει της οποίας κάθε τμήμα ταξινομείται σε μια ομάδα γραμμών παρόμοιας μορφής π.χ. ομαλή, ημιτονοειδείς κ.α. Ένας επιπλέον πίνακας "Generalisation Strategy" (Τακτική γενίκευσης) καταγράφει τη διαδικαστική γνώση για κάθε ομάδα γραμμών ανάλογα με την κλίμακα του νέου χάρτη (πεδίο "New_Scale"). Στο πεδίο "Operator" αποθηκεύεται για κάθε ομάδα γραμμών ο τελεστής γενίκευσης π.χ. απλοποίηση, εξομάλυνση κ.α., στο πεδίο "Algorithm" (Αλγόριθμος) ο προτεινόμενος αλγόριθμος π.χ. Douglas – Peucker, Lang κ.α. και στο πεδίο "Parameter" (Παράμετρος) η τιμή της παραμέτρου εφαρμογής του αλγορίθμου. Η σύνδεση με το βασικό πίνακα της γεωμετρίας γίνεται με βάσει το κοινό πεδίο "Shape_Classification".

Όταν ο χρήστης υποβάλει ένα ερώτημα ανάκτησης δεδομένων από την βάση δεδομένων για απόδοση σε νέα μικρότερη κλίμακα, τα δεδομένα θα πρέπει να γενικευτούν. Με βάση τη νέα κλίμακα απόδοσης και χρησιμοποιώντας την πληροφορία που αποθηκεύεται στον πίνακα "Generalisation Strategy" σε κάθε ομάδα γραμμών διαφορετικής μορφής εφαρμόζεται ο κατάλληλος τελεστής γενίκευσης, ο αντίστοιχος αλγόριθμος και τιμή της παραμέτρου εφαρμογής. Παράλληλα υπολογίζεται βάσει των παραπάνω μεθοδολογιών η μεταβολή της μορφής και της οριζοντιογραφικής θέσης της κάθε γραμμής. Η πληροφορία αυτή ως μεταδεδομένο ποιότητας συνοδεύει τη γενικευμένη γραμμή.

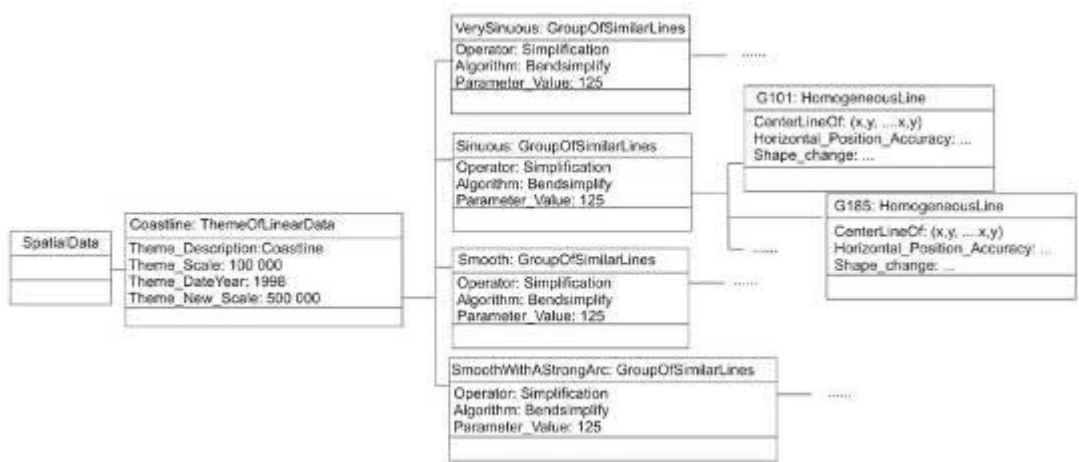


Σχήμα 3. Διάγραμμα τάξεων UML της γεωγραφικής βάσης δεδομένων (γραμμικές οντότητες).

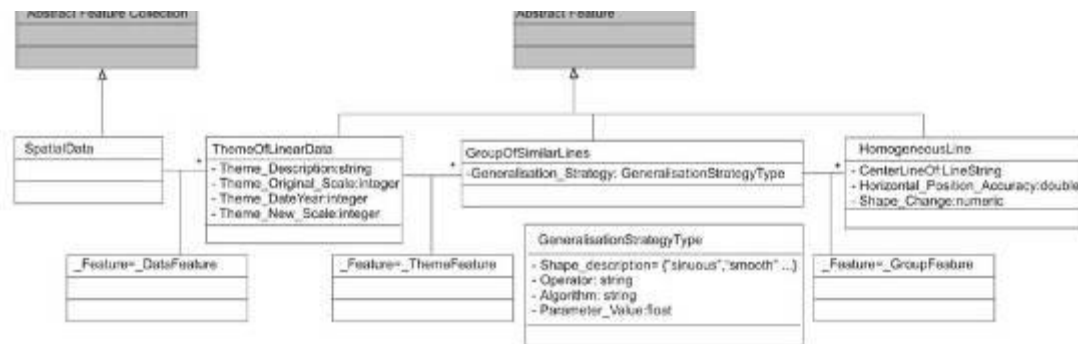
Για την καταγραφή και τη μεταφορά των γεωγραφικών δεδομένων στο διαδίκτυο στα πλαίσια της υπηρεσίας δυναμικής γενίκευσης, το μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών οντοτήτων υλοποιείται με ένα σχήμα εφαρμογής (application schema) της GML. Η GML (Geography Markup Language - Γεωγραφική Επεκτάσιμη Γλώσσα Σήμανσης) είναι πρότυπο της OGC. Πρόκειται για ένα σχήμα XML (eXtensible Markup Language) για την καταγραφή και τη μεταφορά της γεωγραφικής πληροφορίας συμπεριλαμβάνοντας τις χωρικές και τις μη-χωρικές ιδιότητες των γεωγραφικών οντοτήτων. Βασίζεται στην αρχή ότι τα δεδομένα καταγράφονται ανεξάρτητα από την απόδοσή τους. Στηρίζεται στο μοντέλο για τα γεωγραφικά δεδομένα του OGC (OGC Abstract Specification). Ένα σχήμα εφαρμογής δηλώνει τις οντότητες και τις ιδιότητες τους που αφορούν τη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιώντας αυτούσια στοιχεία και τύπους από τα τυπικά σχήματα της GML ή με τον ορισμό νέων βάσει αυτών.

Το Σχήμα 4 παρουσιάζει το UML διάγραμμα τάξεων του σχήματος εφαρμογής της GML. Η πρώτη τάξη σε αυτό το μοντέλο είναι το root element, που είναι το στοιχείο που περιβάλλει όλα τα άλλα στοιχεία. Η τάξη αυτή καλείται SpatialData και είναι τύπου Abstract Feature Collection. Η δεύτερη τάξη καλείται ThemeOfLinearData, είναι τύπου Abstract Feature, και αντιστοιχεί σε κάθε γεωγραφικό θεματικό επίπεδο που χρησιμοποιεί γραμμικά δεδομένα για την καταγραφή του π.χ. ακτογραμμή, υδρογραφικό δίκτυο κ.α. Η τάξη αυτή έχει τις ιδιότητες theme_description, theme_scale και theme_date που αντίστοιχα χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύσουν μια σύντομη περιγραφή του θεματικού επιπέδου, την κλίμακα και την ημερομηνία συλλογής. Μια άλλη τάξη είναι η GroupOfSimilarLines που είναι τύπου AbstractFeature. Η τάξη αυτή χρησιμοποιείται για να καταγράψει ένα σύνολο τμημάτων με παρόμοια μορφή. Από την τάξη αυτή δημιουργούνται μια σειρά στιγμές που αντιπροσωπεύουν μια ομάδα γραμμών με συγκεκριμένη μορφή π.χ. ομαλή, ημιτονοειδείς κ.α. όπως φαίνεται και στο διάγραμμα ανακείμενων UML (Σχήμα 4). Η τάξη αυτή έχει μια σύνθετη ιδιότητα που καλείται GeneralizationStrategy και περιλαμβάνει πληροφορίες για τη γενίκευση αυτής της ομάδας γραμμών, δηλαδή τον τελεστή γενίκευσης, τον αλγόριθμο και τις τιμές των παραμέτρων που χρειάζονται από τον αλγόριθμο. Η τελευταία τάξη είναι η HomogeneousLine, που είναι τύπου Abstractfeature και καταγράφει τη γεωμετρία

χρησιμοποιώντας το στοιχείο `gml:centerLineOf:LineString`. Επιπλέον δύο ιδιότητες χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την ακρίβεια θέσης: η ιδιότητα `HorizontalPositionAccuracy` που αποθηκεύει την τιμή του μέτρου που προσδιορίζει τη μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης και η ιδιότητα `ShapeChange` που αποθηκεύει την τιμή του μέτρου που προσδιορίζει τη μεταβολή της μορφής ανάμεσα στην αρχική και τη γενικευμένη γραμμή. Για τη καλύτερη κατανόηση πέρα από το διάγραμμα UML των τάξεων (Σχήμα 3), παρατίθεται και ένα διάγραμμα αντικειμένων UML που δείχνει τις στιγμές των τάξεων (Σχήμα 5) όπως διαμορφώνεται για την προαναφερθείσα μελέτη.



Σχήμα 5. Διάγραμμα αντικειμένων UML του σχήματος εφαρμογής της GML που απεικονίζει στιγμές των τάξεων σύμφωνα με το ενισχυμένο μοντέλο των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης.



Σχήμα 4. Διάγραμμα τάξεων UML του σχήματος εφαρμογής της GML σύμφωνα με το ενισχυμένο μοντέλο των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης.

4. Επίλογος

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει το εμπλουτισμένο μοντέλο ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης που βασίζεται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά: οι γραμμικές οντότητες κατατμούνται σε ομοιογενή τμήματα, τα ομοιογενή

τμήματα ταξινομούνται σε ομάδες ανάλογα με τη μορφή τους και για κάθε ομάδα γραμμών παρέχεται διαδικαστική γνώση για τη βέλτιστο σενάριο γενίκευσης. Ειδικά μέτρα περιγράφουν τη μεταβολή του σχήματος και της οριζοντιογραφικής θέσης ανάμεσα στην αρχική και στη γενικευμένη γραμμή. Το εμπλουτισμένο μοντέλο γραμμικών δεδομένων μπορεί να υποστηρίξει μια υπηρεσία γενίκευσης σε πραγματικό χρόνο για τη δυναμική παραγωγή χαρτών στο διαδίκτυο. Η δυνατότητα υλοποίησης του μοντέλου καταγραφής για τη μεταφορά δεδομένων στο διαδίκτυο παρουσιάζεται βάσει της GML. Η χαρτογραφική έρευνα θα πρέπει να εστιάσει στον εμπλουτισμό της διαδικαστικής γνώσης για τη γενίκευση για την υποστήριξη ενός τέτοιου συστήματος, όσον αφορά τη σχέση της αρχικής με τη νέα κλίμακα απόδοσης, όλους τους τελεστές που αφορούν τις γραμμικές οντότητες αλλά και τα άλλα γεωγραφικά δεδομένα.

Βιβλιογραφία

Σκοπελίτη Α., 2001: Αναγνώριση, Εκτίμηση και Συμπεριφορά του Σφάλματος στις Βάσεις Χαρτογραφικών Δεδομένων, Διδακτορική διατριβή, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Abbas I., P. Grussenmeyer and P Hottier, 1995: Controle de la planimetrie d' une base de donnees vectorielles: une nouvelle methode basee sur la distance de Hausdorff: la methode du controle lineaire. Bul. S.F.T.P, 137 (1), 6-11.

Bernhardt M.C., 1992: Quantitative characterization of cartographic lines for generalization. Report No. 425, Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, Columbus, Ohio.

Burghardt D., M. Neun and R. Weibel, 2005: Generalization Services on the Web—Classification and an Initial Prototype Implementation. Cartography and Geographic Information Science, 32 (4), 257-268.

Buttenfield B., 1991: A rule for describing line feature geometry. In B. Buttenfield and R. McMaster, (Eds) Map generalization: Making rules for knowledge representation, U.K.: Longman Scientific, 150-171.

Cecconi A., 2003: Integration of Cartographic Generalisation and Multi-Scale Databases for Enhanced Web Mapping. PhD Thesis, University Zurich, Switzerland.

Geography Markup Language (GML), Version: 3.1.0, 2004. <http://www.opengeospatial.org/>

Jasinski M. J., 1990: The comparison of complexity measures for cartographic lines, NCGIA Report 90-1.

Jones, C. B., D. B. Kidner, L. Q. Luo, G. L. Bundy and J. M. Ware, 1996: Database, Design for a Multi-Scale Spatial Information System. International Journal of Geographic Information Systems, 10(8), 901-920.

Mandelbrot B., 1967: How long is the coast of Britain? Statistical self similarity and fractional dimension. Science, 156, 636-638.

McMaster R. B., 1986: A statistical analysis of mathematical measures for linear simplification. The American Cartographer, 13(2), 103-116.

Moktharian F. and A. K. Mackworth, 1986: Scale-based description and recognition of planar curves and two dimensional curves. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8, 34-43

Mustiere S., 1998: GALBE: Adaptive Generalization – The need for an adaptive process

for automated generalization, an example on roads. Proceedings of GIS' Planet 1, Lisbon, Portugal.

Plazanet C., J. G Affholder and E. Fritsh, 1995: The importance of geometric modelling in linear feature generalization. Cartography and Geographic Information Systems, 22(4), 291-305.

Reichenbacher T., 1995: Knowledge acquisition in map generalization using interactive systems and machine learning. ICA '95, Barcelona, Spain, 2221-2230.

Ruas A., 1999: **Modèle de généralisation de données géographiques a base de contraintes et d`autonomie. Ph.D. thesis, Université de Marne la Vallée, Paris.**

Skopeliti A. and L. Tsoulos, 1999: On the Parametric Description of the Shape of the Cartographic Line, Cartographica, 36 (3), 57-69

Skopeliti A. and L. Tsoulos, 2001a: A Methodology for the Assessment of Generalization Accuracy, Fourth Workshop on Progress in Automated Map Generalization, Beijing, China

Skopeliti A. and L. Tsoulos, 2001b: A knowledge - based approach for the cartographic generalization of linear features, 20th International Cartographic Conference, Beijing, China, 1903 - 1913.

Skopeliti A. and L. Tsoulos, 2005: A model for the Generalisation and Transfer of Linear Features over the Web, International Hydrographic Review, 6(2), 30-44

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΤΑΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΖΩΝΩΝ

Στεφανάκης Ε.¹, Πραστάκος Π.²

¹ Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας

² Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΤΕ)

Περίληψη

Τα δεδομένα που φιλοξενεί μια Υποδομή Γεωγραφικών Δεδομένων (ΥΓΔ) πρέπει να συνοδεύονται από καλά οργανωμένα μεταδεδομένα, ώστε να είναι αξιοποιήσιμα από τους χρήστες. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να συνοψίσει αρχικά το θεωρητικό υπόβαθρο των μεταδεδομένων, και στη συνέχεια να σχολιάσει τα βασικά πρότυπα μεταδεδομένων, επικεντρώνοντας στο επικρατέστερο αυτών, το ISO 19115. Επίσης παρουσιάζεται η διεθνής εμπειρία στην ανάπτυξη και αξιοποίηση μεταδεδομένων παράκτιων ζωνών.

DEVELOPMENT OF COASTAL METADATA

Stefanakis E.¹, Prastacos P.²

¹ Harokopio University of Athens, Department of Geography

² Foundation for Research and Technology (FORTH)

Abstract

In a Spatial Data Infrastructure (SDI) the data must be accompanied by well defined metadata. In this paper the theoretical concepts of metadata and the basic metadata standards are described. Special focus is given on the ISO 19115. Additionally, the international experience on metadata development for coastal zones is examined.

Λέξεις κλειδιά: μεταδεδομένα, πρότυπα, παράκτια ζώνη, ISO 19115, INSPIRE, NOKIS.

Key words: metadata, standards, coastal zone, ISO 19115, INSPIRE, NOKIS.

1. Εισαγωγή

Η αξιοποίηση μιας συλλογής δεδομένων προϋποθέτει την «κατανόηση» των δεδομένων αυτών. Η τεκμηρίωση μιας συλλογής δεδομένων, έτσι ώστε αυτά να είναι αξιοποιήσιμα από τους χρήστες τους, επιτυγχάνεται μέσω μιας συνοδευτικής σειράς δεδομένων, τα οποία καλούνται *μεταδεδομένα* (metadata). Με άλλα λόγια, τα μεταδεδομένα αποτελούν τη σύνοψη ή περιγράφουν τα χαρακτηριστικά μιας συλλογής δεδομένων.

Ο όρος μεταδεδομένα (δεδομένα που περιγράφουν δεδομένα) έχει υιοθετηθεί τις τελευταίες δύο δεκαετίες και σχετίζεται συχνά με τις εφαρμογές του διαδικτύου. Όμως η έννοια των μεταδεδομένων έχει χρησιμοποιηθεί από πολύ παλαιότερα και εν γένει συνοδεύει κάθε οργανωμένη συλλογή δεδομένων. Συγκεκριμένα, οι κατάλογοι των βιβλιοθηκών αποτελούν τα μεταδεδομένα των συλλογών που φιλοξενούν οι βιβλιοθήκες. Επίσης, το περιεχόμενο του υπομνήματος ενός παραδοσιακού έντυπου χάρτη (π.χ., συντάκτης και εκδότης του χάρτη, ημερομηνία έκδοσης, κλίμακα, ακρίβειες, σύμβολα, συστήματα αναφοράς συντεταγμένων, κλπ.) είναι τα μεταδεδομένα της πληροφορίας που μεταφέρει ο χάρτης. Σήμερα, τα ψηφιακά γεωγραφικά δεδομένα συνοδεύονται από μια σειρά μεταδεδομένων, τα οποία δίνουν έμφαση σε όλες τις διαστάσεις των γεωγραφικών οντοτήτων που περιγράφουν αυτά.

Ο στόχος των μεταδεδομένων είναι διπλός: (α) να υποστηρίξουν τους χρήστες να εντοπίσουν το σετ των δεδομένων που πληροί τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής, και (β)

να καθορίζουν τις διαδικασίες της βέλτιστης αξιοποίησης των αντίστοιχων δεδομένων από τους χρήστες. Όταν τα μεταδεδομένα έχουν δημιουργηθεί σωστά και με πληρότητα, απαντούν μεταξύ άλλων τις ακόλουθες ερωτήσεις που αφορούν στα δεδομένα:

- Ποιος τα δημιούργησε;
- Ποιος τα συντηρεί;
- Πότε συλλέχθηκαν; Πότε δημοσιεύθηκαν;
- Πού είναι η γεωγραφική τους θέση;
- Ποιο είναι το περιεχόμενό τους; Η δομή τους;
- Για ποιο λόγο δημιουργήθηκαν αυτά;
- Πώς παράχθηκαν;
- Πού είναι αποθηκευμένα;

Τα μεταδεδομένα οργανώνονται σε τρία επιμέρους επίπεδα:

1. *Μεταδεδομένα διαπίστωσης* (discovery metadata): Εδώ περιλαμβάνονται γενικές πληροφορίες για την αντίστοιχη συλλογή των δεδομένων, που επιτρέπουν σε ένα χρήστη να διαπιστώσει αν η συλλογή αυτή σχετίζεται με (μπορεί ενδεχομένως να υποστηρίξει) τις ανάγκες της εφαρμογής.
2. *Μεταδεδομένα διερεύνησης* (exploration metadata): Εδώ περιλαμβάνονται περισσότερες λεπτομέρειες για την αντίστοιχη συλλογή των δεδομένων, και δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να διερευνήσει σε ποιο βαθμό η συλλογή πληροί τις ανάγκες της εφαρμογής.
3. *Μεταδεδομένα αξιοποίησης* (exploitation metadata): Εδώ περιλαμβάνονται οδηγίες για την πρόσβαση στη συλλογή των δεδομένων, καθώς και υποδείξεις για την αποθήκευση, χρήση και συντήρηση της. Πληροφορίες όπως το λεξικό δεδομένων, το σχήμα των δεδομένων, το σύστημα αναφοράς συντεταγμένων, κλπ., εντάσσονται σε αυτό το επίπεδο.

2. Πρότυπα για Μεταδεδομένα

Τα μεταδεδομένα μιας συλλογής δεδομένων μπορούν να ακολουθούν ή όχι μια τυποποίηση. Τα τελευταία χρόνια επιδιώκεται όλο και ευρύτερα η υιοθέτηση ενός *προτύπου*, βάσει του οποίου εκφράζονται οι δομές και οι ορισμοί των μεταδεδομένων. Το βασικό πλεονέκτημα της χρήσης προτύπων μεταδεδομένων είναι ότι οδηγούν σε μια συνεπή και πλήρη περιγραφή της αντίστοιχης συλλογής δεδομένων. Η περιγραφή αυτή με τη σειρά της επιτρέπει την άμεση αναγνώριση του περιεχομένου της αντίστοιχης συλλογής δεδομένων από τους χρήστες, και διευκολύνει τη σύγκριση μεταξύ συλλογών δεδομένων.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλά πρότυπα, που αφορούν στην περιγραφή συλλογών γεωγραφικών δεδομένων. Ορισμένα από αυτά είναι εξειδικευμένα σε συγκεκριμένες εφαρμογές των γεωεπιστημών, π.χ., κτηματολόγιο, χαρτογραφία, μεταφορές, κλπ., ενώ άλλα είναι γενικής χρήσης. Προφανώς είναι αδύνατη η δημιουργία ενός εξαντλητικού προτύπου, που θα προβλέπει και θα είναι σε θέση να φιλοξενήσει όλες τις πτυχές των γεωγραφικών δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, όμως, τα υπάρχοντα πρότυπα παρέχουν συχνά τη δυνατότητα επέκτασής τους, ώστε να φιλοξενήσουν εξειδικευμένες πληροφορίες.

Η διεθνής κοινότητα, μέσω του *International Organization of Standards* (ISO), έχει αναπτύξει και αποδεχτεί ένα διεθνές πρότυπο μεταδεδομένων, το ISO 19115. Το ISO 19115 έχει συνταχθεί από την τεχνική επιτροπή (Technical Committee) του ISO/TC 211, Geographic Information/Geomatics. Οι ΗΠΑ – αν και υιοθετούν κατά κύριο λόγο το *Content Standard for Digital Geospatial Metadata* (CSDGM), που αναπτύχθηκε και συντηρείται από την *Federal Geographic Data Committee* (FGDC) – ως μέλος του ISO βρίσκονται σε μια φάση αναθεώρησης του CSDGM, ώστε να γίνει αυτό συμβατό με το ISO 19115.

Κάθε χώρα μπορεί να δημιουργήσει τη δική της παραλλαγή, η οποία καλείται *προφίλ* (profile) στο ISO 19115, αρκεί να συμπεριλάβει μια σειρά από υποχρεωτικά στοιχεία (core elements). Επιπλέον, για την υποστήριξη των αναγκών εξειδικευμένων εφαρμογών έχει προβλεφθεί και η επέκταση του ISO 19115 (στο πρότυπο περιγράφονται αναλυτικά οι κανόνες και η μεθοδολογία επέκτασης, ενώ παράλληλα παραθέτονται αναλυτικά παραδείγματα).

Η FGDC όπως και άλλες επιτροπές σε χώρες της Δ. Ευρώπης, του Καναδά και της Αυστραλίας έχουν αναπτύξει ή βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης ενός εθνικού προφίλ του ISO 19115. Ειδικότερα, υιοθετούν το ISO 19139, που αφορά στην υλοποίηση του ISO 19115 στη γλώσσα XML (eXtensible Markup Language). Επίσης, σύμφωνα με την πρόταση της ομάδας εργασίας Reference Data and Metadata Group (2002) της πρωτοβουλίας INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe), κάθε χώρα οφείλει να αναπτύξει ένα εθνικό προφίλ συμβατό με το ISO 19115 για τα εθνικά δεδομένα που θα διαθέσει. Πρόσφατα η ομάδα εργασίας Data Specifications Drafting Team αξιολογώντας τις θεματικές κατηγορίες (topic categories) του ISO 19115 αποφάνθηκε ότι δεν ικανοποιούν τις προτεραιότητες του INSPIRE, οπότε προχώρησε στην υιοθέτηση μιας νέας κατηγοριοποίησης με θέματα και υποθέματα (βλ. Ενότητα 2.3).

Στην Ελλάδα δεν έχει ακόμη ξεκινήσει μια συντονισμένη προσπάθεια προς αυτήν την κατεύθυνση. Κάποιοι αρχικοί προβληματισμοί έχουν εκφραστεί από την ομάδα εργασίας της HellasGIS, την ομάδα για το έργο υποστήριξης της Ε.Υ.Γε.Π. (ως ένα οριζόντιο έργο του μέτρου 2.4 του ΕΠ ΚΤΠ), και την ομάδα εργασίας του Τ.Ε.Ε. για την πρωτοβουλία INSPIRE. Η μελέτη και πιθανά δημιουργία ενός πιλοτικού προφίλ για την Ελλάδα αποτελεί μια ενδιαφέρουσα δράση για το άμεσο μέλλον.

2.1 Στοιχεία Μεταδεδομένων κατά ISO 19115

Το ISO 19115 ορίζει ένα εκτενές σύνολο *στοιχείων μεταδεδομένων* (metadata elements). Στην πράξη μόνο ένα υποσύνολο του χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σετ γεωγραφικών δεδομένων. Όμως υπάρχουν μια σειρά από υποχρεωτικά στοιχεία (core elements) τα οποία έχουν σαν στόχο να υποστηρίξουν τις ακόλουθες ερωτήσεις από πλευράς χρηστών:

- Υπάρχει σετ δεδομένων για ένα ειδικό θέμα; (ερώτηση τύπου "what")
- Υπάρχει σετ δεδομένων για μια συγκεκριμένη περιοχή; (ερώτηση τύπου "where")
- Υπάρχει σετ δεδομένων για μια συγκεκριμένη ημερομηνία ή χρονική περίοδο; (ερώτηση τύπου "when")
- Ποιο είναι το σημείο αναφοράς/επαφής για περισσότερες πληροφορίες που αφορούν στο σετ των δεδομένων; (ερώτηση τύπου "who")

Εκτός από τα υποχρεωτικά στοιχεία μεταδεδομένων, το ISO 19115 προβλέπει/συνιστά μια σειρά από προαιρετικά στοιχεία, τα οποία αυξάνουν την διαδραστικότητα και επιτρέπουν στους χρήστες να κατανοήσουν – χωρίς ασάφειες – το περιεχόμενο του αντίστοιχου σετ των δεδομένων.

Τα *υποχρεωτικά στοιχεία μεταδεδομένων* (core metadata elements) κατά ISO 19115 είναι τα ακόλουθα επτά. Από αυτά, τα πρώτα πέντε αφορούν στα αντίστοιχα δεδομένα, ενώ τα δύο τελευταία αφορούν στο σετ των μεταδεδομένων καθεαυτό.

- Τίτλος των δεδομένων (dataset title)
- Χρονόσημα των δεδομένων (dataset reference date)
- Γλώσσα των δεδομένων (dataset language)
- Θέμα των δεδομένων (dataset topic category)
- Σύνοψη των δεδομένων (abstract describing the dataset)
- Σημείο αναφοράς των μεταδεδομένων (metadata point of contact)

- Χρονόσημο των μεταδεδομένων (metadata data stamp)

Υπό ορισμένες προϋποθέσεις το σετ των μεταδεδομένων περιλαμβάνει επίσης τα ακόλουθα τέσσερα στοιχεία (conditional metadata elements) επίσης ως υποχρεωτικά. Στα *υποχρεωτικά υπό προϋποθέσεις στοιχεία μεταδεδομένων* τα δύο πρώτα αφορούν στα αντίστοιχα δεδομένα, ενώ τα υπόλοιπα αφορούν στο σετ των μεταδεδομένων καθεαυτό.

- Γεωγραφική θέση των δεδομένων (geographic location of the dataset – με τέσσερις συντεταγμένες ή με γεωγραφική ταυτοποίηση)
- Κωδικοποίηση χαρακτήρων των δεδομένων (dataset character set)
- Γλώσσα των μεταδεδομένων (metadata language)
- Γραμματοσειρά των μεταδεδομένων (metadata character set)

Τα *προαιρετικά στοιχεία μεταδεδομένων* (optional metadata elements) κατά ISO 19115 είναι τα ακόλουθα έντεκα. Από αυτά τα οκτώ πρώτα αφορούν στα αντίστοιχα δεδομένα, ενώ τα υπόλοιπα τρία αφορούν στο σετ των μεταδεδομένων καθεαυτό.

- Υπεύθυνος των δεδομένων (dataset responsible party)
- Χωρική ανάλυση των δεδομένων (spatial resolution of the dataset)
- Μορφή διάθεσης των δεδομένων (distribution format)
- Πρόσθετες πληροφορίες των δεδομένων, που αφορούν στην 3η-διάσταση του χώρου ή στη χρονική μεταβολή αυτών (additional extent information for the dataset – vertical and temporal)
- Τύπος χωρικής αναπαράστασης (spatial representation type)
- Σύστημα αναφοράς των δεδομένων (reference system)
- Πηγή και ποιότητα των δεδομένων (lineage)
- Διαθεσιμότητα των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (on-line resources)
- Ταυτοποίηση του αρχείου των μεταδεδομένων (metadata file identifier)
- Τυποποίηση των μεταδεδομένων (metadata standard name)
- Έκδοση της τυποποίησης των μεταδεδομένων (metadata standard version)

2.2 Κατηγορίες Θεμάτων κατά ISO 19115

Το ISO 19115 προβλέπει τις ακόλουθες *κατηγορίες θεμάτων* (topic categories) για την ταξινόμηση και πρόσβαση στη θεματική πληροφορία σε σύνολα γεωγραφικών δεδομένων.

- farming (ανατροφή ζώων και καλλιέργεια φυτών)
- biota (χλωρίδα και πανίδα σε φυσικό περιβάλλον)
- boundaries (συνοριακές γραμμές)
- climatologyMeteorologyAtmosphere (διαδικασίες και φαινόμενα της ατμόσφαιρας)
- economy (οικονομικές δραστηριότητες)
- elevation (υψομετρία – βαθυμετρία)
- environment (περιβαλλοντικοί πόροι και προστασία)
- geoscientificInformation (πληροφορίες που αναφέρονται στις γεωεπιστήμες)
- health (υγεία, υπηρεσίες υγείας, οικολογία και ασφάλεια)
- imageryBaseMapsEarthCover (χάρτες υποβάθρου)
- intelligenceMilitary (στρατιωτικές βάσεις, δομές και δραστηριότητες)
- inlandWaters (ηπειρωτικά υδρολογικά συστήματα και χαρακτηριστικά)
- location (πληροφορίες εντοπισμού και υπηρεσίες)
- oceans (γνωρίσματα και χαρακτηριστικά αλμυρών υδάτων)
- planningCadastre (πληροφορίες για δράσεις και μελλοντική εκμετάλλευση της γης)
- society (χαρακτηριστικά της κοινωνίας και του πολιτισμού)
- structure (ανθρωπογενείς δομές)
- transportation (συστήματα μεταφορών ανθρώπων και αγαθών)
- utilitiesCommunication (ενέργεια, συστήματα υδάτων και απορριμμάτων, υποδομές και υπηρεσίες επικοινωνιών)

2.3 Κατηγορίες Θεμάτων κατά INSPIRE

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι θεματικές κατηγορίες κατά ISO 19115 δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις του INSPIRE. Το INSPIRE προβλέπει τις ακόλουθες κατηγορίες θεμάτων (topic categories) για την ταξινόμηση και πρόσβαση στη θεματική πληροφορία σε σύνολα γεωγραφικών δεδομένων.

- Geographical location (γεωγραφική θέση)
- Administrative units (διοικητικές μονάδες)
- Properties, buildings and addresses (ιδιοκτησίες, κτίρια, διευθύνσεις)
- Elevation (υψομετρία, βαθυμετρία και ακτογραμμή)
- Geo-physical environment (γεωφυσικό περιβάλλον)
- Land surface (εδαφοκάλυψη, ορθοφωτογραφίες)
- Transport (μεταφορές, δίκτυα – υπηρεσίες)
- Utilities and facilities (εγκαταστάσεις κοινής ωφέλειας)
- Society and population (χωροταξία, πολεοδομία, υγεία, πολιτισμός και πληθυσμός)
- Area regulation (χρήσεις γης και προστατευμένες ζώνες)
- Air and climate (ατμόσφαιρα και κλίμα)
- Water bodies/Hydrography (υγρές μάζες, υδρογραφία)
- Ocean and seas (ωκεανοί και θάλασσες)
- Biota/biodiversity (βιοποικιλότητα, χλωρίδα, πανίδα, καλλιέργειες)
- Natural resource (φυσικοί πόροι)
- Natural and technological risks (φυσικοί και τεχνολογικοί κίνδυνοι)
- Areas under anthropogenic stress (περιοχές υπό ανθρωπογενή κίνδυνο)

3. Εργαλεία Δημιουργίας Μεταδεδομένων

Πρόσφατα έχουν αναπτυχθεί μια σειρά από εργαλεία τα οποία υποστηρίζουν την δημιουργία, την αξιολόγηση της δομής (validation) και τη διάχυση των μεταδεδομένων βάσει ενός ευρέως διαδεδομένου προτύπου (π.χ., GSDGM, ISO 19115, κά.). Από την άλλη πλευρά, κανένα εργαλείο δεν μπορεί να εγγυηθεί την ορθότητα των μεταδεδομένων, η οποία πρέπει να ελέγχεται από τους δημιουργούς τους.

Ορισμένα από τα πιο δημοφιλή εργαλεία για δημιουργία μεταδεδομένων είναι τα ακόλουθα:

- ArcCatalog: Η εφαρμογή ArcCatalog της ESRI οργανώνει και διαχειρίζεται γεωγραφικές πληροφορίες, όπως χάρτες, μοντέλα, μεταδεδομένα και υπηρεσίες. Περιλαμβάνει φύλλα (stylesheets) για ποικίλες μορφές/τυποποιήσεις μεταδεδομένων και επιτρέπει την αυτόματη δημιουργία και ενημέρωση χωρικών αντικειμένων και γνωρισμάτων.
- GeoMedia Catalog: Αναπτύχθηκε από την Intergraph (GeoMedia v6.0) και επιτρέπει την δημιουργία μεταδεδομένων, ενώ παράλληλα διαθέτει μια πλούσια συλλογή εργαλείων για την επεξεργασία των μεταδεδομένων, την αναζήτησή τους, και τη διάχυσή τους. Υποστηρίζει μεταξύ άλλων τα πρότυπα GSDGM και ISO 19115, 19139.
- ArcView® Metadata Collector: Διατίθεται από την NOAA Coastal Services Center. Είναι μια απλή στη χρήση εφαρμογή που επιτρέπει στους χρήστες του λογισμικού ArcView 3.x να δημιουργήσουν μεταδεδομένα συμβατά με το πρότυπο GSDGM. Διατίθεται δωρεάν.
- M3Cat: Αναπτύχθηκε από την Intelec και δημιουργεί μεταδεδομένα βάσει των προτύπων GSDGM και ISO 19115. Επιτρέπει επίσης – μέσω συναρτήσεων – την εισαγωγή άλλων προτύπων ή/και γλωσσών (εκτός της Αγγλικής). Διατίθεται δωρεάν.

- **Metavist 2005:** Αναπτύχθηκε από την USDA Forest Service North Central Research Station και αποτελεί μια εφαρμογή δημιουργίας μεταδεδομένων συμβατών με το GSDGM σε μορφή XML. Διατίθεται δωρεάν.
- **Metascribe:** Αναπτύχθηκε από την NOAA Coastal Services Center και αποτελεί μια εφαρμογή δημιουργίας μεταδεδομένων συμβατών με το GSDGM. Είναι πολύ εύχρηστο για δημιουργία συλλογών με παρόμοιες εγγραφές. Δε συνίσταται όταν υπάρχουν λιγοστές επαναλήψεις στις εγγραφές των δεδομένων. Διατίθεται δωρεάν.
- **SMMS:** Αναπτύχθηκε από την Intergraph. Υποστηρίζει την αυτόματη δημιουργία και διάχυση μεταδεδομένων που αφορούν τα γεωγραφικά δεδομένα των θεματικών επιπέδων μιας εφαρμογής Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).

4. Μεταδεδομένα Παράκτιων Ζωνών

Στο διεθνή χώρο, ο ρόλος των μεταδεδομένων για εφαρμογές διαχείρισης παράκτιων περιοχών, έχει αναγνωριστεί και υιοθετηθεί ευρέως. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα αντιπροσωπευτικό σύστημα από τον ευρωπαϊκό χώρο που υιοθετεί ένα πρότυπο μεταδεδομένων κατά ISO 19115

4.1 Το Σύστημα NOKIS

Το **NOKIS** (Nord See and Baltic See Coastal Information System) είναι ένα πρόγραμμα, το οποίο έχει ως βασικό στόχο την εγκατάσταση ενός πληροφοριακού συστήματος μεταδεδομένων για την Γερμανική Βόρεια Θάλασσα και τις παράκτιες ζώνες της Βαλτικής. Η ανάπτυξη του συστήματος βασίζεται στη λογική των *ανοικτών συστημάτων* και επιτρέπει τη φιλοξενία δεδομένων και πληροφοριών από ποικίλους φορείς και οργανισμούς. Αυτό επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση μιας *τοπικής βάσης μεταδεδομένων* (local metadata base) ανά φορέα και την ενσωμάτωσή της στον *κεντρικό διακομιστή μεταδεδομένων* (central metadata server) του NOKIS μέσω του διαδικτύου. Το σύστημα αναπτύσσεται με την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που προσφέρουν οι *τεχνολογίες XML*.

Μια αυτοματοποιημένη διαδικασία υποστηρίζει την ανταλλαγή μεταδεδομένων από τις τοπικές βάσεις στον κεντρικό διακομιστή. Η σύνθετη δομή των μεταδεδομένων του NOKIS αυτο-περιγράφεται σε αρχεία XML που ακολουθούν ένα *XML Schema* (XSD), που έχει αναπτυχθεί για την υποστήριξη της ανταλλαγής των μεταδεδομένων. Κάθε τοπική βάση (φορέας/οργανισμός) αποστέλλει νέα αρχεία μεταδεδομένων στον κεντρικό διακομιστή, ο οποίος ελέγχει τις διπλοεγγραφές και προβαίνει στις αντίστοιχες ενημερώσεις/νέες εγγραφές. Τα αρχεία XML που υποβάλλονται και εγκρίνονται για ανάρτηση στον κεντρικό διακομιστή ευετηριοποιούνται, ώστε το περιεχόμενό τους να είναι εύκολα αναζητήσιμο. Να τονιστεί ότι, η μοναδική απαίτηση για να ενσωματωθούν μεταδεδομένα ενός φορέα/οργανισμού στο NOKIS web portal είναι αυτά να είναι σε μορφή XML και σύμφωνα με το NOKIS XML Schema.

Ο κεντρικός διακομιστής μεταδεδομένων φιλοξενείται και συντηρείται από την Federal Waterways Engineering and Research Institute (BAW). Διαθέτει μια συλλογή μεταδεδομένων που παρέχονται από τους συμμετέχοντες φορείς/οργανισμούς. Το Σχήμα 1 παρουσιάζει τη διεπαφή στον κεντρικό διακομιστή.

Η ιστοσελίδα του NOKIS έχει χτιστεί με χρήση JavaServer Pages και αμιγή HTML σε ένα Apache web Server με Tomcat servlet container. Το σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων MySQL έχει υιοθετηθεί για τα τοπικά αρχεία δεδομένων και μεταδεδομένων, ενώ η μηχανή αναζήτησης ht://Dig εφαρμόζεται για την ευετηριοποίηση των κειμένων (pdf, doc, txt, κά.). Τέλος, ο MapServer, που αναπτύσσεται στο Πανεπιστήμιο της Minnesota, υποστηρίζει την οπτικοποίηση και επισκόπηση των γεωγραφικών δεδομένων.

Το βασικό ζήτημα που απασχόλησε την ομάδα εκπόνησης του έργου NOKIS κατά την εκκίνησή του ήταν ποια τυποποίηση μεταδεδομένων θα υιοθετούνταν, ώστε να οδηγήσει σε

ένα βιώσιμο web portal για την παράκτια ζώνη. Οι διεθνείς τυποποιήσεις, από τη μια πλευρά απαιτούν μια πληθώρα εγγραφών (κι επομένως μια επίπονη προεργασία), αλλά από την άλλη πλευρά, εξασφαλίζουν μια αποτελεσματική περιγραφή των δεδομένων, ενώ παράλληλα συνοδεύονται από έξυπνα εργαλεία μεταδεδομένων (δημιουργίας, αξιολόγησης και αναζήτησης).

Το μοντέλο μεταδεδομένων του NOKIS βασίστηκε στο Committee Draft 3 του ISO 19115 που εκδόθηκε το 2000. Το μοντέλο αυτό ορίζει 23 στοιχεία του ISO ως υποχρεωτικά για να φιλοξενήσει πληροφορίες που σχετίζονται με εφαρμογές Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Επομένως, το NOKIS είναι πλήρως συμβατό με την τυποποίηση μεταδεδομένων κατά ISO 19115 και εγγυάται την παρουσία επαρκών πληροφοριών για την τεκμηρίωση των δεδομένων και την εφαρμογή μεθόδων έξυπνης αναζήτησης δεδομένων.

Τα μεταδεδομένα περιλαμβάνουν βιβλιογραφικές και τεχνικές πληροφορίες για να υποστηρίζονται αποτελεσματικά οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες αναζήτησης πηγών. Καταλογοποιούν τις πηγές δεδομένων με τον παραδοσιακό τρόπο, δηλ., με τις ετικέτες (πεδία) τίτλος, συγγραφέας, λέξεις κλειδιά, κλπ. Επιπρόσθετα, συνοδεύονται από πεδία που αφορούν στα χρονικά και χωρικά (γεωγραφικά) χαρακτηριστικά των πηγών, ώστε να υποστηριχθεί η αναζήτησή τους με χώρο-χρονικά κριτήρια. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1, στη διεπαφή του διακομιστή έμφαση δίνεται στις περιγραφικές λέξεις κλειδιά, την ταυτότητα του αρχείου των μεταδεδομένων και το χωρικό και χρονικό εύρος/διάστημα, κατά την αναζήτηση των πηγών δεδομένων παράκτιας ζώνης. Το Παράρτημα I παρουσιάζει ένα απόσπασμα μεταδεδομένων που περιγράφουν ένα σετ δεδομένων που φιλοξενεί μια τοπική βάση του NOKIS.



Σχήμα 1. Διεπαφή του κεντρικού διακομιστή του συστήματος NOKIS [<http://nokis.baw.de>].

Η αυτοματοποιημένη αναζήτηση προϋποθέτει τη χρήση ενός ελεγχόμενου λεξικού όρων (vocabulary), που ιδανικά θα παρέχεται από ένα θησαυρό (thesauri). Επιπλέον, καθώς το NOKIS προτίθεται να υποστηρίξει τη διεθνή κοινότητα, οφείλει να φιλοξενεί πολύγλωσσα πεδία. Για τις ανάγκες του έργου υιοθετήθηκαν οι ακόλουθοι δύο θησαυροί: (α) General

Multilingual Environmental Thesaurus (GEMET), και (β) International Glossary of Hydrology της UNESCO, το οποίο διατίθεται σε 11 γλώσσες.

5. Επίλογος

Στο πλαίσιο του Έργου «Ατλαντας Ακτής», που χρηματοδοτείται από το Γ' ΚΠΣ - ΠΕΠ Κρήτης, με Ανάδοχο το Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών του ΙΤΕ, υλοποιείται μια τοπική Υποδομή Γεωγραφικών Δεδομένων για την παράκτια ζώνη τμήματος της βόρειας ακτής του Ν. Ηρακλείου (πéριξ Δ. Μαλλίων). Ένας από τους άξονες δράσεις του Έργου είναι η ανάπτυξη ενός προφίλ μεταδεδομένων, που θα υποστηρίξει τη συνεπή και πλήρη περιγραφή των γεωγραφικών δεδομένων που θα φιλοξενηθούν στην Υποδομή. Επιπρόσθετα, θα σχεδιαστεί και υλοποιηθεί ένα σύστημα αναζήτησης των δεδομένων της Υποδομής με παραμέτρους τα πεδία του παραπάνω προφίλ. Θεωρείται ότι συστήματα όπως το NOKIS έχουν πολλά να διδάξουν τόσο στην ανάπτυξη των υποδομών του «Ατλαντα Ακτής» όσο και την Εθνική Υποδομή Γεωγραφικών Δεδομένων (ΕΥΓΕΠ) υπό την οδηγία της πρωτοβουλίας INSPIRE.

Παράρτημα 1

Απόσπασμα Μεταδεδομένων από το NOKIS:

<i>Charakterisierung der Metadaten</i>	<i>Χαρακτηριστικά Μεταδεδομένων</i>
Datensatz ID	bawdh13944
Kurztitel	ADCP Profil-Messung Querprofilfahrt 12
letzte Änderung	2005-05-20 (JJJJ-MM-TT) 10:04:04 (hh:mm:ss)
Sprache der Metadaten	Deutsch
Zeichensatz der Metadaten	UTF-8
ID des übergeordneten Datensatzes	bawdh37502
Hierarchieebene	Serie
Ersterfassung	2005-05-20 (JJJJ-MM-TT) 10:02:40 (hh:mm:ss)
Standardname	ISO 19115
Standardversion	DIS

<i>Kontakt</i>	<i>Πάροχος Μεταδεδομένων</i>
<i>Name, Vorname, Titel</i>	<i>Beyer, Ronny</i>
<i>Organisation</i>	<i>Bundesanstalt für Wasserbau</i>
<i>Kontaktinformation</i>	
<i>Telefon - Fax</i>	<i>040-81908-421</i>
<i>Adresse</i>	<i>Wedeler Landstr. 157</i>
<i>Ortsname</i>	<i>Hamburg</i>

<i>Bundesland</i>	<i>Hamburg</i>
<i>PLZ</i>	<i>22559</i>
<i>Staat</i>	<i>Deutschland</i>
<i>E-mail Adresse</i>	<i>ronny.beyer@baw.de</i>
<i>Bürozeiten</i>	<i>9.00-15.00 Uhr</i>

<i>Online-Ressource</i>	
<i>Hyperlink (URL)</i>	<i>http://nokis.baw.de/</i>
<i>Beschreibung</i>	<i>Nord- und Ostsee Küsteninformationssystem</i>
<i>Online-Funktion</i>	<i>Information</i>

<i>Charakterisierung der Daten</i>	<i>Χαρακτηριστικά Δεδομένων</i>
<i>Status</i>	<i>vollständig</i>
<i>Stichwort</i>	<i>Ästuar Elbe Modellverifikation Temperaturmessung Strömungsverhältnisse Strömung Strömungsgeschwindigkeit</i>
<i>Sprache</i>	<i>Deutsch</i>
<i>Thema</i>	<i>Geowissenschaft</i>
<i>Kontakt</i>	<i>Πάροχος Δεδομένων</i>
<i>Name, Vorname, Titel</i>	<i>Maushake, Christian</i>
<i>Organisation</i>	<i>Bundesanstalt für Wasserba</i>
<i>Position</i>	<i>Hydrograph</i>
<i>Datenpflege</i>	
<i>Wartungsintervalle</i>	<i>nicht geplant</i>

<i>Übersichtsgrafik</i>	
<i>Dateiname</i>	<i>http://nokis.baw.de/fileadmin/nokis/BAW_Daten/ Elbe_Messprogramm_2002/ Dokumentation/ADCP_Profile/QP11.gif</i>
<i>Dateibeschreibung</i>	

<i>Ausdehnung Räumliche Ausdehnung Bounding Box</i>	<i>Χωρική Διάσταση (Περιβάλλον Παραλληλόγραμμα)</i>
<i>West</i>	<i>9.565414</i>

<i>Ost</i>	9.579337
<i>Süd</i>	53.601707
<i>Nord</i>	53.611153

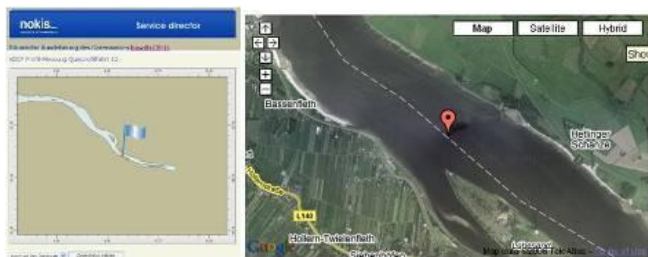
<i>Bounding Box (anderes Koordinatensystem)</i>	
<i>West</i>	3537493.0
<i>Ost</i>	3538423.0
<i>Süd</i>	5941302.0
<i>Nord</i>	5942346.0
<i>Koordinatensystem</i>	31467

<i>Zeitliche Ausdehnung tmPrimitive Zeitraum Zeitpunkt</i>	<i>Χρονική Διάσταση</i>
<i>Zeitpunkt</i>	2002-05-27 (JJJJ-MM-TT) 07:07:00 (hh:mm:ss)

<i>Zeitpunkt</i>	
<i>Zeitpunkt</i>	2002-05-27 (JJJJ-MM-TT) 20:14:00 (hh:mm:ss)

<i>Räumliche Darstellung Dateninhalt Informationen zum Datenvertrieb Format</i>	<i>Μορφή Δεδομένων</i>
<i>Formatname</i>	GIF
<i>Spezifikation</i>	animiertes GIF

<i>Online-Ressource</i>	
<i>Hyperlink (URL)</i>	http://nokis.baw.de/fileadmin/nokis/BAW_Daten/Elbe_Messprogramm_2002/Dokumentation/ADCP_Profile/QP12.gif
<i>Beschreibung</i>	Animiertes GIF zur vereinfachten Darstellung des Strömungsverlaufs im Querschnitt
<i>Online-Funktion</i>	Information



Βιβλιογραφία

ArcCatalog: <http://www.esri.com/software/arcgis/about/desktop.html>

ArcView® Metadata Collector: <http://www.csc.noaa.gov/metadata/download.html>

CSDMG: Content Standard for Digital Geospatial Metadata, <http://www.fgdc.gov/metadata>

FGDC: Federal Geographic Data Committee, <http://www.fgdc.gov/>

GEMET: General Multilingual Environmental Thesaurus, http://www.mu.niedersachsen.de/cds/etc-cds_neu/software.html

GeoMedia Catalog: <http://www.intergraph.com/geomediacatalog>

HellasGIS: Ελληνική Εταιρία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, <http://www.hellasgi.gr>

IGH-UNESCO: International Glossary of Hydrology της UNESCO, <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/aglo.htm>

INSPIRE: INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe, <http://www.ec-gis.org/inspire/>

ISO/TC211: Geographic Information/Geomatics, <http://www.isotc211.org/>

ISO: International Organization for Standardization, <http://www.iso.org/>

M3Cat: http://www.geoconnections.org/projects/geoin-novations/1999/Mcat3/m3cat-promo-en.html#BM1_1

Metascribe: <http://www.csc.noaa.gov/metadata/meta-scribe/>

Metavist 2005: <http://ncrs.fs.fed.us/pubs/viewpub.asp?key=2737>

NOKIS: Nord See and Baltic See Coastal Information System, <http://nokis.baw.de>

SMMS: <http://www.intergraph.com/gis/smms/>

W3C: World Wide Web Consortium, <http://www.w3.org/>

XML: eXtensible Markup Language, <http://www.w3.org/XML/>

ΕΥΓεΠ: Εθνική Υποδομή Γεωγραφικών Πληροφοριών, <http://ontogeo.ntua.gr/nagii/NAGII.htm>

ΤΕΕ: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, <http://www.tee.gr>

ΥΛΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΗΝ ΕΠΟΜΕΝΗ ΓΕΝΙΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΘΕΣΗΣ

Φρέντζος Η., Γρατσίας Κ., Θεοδωρίδης Γ.
*Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Πληροφορικής και
Ερευνητικό Ακαδημαϊκό Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών (ΕΑ ΙΤΥ)*

Περίληψη

Οι υπηρεσίες θέσης αποτελούν ένα αναδυόμενο πεδίο εφαρμογών, το οποίο βρίσκεται όλο και περισσότερες εφαρμογές σε πολλές δραστηριότητες της σύγχρονης ζωής. Παρόλο που έχουν ήδη μερικά χρόνια εμπορικής ζωής, το σύνολο των υπηρεσιών θέσης και των λύσεων που εφαρμόζονται σε αυτές μπορούν να θεωρηθούν απλοϊκές, καθώς δεν εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες ούτε του σύγχρονου λογισμικού, αλλά ούτε τα πρόσφατα ερευνητικά αποτελέσματα στο πεδίο των βάσεων χωρικών και χωροχρονικών δεδομένων. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να συμπληρώσει αυτό το κενό, παρουσιάζοντας αρχικά την επόμενη γενιά των υπηρεσιών θέσης, και στη συνέχεια, επεξηγώντας τον τρόπο υλοποίησής τους με την αξιοποίηση σύγχρονων εμπορικών λογισμικών καθώς και πρόσφατων ερευνητικών εργασιών. Οι προτεινόμενες υπηρεσίες δεν είναι προσανατολισμένες μόνο προς τη κατεύθυνση των παραδοσιακών υπηρεσιών θέσης, οι οποίες παρέχονται σε έναν κινούμενο χρήστη μέσω ασύρματων δικτύων. Στη πραγματικότητα, πολλές από αυτές μπορούν να βρουν εφαρμογή στο καθορισμό – σχεδίαση βέλτιστων διαδρομών (πριν την έναρξη της μετακίνησης), μίας εργασίας η οποία πραγματοποιείται συνήθως μέσω διαδικτυακών εφαρμογών. Επιπλέον, από τη στιγμή που η υλοποίηση των υπηρεσιών είναι βασισμένη σε πλατφόρμες λογισμικού με υψηλές δυνατότητες κλιμάκωσης, μπορούν να εξυπηρετήσουν συγχρόνως αιτήσεις από ένα πολύ μεγάλο αριθμό χρηστών. Μπορούν επομένως πολύ εύκολα να συμπεριληφθούν στο πλαίσιο μία διαδικτυακής εφαρμογής που θα παρέχει στους χρήστες της προηγμένη λειτουργικότητα σε σχέση με τη θέση τους και τις ταξιδιωτικές τους ανάγκες.

IMPLEMENTING THE NEXT GENERATION OF LOCATION BASED SERVICES

Frentzos E., Gratsias K. and Theodoridis Y.
*University of Piraeus, Department of Informatics and
Research Academic Computer Technology Institute (RA CTI)*

Abstract

Location-based services (LBS) constitute an emerging application domain rapidly introduced in modern life habits. However, given that LBS already have a few years of commercial life, the services provided are rather naïve, not exploiting the current software capabilities and the recent research advances in the fields of spatial and spatio-temporal databases. The goal of this paper therefore is to fill this gap by, presenting the next generation of location-based services and, then, demonstrating their implementation which takes advantage of both modern commercial software and recent advances in the research field of spatial and spatio-temporal databases. The solutions provided are not only focused on LBS; actually, many of them are easily applicable in the context of route planning, which is a task usually performed via web applications. Moreover, since the implementation is based on highly scalable platforms it can support requests from numerous users at the same time. Therefore, they can be easily employed in the framework of a web-based application providing users with advanced functionality regarding their location and travelling needs.

Λέξεις κλειδιά: Υπηρεσίες θέσης, Βάσεις Χωρικών και Χωροχρονικών Δεδομένων, Αλγόριθμοι.

Key words: Location-based Services, Spatial and Spatiotemporal Databases, Algorithms.

1. Introduction

The rapid growth of mobile devices, such as mobile phones and Personal Digital Assistants (PDAs) has contributed to the development of an emerging class of e-services, the so-called Location-Based Services (LBS), which provide information relevant to the spatial location of a receiver. LBS constitute an innovative technological field, rapidly introduced in modern life habits, influencing the way that people organize their activities, promising great business opportunities for telecommunications, advertising, tourism, etc. (Open Geospatial Consortium, 2007). On the other hand, although LBS already have a few years of commercial life, the services provided are rather naïve, not exploiting the current software capabilities and the recent advances in the research fields of spatial and spatio-temporal databases. The goal thus of this paper is to fill this gap by presenting the next generation of location-based services and, then, to demonstrate their implementation taking advantage of both modern commercial software and recent advances in the research field of spatial and spatio-temporal databases.

More specifically, in this paper we present a set of LBS and then sketch up the respective algorithms along with a description of their implementation. The majority of the presented services are not currently supported by commercial LBS providers. The developed software is based on the *Microsoft.NET* (Microsoft Corp., 2007a) and *SQL Server* platforms (Microsoft Corp., 2007b), while it employs two MapInfo components, the first enabling SQL Server to support spatial objects and R-tree indexing (i.e., the *MapInfo SpatialWare* (MapInfo Corp., 2007)), and the other implementing the routing algorithm between two nodes along a given road network graph (i.e., *MapInfo Routing J Server* (MapInfo Corp., 2007b)). Exploiting the functionality provided by these components, we expand it towards many directions. Among others, the developed software supports nearest neighbor queries using network (rather than Euclidean) distance, optimal route finding between a set of user-defined landmarks, and in-route nearest neighbor queries.

The solutions provided are not only focused on LBS; actually, many of them are directly applicable in the context of route planning, which is a task usually performed via web applications. Moreover, since our implementation is based on highly scalable platforms (e.g., SQL Server) it can support requests from numerous users at the same time. Therefore, they can be easily employed in the framework of a web-based application providing users with advanced functionality regarding their location and travelling needs.

Outlining the rest of the paper, Section 2 presents two sets of LBS (i.e., one with services currently supported by commercial LBS provider, and one with novel services, constituting our proposal regarding the next generation of LBS). Section 3 presents implementation issues (presenting the development platforms, and exemplifying the implemented algorithms used to support the proposed services). Finally, Section 4 closes the paper providing the conclusions and some interesting research directions. Table 1 summarizes the notation used in the rest of the paper.

Table 1. Table of notations

$V = \{V_i\},$ $i = 1..n_1$	the set of vertices corresponding to road network junctions on a road network.
$E = \{E_i\},$ $i = 1..n_2$	the set of edges connecting vertices V_i , corresponding to road segments on a road network.
$G(V, E)$	the directed graph that represents the underlying road network on which objects are moving.
$L = \{L_i\},$ $i = 1..n_3$	the set of all points of interest (POIs) or Landmarks.
$T = \{T_i\},$ $i = 1..n_4$	the set of all mobile users
$T_{i,j}$	the spatio-temporal point (i.e., time-stamped spatial point) of user T_i at timestamp t_j
$Eucl_Dist$ (P, Q)	the Euclidean distance between points P and Q
Net_Dist ($P,$ Q)	the network distance on the graph G between the points P and Q
$Buffer(X, D)$	builds a buffer of width D around a path X
$Route(P, Q)$	retrieves a set of bi-connected line segments $\{E_i\}$ of the network graph forming a single path between points P and Q : usually, the result of a routing operation

2. The Next Generation of LBS

In this section we describe a set of novel services constituting our proposal regarding the next generation of LBS: obviously, these services are not currently supported by commercial LBS providers. We also include in our discussion a set of already implemented services since: (a) they are fundamental and thus used as a basis for the (more advanced) novel LBS set, and, (b) existing solutions on these services (i.e., algorithms and implementation details) are rather naïve and based on approaches usually resulting in false results. The services were designed and developed on behalf of the Telenavis S.A. (Telenavis, 2007) in the context of the *Next Generation Location Based Services (NGLBS)* project funded by the General Secretariat of Research and Technology. Telenavis S.A. is a commercial LBS provider providing both GSM-based and web-based private and corporate solutions (see for example <http://www.navigation.gr>).

2.1. A set of LBS

The first set of LBS which is already implemented by commercial service providers contains three fundamental services, named, *What-is-around*, *Routing*, and *Find-the-Nearest*. All services (and the respective algorithms) assume the presence of graph G and/or a set of POIs L . Moreover, all services involving graph operations (e.g., routing between two points), can be evaluated with any of the two optimization criteria (length and time); in the following sections, for clarity reasons, we restrict our discussion in the distance (rather than time) optimization, while the second criterion can be easily applied, by simply involving a maximum speed which converts any time period to a maximum distance. The following paragraphs describe the functionality of each LBS:

- *What-is-around*: The simplest service is the one that retrieves and displays the location of every POI being located in a rectangular area (Q, d), where Q is the

location of the user (or simply a user-defined point) and d is a selected distance (i.e., the half-side of the query rectangle). The input of the corresponding algorithm for "what-is-around" consists of the point Q and the distance d , while it returns the set $L' \subseteq L$ containing all POIs inside the rectangular area (Q, d) .

- **Routing:** This service provides the optimal route between a departure and a destination point, P and Q , respectively.
- **Find-the-Nearest:** This service retrieves the k nearest landmarks (POIs). For example, "find the two restaurants that are closest to my current location" or "find the nearest café to the railway station". The underlying algorithm takes as input the query point Q (for example, calling user's current location), and returns the set of points $L' \subseteq L$, which are the k nearest to Q members of L .

2.2. A set of Novel LBS

The second set of LBS contains a number of advanced services which can be considered as extensions of the above three fundamental services. Among the ones that were designed and implemented during the NGLBS development, we will focus on three services, named **Guide-me (or Dynamic Routing)**, **Advanced Routing** and **In-Route-Find-the-Nearest**. The functionality of these services is described in the following paragraphs. For a more detailed description regarding all services, along with an interesting LBS taxonomy the interested reader is cited to Gratsias et al., 2005. Once again, all services (and the respective algorithms) assume the presence of graph G and/or a set of POIs L :

- **Guide-me (Dynamic Routing):** A first extension of the (static) **Routing** described above is the so-called **Guide-me** service (Fig. 1): Likewise, the system determines the best route between the calling user's current location (point P) and a destination point Q , and then it keeps track of the user's movement (by simply updating its position) towards the destination point, allowing him/her to deviate from the 'optimal' route, as long as the user's location does not fall out of a predefined safe area (buffer) built around this route. The user is notified of his/her deviation every time he/she crosses out of the buffer's border and he/she is given the option of re-routing from that current location (point R). The input of **Guide-me** algorithm is the *id* of the calling user, the destination point Q , and the distance D , which defines the buffer width.
- **Advanced Routing:** The **Routing** service provided above can also be extended towards its "advanced" version, by requesting from the system to retrieve the best route between a departure and a destination point, P and Q respectively, requesting also to travel through a set of intermediate points $C = \{C_i\}$. The input of the respective algorithm is the departure and destination points, P and Q respectively and the set of intermediate points C .
- **In-Route-Find-the-Nearest:** It is a combination of the **Routing** and **Find-the-Nearest** services which given a departure and a destination point P and Q respectively, finds the best route between them, constrained also to pass through one among the specified set of candidate points (e.g. one of the points contained in Landmarks). For example, a request for this service is, "provide me the best route from my current location to the city A constrained to pass from a gas station". Once again, the input of the respective algorithm is the departure and destination points, P and

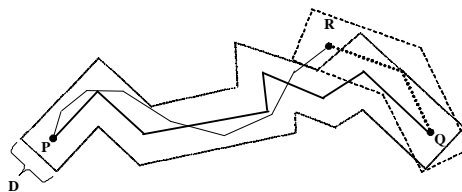


Figure 1. Guide-me example

Q respectively. This problem can also be seen as a special case of the so-called *Trip Planning Query (TPQ)* (Li *et al.*, 2005), with the number of different classes requested set to one.

3. Implementing the Services

In this section we describe the implementation of the proposed LBS suite. We will firstly introduce the development platforms, while we will subsequently illustrate the respective algorithms along with some interesting details on each service's implementation.

3.1 Development Platforms

All the services are implemented on top of three basic components. The first one is the *Microsoft SQL Server 2000* (Microsoft Corp., 2007b), which is a relational database management system (RDBMS) produced by Microsoft including standard RDBMS functionality (i.e., stored procedures, triggers etc.). SQL Server is commonly used in small to large enterprise databases. Here, we have to point out that Microsoft SQL Server does not natively support spatial objects such as points, lines etc.; consequently, the employment of a middle-ware component which enables SQL Server to support spatial data is an obligatory action, in order for the LBS suite to be properly developed.

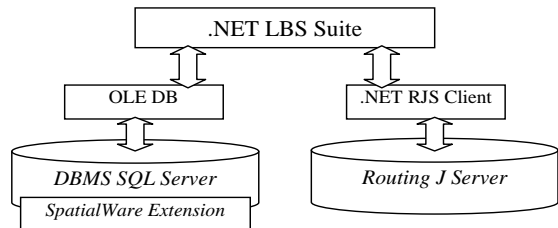


Figure 2. System Architecture

This middle-ware component is the *MapInfo SpatialWare* (MapInfo Corp., 2007a), which enables the RDBMS (in our case, SQL Server) to store, manage, and manipulate location-based data. It allows therefore spatial data to be stored in the same place as traditional data, ensuring data accessibility, integrity, reliability and security through the mechanisms of the SQL Server. SpatialWare includes a variety of non-traditional data types, such as points, lines, polyline, regions (polygons), supports numerous spatial functions (such as ST_Buffer generating buffers around spatial objects within a given tolerance etc.), and it is compliant with the *Open Geospatial Consortium (OGC)*, 2007. However, the most important SpatialWare feature is its support for R-tree indexing (Guttman, 1984), making it able to support substantial quantities of spatial data; R-tree indexing allows pruning the search space when a spatial query is executed. Otherwise (i.e., in the case where no spatial index is present), the execution of each spatial query would lead to linear scans over the entire dataset, which is a very expensive operation.

The third component used in the implementation of the LBS suite is the *MapInfo Routing J Server (RJS)* (MapInfo Corp., 2007b) which is a street network analysis tool for finding a route between two points, the optimal or ordered path between many points, the creation of drive time matrices, and the creation of drive time polygons. RJS calculates either the shortest distance or quickest timed route between any two points, returning text-based driving directions and spatial points to the parent application. This functionality is achieved by *xml requests* over a continuously running server: the client (i.e., the LBS suite) queries the RJS with an xml file containing information such as, the departure and the destination point, and after processing the request, RJS returns another xml file containing the optimal route in terms of its lines segments (i.e., edges of the respective directed graph). In our implementation we used the *RJS .NET client* middleware, developed by Telenavis S.A. (Telenavis, 2007), which undertakes the tasks of composing the xml file used for making the request, and subsequently, interpreting the server's answer to a set of comprehensive objects implemented in the form of .NET objects. However, this comes for a cost, since this

client only supports the simple operation of finding a route between two points, and not the more sophisticated ones that native RJS does (i.e., finding optimal or ordered path between many points).

In top of all the above components, the LBS suite, is implemented using Microsoft Visual Studio .NET 2003 (Microsoft Corp., 2007a), while the connection to the DBMS is realized by an *OLE DB connection* (Microsoft Corp., 2007a) to the SQL Server. Figure 2 summarizes the system architecture used for the developed LBS suite.

3.2 Implementation Details

In this section we will examine the implementation details of the above services. As previously discussed, since the first three services (i.e., What-is-around, Routing and Find-the-Nearest) are already included in the commercial – publicly available – Telenavis LBS suite, we will briefly describe both the existing solution along with our (more sophisticated) implementation. Then, we will proceed with the novel services, describing the algorithms and providing details about their implementation. In the rest of the paper we will refer to the existing LBS implementation as *TNLBS*, while ours will be called as *NGLBS*. Here, we have to point out that one of the core differences between TNLBS and NGLBS is that the former relies only on the SQL Server, without employing the SpatialWare component.

What-is-around

The first service on the TNLBS basically relies on the SQL Server DBMS, which contains, among others, a table of Landmarks (e.g., gas stations) in the form of [*object_id*, *object_name*, *x*, *y*]. Obviously, the spatial components of the landmark objects are represented in terms of their Cartesian coordinates in different table fields, resulting in a non-efficient scheme. We have to point out again however, that since the SQL Server does not natively support spatial objects, the above scheme is the only one suitable. The core of the service implementation is the following query (providing that the query point Q is given in terms of its coordinates Qx and Qy and d is a selected distance, that is, the half-side of the query rectangle):

```
SELECT * FROM Landmarks WHERE x>=Qx-d AND x<=Qx+d AND y>=Qy-d AND y<=Qy+d
```

On the other hand, exploiting the fact that NGLBS is based on a scheme which includes the SpatialWare component, the x and y fields can be substituted by a single Geometry field; as a result, the Landmarks table is reformulated in the structure [*object_id*, *object_name*, *object_geometry*], while the above query can be rewritten in terms of spatial database operations, employing the HG_Box function which returns a rectangle with the given coordinates:

```
SELECT * FROM Landmarks WHERE
ST_Overlaps(object_geometry,HG_Box(Qx-d,Qy-d,Qx+d,Qy+d))
```

Routing

The second service also included in the TNLBS, requires only querying the .NET RJS client with the appropriate inputs, i.e., the departure and destination points P and Q; the network graph G(V, E) is already contained inside RJS. The results are provided in terms of text-based driving directions and spatial objects following the application model (i.e., points, lines, poly-lines). Regarding the algorithm used inside RJS in order to calculate the shortest path between the two points, RJS documentation does not provide any information about it. However, the problem of calculating shortest paths in graphs is well-known; therefore it can be solved by employing a variety of algorithms (see for example the Dijkstra (Dijkstra,

1959) algorithm). There is strong evidence however that the implementation of RJS is based on a variation of the A* algorithm (Hart et al, 1968) which is the one that is usually employed in real-world applications involving network graphs due to its computational optimality and straightforward implementation. This service is the only one that is implemented following exactly the same manner in both TNLBS and NGLBS implementations.

Find-the-Nearest

The third service, which retrieves the k nearest landmarks to the caller's location, is currently implemented in TNLBS based on the Landmarks stored in the SQL Server DBMS (using the (x, y) representation), and the RJS. The respective algorithm initially retrieves the $3 \cdot k$ nearest landmarks to the query location, which are subsequently treated as candidate nearest points. The task of retrieving the $3 \cdot k$ nearest landmarks is achieved by performing a SQL query calculating the Euclidean distance between the query point Q and all points contained inside the Landmarks table, and then, sorting the results according to the calculated distance:

```
SELECT TOP 3*k object_id,((Ox-x)^2+(Oy-y)^2) AS Dist FROM Landmarks
ORDER BY Dist DESC
```

The algorithm subsequently performs routing operations (using the .NET RJS client) to all candidate object retrieved by the previous query, sorts them according to the resulted *network* distance from the query point and finally reports the first $3 \cdot k$ objects.

However, there is strong controversy regarding this algorithm's performance and quality of output. For example, there is no concrete background behind the choice of retrieving the $3 \cdot k$ nearest points in order to treat them as candidates. As such, the approach of multiplying the number of k requested by 3 (or any other arbitrarily selected coefficient) may lead to false outputs; a case which is clearly illustrated in Fig.3(a), where the three nearest objects according to their Euclidean distance from the query point Q are points P_1 , P_2 and P_3 , while point P_4 is the actual nearest neighbor.

Moreover, the performance of this algorithm is far from being optimal, since it requires calculating the distance between the query and *all* POIs in the database during the execution of the above SQL statement. This happens due to the fact that there is no spatial index present, leading the database to perform a linear scan over Landmarks (calculating at the same time the requested distance expression); then the database performance deteriorates when the number of POIs exceeds a few hundreds of thousands.

On the other hand, in our implementation, we employed recent technological advances in the field of Spatial Network Databases (*SNDB*), and implemented the "*Euclidean Restriction*" algorithm described in (Papadias et al., 2003) in order to retrieve the nearest to a query point. This algorithm is illustrated in the following pseudo-code:

Algorithm Find_the_Net_Nearest(point Q)

- 1 Find the Euclidean nearest object P to the query object Q
 - 2 Calculate $Net_Dist(Q,P)$
 - 3 Retrieve all POIs P_i with $Eucl_Dist(Q,P_i) < Net_Dist(Q,P)$
 - 4 For each P_i calculate $Net_Dist(Q,P_i)$
 - 5 Return as nearest neighbor the object with the smaller $Net_Dist(Q,P_i)$
-

The algorithm is further exemplified in Fig.3(b) to Fig.3(d). Specifically, Fig.3(b) illustrates the first step (i.e., the algorithm retrieves object P_1 which is the nearest object to

Q according to the Euclidean distance), then, its network distance D_1 is calculated (i.e., step 2), and finally object P_2 is retrieved since its Euclidean distance from Q is smaller than D_1 (i.e., step 3), and further examined as possible nearest neighbour in steps 4-5. This algorithm is based on the fact that $\text{Eucl_Dist}(Q,P) \leq \text{Net_Dist}(Q,P), \forall Q,P$; as such, every object P with Euclidean distance from Q greater than the respective network distance of another object P can be safely rejected (pruned) without further considering its network distance; formally, given that $\text{Eucl_Dist}(Q,P) \geq \text{Net_Dist}(Q,P)$, then also $\text{Net_Dist}(Q,P) \geq \text{Net_Dist}(Q,P)$ stands. It is proved therefore that the nearest neighbor **must** be found among the objects retrieved in the third step. For each network distance calculation requested, a routing operation is performed via the .NET RJS client, and the respective distance is calculated accordingly. Regarding the first algorithm's step which retrieves the Euclidean nearest object P to the query object Q , rather than using an approach similar to the one of TNLBS, we exploit the R-tree-based nearest neighbor operator provided from the SpatialWare, which improves the algorithm's performance:

SP_Nearest Landmarks, object_geometry, object_id, ST_Point(Qx,Qy),k

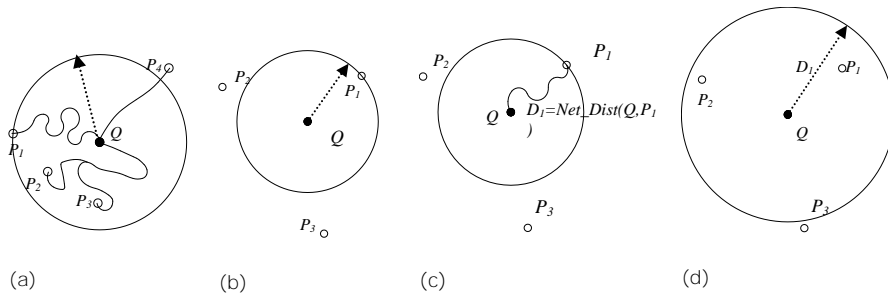


Figure 3. The Find-the-net-nearest service

The SP_Nearest operator retrieves the nearest to the point $\text{ST_Point}(Q_x, Q_y)$ among those that are contained inside the Landmarks table. Concluding, by employing the previously presented approach (followed in the NGLBS implementation), the Find-The-Nearest service, not only retrieves exact solutions, but since it employs spatial indexes, is much more efficient than TNLBS.

Guide-me (Dynamic Routing)

This service requires the DBMS to keep track of the user's current position. As such, the SQL Server contains, among others, a relational table with each user's T_i current positions, which are updated from outside the developed suite. This table is named *Current_Positions* and has the form of $[\text{User_id}, \text{last_position_geometry}]$. The algorithm developed to support the *Dynamic Routing* service is illustrated in the following pseudo-code:

Algorithm Dynamic_Routing(User Id T , destination point Q , distance D , time period Δt)

-
- 1 Retrieve current position $T_{i,j}$ of T_i
 - 2 Retrieve route $R = \text{Route}(T_{i,j}, Q)$
 - 3 DO until $T_{i,j}$ reaches Q
 - 4 Wait Δt : $j = j + \Delta t$: Update $T_{i,j}$
 - 5 IF NOT $T_{i,j}$ lies on the buffer $\text{Buffer}(R, D)$ go to Step 1
 - 6 LOOP
-

Regarding the first step, it is performed by a simple request to the .NET RJS client. Probably, the most interesting operation of the algorithm is revealed in step 5, where it is **requested to check whether the object's current location T_{ij} lies on a buffer of the route R with distance D** ; this operation is performed via the Spatialware by checking whether the following SQL statement returns any records:

```
SELECT * FROM CurentPosition WHERE User_id=UID AND
ST_Contains(HG_Buffer(ST_Spatial(R,String),D),last_position_geometry)
```

The $ST_Contains(A,B)$ function returns true when the spatial object A contains the spatial object B , while the $HG_Buffer(A,D)$ function constructs a spatial object representing the buffer of the A with distance D . Finally, the $ST_Spatial(string)$ function converts a properly composed string (e.g., the route string) to a spatial object.

Advanced Routing

The *Advanced Routing* service, involving a departure and destination point, P and Q respectively, along with a set of predefined intermediate points P_i , can be seen as a variation of the well known *travelling salesman problem (TSP)*; however in our case there are two special requirements:

- the distance between P , Q and P_i is not Euclidean, though it satisfies the triangle inequality, and
- the distances between points P_i (i.e., $Net_Distance(P_i, P_j)$) are not known in advance, rather than they are calculated during the algorithm's execution.

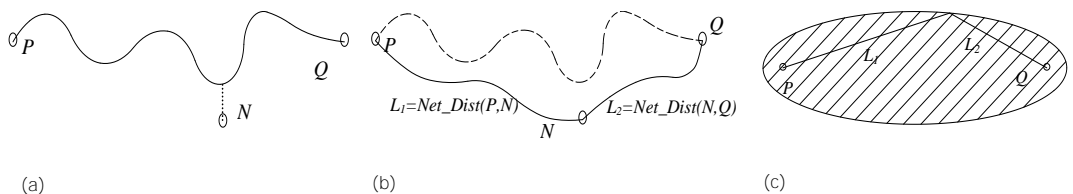


Figure 4. The In-route-find-the-net-nearest service

As such, the algorithm recursively examines alternative solutions, until all possible routes have been checked. The algorithm prunes candidate routes by using the minimum network distance calculated so far; pruning is also performed using the Euclidean distance as a first approximation, and then, if the solution is not pruned by its Euclidean Distance, the network distance is calculated and the algorithm recursively proceeds with the remained objects until all alternative solution have been examined or pruned. The details of this algorithm are beyond the scope and this paper, and for this reason are omitted. It is however important to note that this algorithm utilizes only the .NET RJS client, without querying at all the DBMS.

In-Route-Find-the-Nearest

This service retrieves the best route one has to follow in order to travel from a departure to a destination point P and Q respectively, constrained also to pass through a POI among the ones contained in the Landmarks table. The developed algorithm is illustrated in the following pseudo-code:

Algorithm *In_Route_Find_the_Nearest*(departure point P , destination point Q)

-
- 1 Retrieve route $R = \text{Route}(P, Q)$
 - 2 Find the Euclidean nearest object N to the route object R
 - 3 Calculate $\text{Net_Dist}(P, N)$ and $\text{Net_Dist}(N, Q)$
 - 4 Retrieve all POIs N_i with $\text{Eucl_Dist}(P, N_i) + \text{Eucl_Dist}(N_i, Q) < \text{Net_Dist}(P, N) + \text{Net_Dist}(N, Q)$
 - 5 For each N_i calculate $\text{Net_Dist}(P, N_i)$ and $\text{Net_Dist}(N_i, Q)$
 - 6 Return as nearest neighbor the object N_i with the smallest $\text{Net_Dist}(P, N_i) + \text{Net_Dist}(N_i, Q)$
-

This algorithm is based on the same principle with the *Find_the_Net_Nearest* algorithm, that is, the network distance between two points is greater or equal to their Euclidean distance. As such, the algorithm initially produces the optimal route R between P and Q by performing request to the .NET RJS client, while subsequently, uses R as a query object on the *SP_Nearest* operator in order to retrieve the Euclidean nearest neighbor N among the records contained in the Landmarks table (Lines 1-2 in pseudo-code and Fig.4(a)). Then it also performs requests to the .NET RJS client on order to calculate the network distance between P , N and Q (Line 3 in pseudo-code and Fig.4(b)), while afterwards uses their sum in order to retrieve candidate objects with total distance from both P and Q less than it (Line 4 in pseudo-code and Fig.4(c)). It is also important to note that these objects are contained inside an elliptical region with P and Q as foci. In its last step, the algorithm calculates the network distances between P , Q and all candidate points N_i , finally, reporting as answer the one that has the smallest sum of network distances.

4. Conclusions

In this paper we present the next generation of location based services, sketch up the respective algorithms and provide some interesting details on their implementation. The majority of the presented services are not currently supported by commercial LBS providers, or are available in an inefficient and inaccurate manner. Our implementation is based on the Microsoft.NET and Microsoft SQL Server platforms, employing two additional components, namely, the MapInfo SpatialWare and MapInfo Routing J Server in order to efficiently support spatial and graph-based operations. Among others, the software developed for the Next Generation Location Based Services, includes nearest neighbor queries using network (rather than Euclidean) distance, optimal route finding between a set of user-defined landmarks, and in-route nearest neighbor queries. The developed services are supported by recent advances in the field of SNDB (Papadias *et al.*, 2003, Li *et al.*, 2005, Kolahdouzan and Shahabi, 2004, Sankaranarayanan *et al.*, 2005).

The solutions provided are not only focused on LBS; actually, many of them are directly applicable in the context of route planning, which is a task usually performed via web applications (while the *Advanced Routing* and *In-route-find-the-nearest* are much more meaningful in the framework of route planning, rather than the GSM-based LBS). Moreover, since our implementation is based on highly scalable platforms (SQL Server along with the SpatialWare and RJS) it can support numerous concurrent requests. Therefore, our plan is to employ it in the framework of a web-based application providing users with advanced functionality regarding their travelling needs.

References

- Dijkstra, E. W., 1959: A note on two problems in connexion with graphs, *Numerische Mathematik*, vol 1, pp. 269-271, 1959.
- Gratsias, K., Frentzos, E., Delis, V. and Theodoridis, Y., 2005: *Towards a Taxonomy of Location-Based Services*. Proceedings of Web and Wireless GIS (W2GIS), 2005

Guttman, A., 1984: *R-Trees: a dynamic index structure for spatial searching*. Proceedings of ACM SIGMOD Conference, 1984.

Kolahdouzan, M., Shahabi, C.: *Voronoi-Based K Nearest Neighbor Search for Spatial Network Databases*. Proceedings of VLDB Conference, 2004

Hart, P. E., Nilsson, N. J., Raphael, B., 1968: A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC4* (2): pp. 100-107.

Li, F., Cheng, D., Hadjieleftheriou, M., Kollios, G. and Teng, S.-H., 2005: *On Trip Planning Queries in Spatial Databases*. Proceedings of SSTD, 2005

MapInfo Corporation, 2007a: *MapInfo SpatialWare*, Available at <http://extranet.mapinfo.com/products/Overview.cfm?productid=1141>, (accessed 18 May 2007)

MapInfo Corporation, 2007b: *MapInfo Routing J Server*, Available at <http://extranet.mapinfo.com/products/Overview.cfm?productid=1144>, (accessed 18 May 2007)

Microsoft Corporation, 2007a: *Microsoft Visual Studio .NET*, Available at <http://msdn.microsoft.com/vstudio/>, accessed 18 May 2007.

Microsoft Corporation, 2007b: *Microsoft SQL Server*, Available at <http://www.microsoft.com/sql/>, accessed 18 May 2007.

Open Geospatial Consortium, 2007: *OpenGIS® Location Services (OpenLS): Core Services*. Available at <http://www.opengis.org>, accessed 18 May 2007

Papadias, D., Zhang, J., Mamoulis, N., and Tao, Y., 2003: *Query Processing in Spatial Network Databases*. Proceedings of VLDB Conference, 2003.

Sankaranarayanan, J., Alborzi, H., and Samet, H., 2005, *Efficient Query Processing on Spatial Networks*. Proceedings of ACM-GIS Workshop, 2005.

Telenavis S.A., 2007: <http://www.telenavis.gr/>, accessed 18 May 2007.

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΣΤΟΝ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟ ΚΟΛΠΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΚΕΔΑΣΤΩΝ

Ηλίας Π.¹, Κοντοές Χ.¹, Παπουτσή Ι.², Κώτσης Ι.²

¹ Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης

² Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών

Περίληψη

Η τεχνική των Σταθερών Σκεδαστών (ΣΣ - Permanent Scatterers - PS), που αναπτύχθηκε από την ερευνητική ομάδα του Πολυτεχνείου του Μιλάνου, είναι μία προσέγγιση, η οποία ελαχιστοποιεί τα ανεπιθύμητα στοιχεία θορύβου που παρουσιάζει η κλασσική διαφορική συμβολομετρία με ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (DInSAR). Τέτοια στοιχεία οφείλονται κυρίως στη χωρική και χρονική αποσυσχέτιση, στην καθυστέρηση του σήματος λόγω των ατμοσφαιρικών και των τροποσφαιρικών μεταβολών, στα σφάλματα τροχιών καθώς και στα τοπογραφικά σφάλματα (σχετιζόμενα με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους). Η προσέγγιση της τεχνικής των ΣΣ είναι κατάλληλη για τη μέτρηση των σχεδόν κατακόρυφων παραμορφώσεων της τάξης του ενός χιλιοστού το χρόνο και αξιοποιεί μεγάλο όγκο δεδομένων SAR με την απαίτηση για διαθεσιμότητα φυσικών και/ή τεχνητών Σταθερών Σκεδαστών. Σε αυτή τη μελέτη, περιγράφεται η εφαρμογή της τεχνικής των ΣΣ, ονομαζόμενη PerSePHONE (Permanent Scatterers Project Held by the Observatory, National, of Hellas). Η ανάπτυξη της στηρίχθηκε σε μια σειρά από αλγοριθμικές τροποποιήσεις καθώς και σε νέες μεθόδους για την επιλογή των Υποψήφιων Σταθερών Σκεδαστών. Η εν λόγω τεχνική εφαρμόζεται στην βόρεια περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου.

SMALL SCALE SURFACE DEFORMATION DETECTION OF THE GULF OF CORINTH (HELLAS) USING PERMANENT SCATTERERS TECHNIQUE

Elias P.¹, Kontoes C.¹, Papoutsis I.², Kotsis I.²

¹ National Observatory of Athens, Institute for Space Applications and Remote Sensing

² National Technical University of Athens, Department of Rural and Surveying Engineering

Abstract

The Permanent Scatterers (PS) technique, invented by the Politecnico di Milano research team, is an approach that minimises the undesirable noise components in the classic InSAR technique, such as spatial and temporal decorrelations, signal delay due to tropospheric and ionospheric disturbances, orbital errors as well as topographical errors. This approach is suitable for the measurement of near vertical displacements of the order of ~1 mm per year. It exploits almost all of the available SAR interferometric data over an area and requires availability of natural and/or artificial permanent scatterers. In this study we describe the implementation of the PS technique, called PerSePHONE (Permanent Scatterers Project Held by the Observatory, National, of Hellas). Its development has been based on a number of algorithmic adaptations, as well as new approaches in PS candidate selection. An example of this implementation is shown for the case of the Corinth Rift area (Hellas).

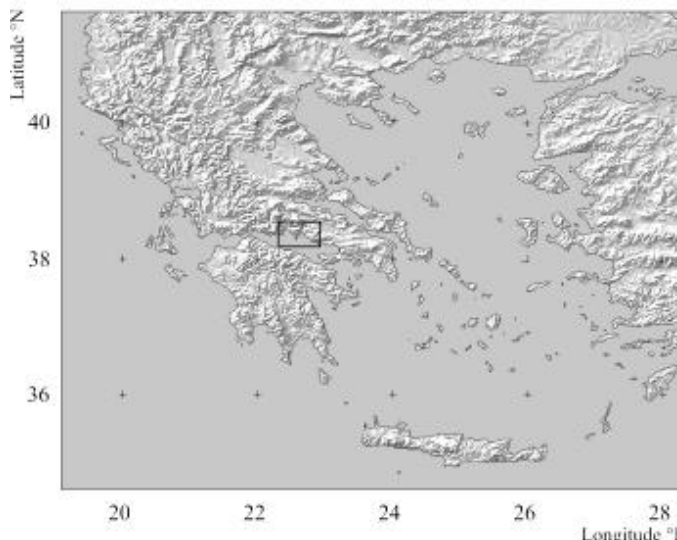
Λέξεις κλειδιά: γραμμική παραμόρφωση, διαφορική συμβολομετρία με ραντάρ συνθετικού ανοίγματος, σταθεροί σκεδαστές.

Key words: linear deformation, SAR interferometry, permanent scatterers.

1. Εισαγωγή

Η διαδεδομένη τεχνική της διαφορικής συμβολομετρίας με ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar - DInSAR) έχει προσφέρει σημαντικό όγκο αξιόπιστων μετρήσεων της παραμόρφωσης του εδάφους. Αυτές οι μετρήσεις πάσχουν από ανεπιθύμητες συνιστώσες λόγω της χωρικής και χρονικής αποσυσχέτισης, της καθυστέρησης του σήματος λόγω των τροποσφαιρικών και ιονοσφαιρικών επιδράσεων, των σφαλμάτων τροχιών καθώς και των τοπογραφικών σφαλμάτων (σχετιζόμενα με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους). Η πιο ελπιδοφόρα προσέγγιση για τον περιορισμό αυτών των προβλημάτων είναι η επονομαζόμενη τεχνική των Σταθερών Σκεδαστών (ΣΣ - Permanent Scatterers - PS), από την ομάδα POLIMI (Ferretti et al., 2001). Αυτή η τεχνική αξιοποιεί μεγάλο όγκο δεδομένων SAR, σχηματίζοντας μια σειρά από συμβολομετρικά ζευγάρια με μία επιλεγμένη κύρια (master) εικόνα, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων με μεγάλη χρονική και γεωμετρική γραμμή βάσης. Επιπλέον, η τεχνική απαιτεί τη διαθεσιμότητα φυσικών και/ή σταθερών σκεδαστών. Η μέθοδος των ΣΣ είναι ιδανική για τη μέτρηση των παραμορφώσεων μικρής κλίμακας στο έδαφος, που οφείλονται σε προσεισμική δραστηριότητα, καθιζήσεις σε αστικές περιοχές, βαθμιαία κατολίθωση κοντά σε ρήγματα καθώς και σε μετατοπίσεις από ενεργά ρήγματα και ηφαιστεια. Το βασικό κίνητρο για την εφαρμογή της τεχνικής των ΣΣ αποτέλεσε η μελέτη μιας γεωφυσικά ενεργής περιοχής, όπως είναι ο Κορινθιακός Κόλπος.

Η περιοχή μελέτης του Κορινθιακού Κόλπου (καλύπτει ~3350 km² και εκτείνεται βορειοδυτικά από 22°04'E, 38°38'N μέχρι νοτιοανατολικά 22°57'E, 38°14'N), η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 1, έχει αναγνωριστεί σαν περιοχή μείζονος σημασίας εξαιτίας της έντονης γεωφυσικής δραστηριότητας που παρουσιάζει. Είναι μια από τις ηπειρωτικές περιοχές με τον υψηλότερο ρυθμό μετακίνησης σε παγκόσμιο επίπεδο και έχει παράγει μια σειρά από σεισμούς με μέγεθος μεγαλύτερο από 5.8: στις Αλκυονίδες (Φεβρουάριος 1981, M=6.7), στο Αίγιο (Ιούνιος 1995, Mw=6.1) και στο Γαλαξίδι (Νοέμβριος 1992, Mw=5.8). Επιπλέον, μετρήσεις από προγράμματα και μόνιμους δέκτες GPS έχουν αναδείξει την ύπαρξη οριζόντιας μετακίνησης από βορρά προς νότο της τάξης του 1.5 εκατοστού το χρόνο (Briole et al., 2000). Αυτός ο μηχανισμός διάσπασης συχνά οδηγεί σε υποθαλάσσιες κατακρημνίσεις και σε καταστροφικά τσουνάμι. Στη στεριά το ίδιο σύστημα προκαλεί κατολισθήσεις.



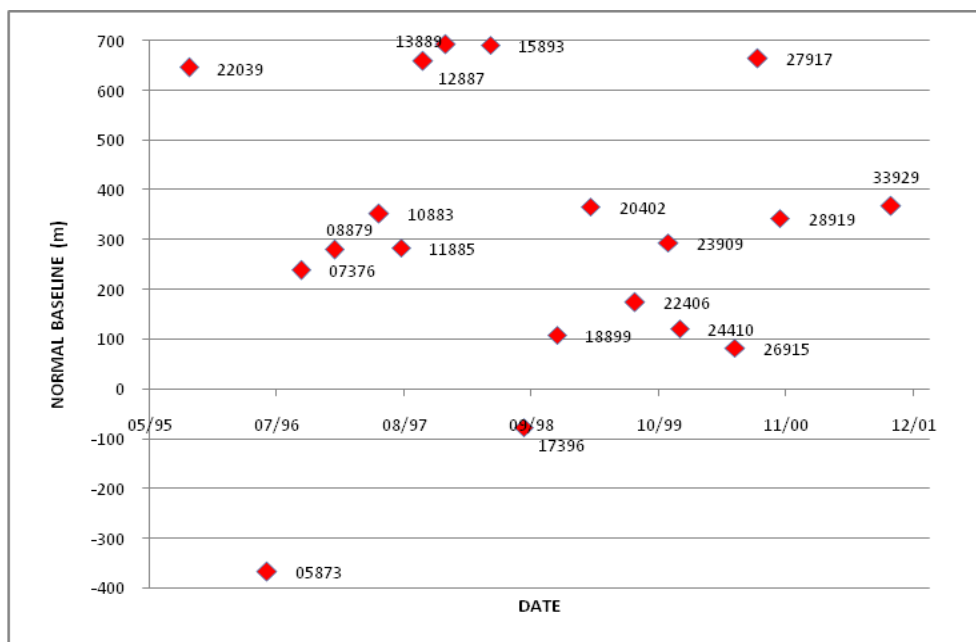
Σχήμα 1. Τοποθεσία της υπό μελέτης περιοχής στην Ελλάδα. Εστιάζεται στο βορειοανατολικό μέρος του Κορινθιακού Κόλπου

Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, ότι τα περισσότερα από τα παραπάνω φαινόμενα στην υπό μελέτη περιοχή παρακολουθούνται εδώ και μία δεκαετία στο πλαίσιο αρκετών εθνικών και ευρωπαϊκών προγραμμάτων με χρήση μόνιμων δεκτών GPS, επιτόπιων παρατηρήσεων καθώς και με χρήση κλασσικής διαφορικής συμβολομετρίας (Avallone, 2003; Briole et al., 2000). Αυτές οι τεχνικές παρουσιάζουν περιορισμούς στην εκτίμηση των κατακόρυφων ρυθμών μετακίνησης (~23° από το ζενίθ) με ικανοποιητική ακρίβεια. Οι περιορισμοί αυτοί αντιπετωπίζονται μέσω της τεχνικής των ΣΣ.

Σε αυτή τη μελέτη περιγράφεται η εφαρμογή της τεχνικής των ΣΣ, ονομαζόμενη PerSePHONE (Permanent Scatterers Project Held by the Observatory, National, of Hellas), η οποία αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

2. Προεπεξεργασία δεδομένων

Κατά τη επιλογή του χρονικού διαστήματος κάλυψης των υπό επεξεργασία δεδομένων αποφεύχθηκε η παρουσία ισχυρών μη γραμμικών φαινομένων, όπως είναι ο σεισμός του Αιγίου τον Ιούνιο του 1995. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη την απαίτηση της τεχνικής των ΣΣ για ομοιόμορφη κατανομή των ημερομηνιών λήψης των εικόνων και των κάθετων γραμμών βάσης στα συμβολομετρικά ζευγάρια, η σκηνή ERS-1 που ελήφθη στις 19 Ιουνίου το 1995 (τροχιά 20536, track 007 και frame 283), επιλέχθηκε να είναι η κοινή master σκηνή για τη δημιουργία συμβολογραφημάτων. Συνεπώς, το σετ δεδομένων αποτελείται από 2 ERS-1 (20536 και 22039) και 18 σκηνές ERS-2, οι οποίες εκτείνονται χρονικά σε διάστημα 6½ ετών, από 19 Ιουνίου 1995 μέχρι 16 Οκτωβρίου 2001 (σχήμα 2).



Σχήμα 2. Κάθετες γραμμές βάσης συναρτήσει των ημερομηνιών λήψης των σκηνών. Οι ετικέτες στα σημεία δείχνουν τον αριθμό τροχιάς κάθε σκηνής.

Προτού προχωρήσουμε στην ανάλυση των ΣΣ, ορισμένα απαραίτητα στάδια προεπεξεργασίας των δεδομένων έπρεπε να λάβουν χώρα. Αυτά σχετίζονται με την εστίαση της

εικόνας, 'κόψιμο' της στην περιοχή ενδιαφέροντος και αναπλήρωση για τη μηδενική απόκλιση Doppler. Επιπρόσθετα, ένα σημαντικό βήμα αποτελεί η ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων πλάτους, με στόχο τη βελτιστοποίηση της ετεροσυσχέτισης για την κοινή εγγραφή των εικόνων. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω της εξομοίωσης των ιστογραμμάτων των εικόνων πλάτους.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε μια τροποποιημένη έκδοση του λογισμικού CNES DIAPASON (CNES, 1996) για την παραγωγή των συμβολομετρικών φάσεων και άλλων απαραίτητων υποπροϊόντων για την επεξεργασία των ΣΣ. Τα 19 συμβολογραφήματα είχαν μέγεθος κελιού της τάξης των 4m στο αζιμούθιο και 20m στην κατεύθυνση δορυφόρου - σκηνής (range) και δημιουργήθηκαν από σκηνές single look χωρίς να εφαρμοστούν τεχνικές εξομάλυνσης των pixels. Επισημαίνεται επίσης, πως τα αρχεία με τις ακριβείς τροχιές των δορυφόρων παρήχθησαν από το Delft Institute και ότι το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ- Digital Elevation Model - DEM) δημιουργήθηκε από ψηφιοποίηση ισοϋψών των 20m από τοπογραφικούς χάρτες 1:50000, με εκτιμώμενη ακρίβεια $\pm 10m$. Τα κομμάτια του ΨΜΕ χωρίς υψομετρική πληροφορία καλύφθηκαν με επαναδειγματοληψία δεδομένων SRTM-3.

3. Μεταβολή της φάσης στην συμβολομετρία επαναλαμβανόμενου περάσματος

Κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας SAR μεταβάλλει την φάση του λόγω 1) της σχετικής θέσης δορυφόρου - σκεδαστή, 2) πιθανές χρονικές μεταβολές του στόχου και 3) ατμοσφαιρικές μεταβολές. Έχοντας $K+1$ SAR εικόνες από την ίδια περιοχή, η φάση του εικονοστοιχείου

$$x = \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix}, \text{ (όπου } \xi \text{ και } \eta \text{ το αζιμούθιο και το range στην διεύθυνση δορυφόρου-σκεδαστή)}$$

της k εστιασμένης SAR λήψης είναι το άθροισμα διαφόρων συνιστωσών:

$$\psi_k(x) = \frac{4\pi}{\lambda} r_k(x) + \sigma_k(x) + a_k(x) \quad (1)$$

όπου r είναι η απόσταση δορυφόρου-στόχου, σ είναι η φάση ανάκλασης του σκεδαστή και a είναι η συμβολή της ατμόσφαιρας στην φάση. Θεωρώντας μία από τις $K+1$ εικόνες ως την master λήψη, m . Η διαφορά φάσης κάποιας slave εικόνας k ως προς την master είναι :

$$\phi_k(x) = \psi_k(x) - \psi_m(x) = \frac{4\pi}{\lambda} [r_k(x) - r_m(x)] + [\sigma_k(x) - \sigma_m(x)] + [a_k(x) - a_m(x)] \quad (2)$$

Στην συμβολομετρία επαναλαμβανόμενου περάσματος η απόσταση r_k μπορεί να εκφραστεί ως ακολούθως :

$$r_k = r_m + \Delta r_k + \Delta \mu_k \quad (3)$$

όπου Δr_k είναι η διακύμανση της απόστασης λόγω των διαφορετικών θέσεων του δορυφόρου και $\Delta \mu_k$ είναι η πιθανή μετακίνηση του στόχου στην Διεύθυνση της γραμμής Στόχου-Δορυφόρου - ΔΣΔ (line of sight - LOS), στην χρονική απόσταση μεταξύ των δύο περασμάτων. Η τάξη μεγέθους της πρώτης συνιστώσας είναι συνήθως δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρα, ενώ η δεύτερη αντιστοιχεί σε χιλιοστομετρική παραμόρφωση του εδάφους.

Η συμβολομετρική φάση $\phi_k(x)$ είναι μια σύνθεση από αρκετές συνιστώσες οι οποίες εξαρτώνται από την γεωμετρία των λήψεων (θέσεις του δορυφόρου και τοπογραφία), μετακίνηση του εδάφους, μεταβολές στις παραμέτρους σκέδασης (λόγω των χρονικών και χωρικών μη συσχετίσεων) καθώς και τις ατμοσφαιρικές ανομοιογένειες.

$$\phi_k(\underline{x}) = \phi_{rk}(\underline{x}) + \phi_{\mu k}(\underline{x}) + \phi_{\alpha k}(\underline{x}) + \phi_{\sigma k}(\underline{x})$$

$$\text{όπου: } \phi_{rk}(\underline{x}) = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta r_k(\underline{x})$$

$$\phi_{\mu k}(\underline{x}) = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta \mu_k(\underline{x})$$

$$\phi_{\alpha k}(\underline{x}) = \frac{4\pi}{\lambda} (\alpha_k(\underline{x}) - \alpha_m(\underline{x}))$$

$$\phi_{\sigma k}(\underline{x}) = \frac{4\pi}{\lambda} (\sigma_k(\underline{x}) - \sigma_m(\underline{x}))$$

3.1 Προσδιορισμός του προβλήματος

Έστω $\frac{\Delta\phi}{\lambda}$ η $[K \times H]$ μήτρα των συμβολομετρικών φάσεων $\phi_k(\underline{x})$ των H το πλήθος θεωρούμενων Υποψήφιων ΣΣ (ΥΣΣ). Έχουμε :

$$\underline{\Delta\phi} = \underline{\alpha} \mathbf{1}^T + p_\xi \underline{\xi}^T + p_\eta \underline{\eta}^T + \underline{B} \underline{\Delta q}^T + \underline{T} \underline{v}^T + E \quad (5)$$

όπου:

- $\underline{a}[K \times 1]$ οι σταθεροί όροι των τιμών φάσης.
- $\underline{p}_\xi[K \times 1]$ και $\underline{p}_\eta[K \times 1]$ οι τιμές κλίσης των γραμμικών συνιστωσών, κατά μήκος τουαζιμουθίου $\underline{\xi}[K \times 1]$ και του slant range $\underline{\eta}[K \times 1]$ λόγω ατμοσφαιρικών και τροχιακών επιδράσεων.
- $\underline{B}[K \times 1]$ η κανονική γραμμή βάσης ως προς την master. Για μεγάλες περιοχές ο \underline{B} δεν μπορεί να θεωρηθεί σταθερός και η μήτρα $\underline{B}[K \times 1]$ πρέπει να γίνει μήτρα $\underline{B}[K \times H]$. Εν τούτοις για λόγους απλότητας χρησιμοποιείται η απλή έκφραση.
- $\underline{\Delta q}[H \times 1]$ το σφάλμα του ΨΜΕ.
- $\underline{T}[K \times 1]$ το χρονικό διάστημα μεταξύ της κάθε slave και της master.
- $\underline{v}[H \times 1]$ την ταχύτητα στην slant range διάσταση.

- $E[K \times 1]$ οι υπόλοιπες συνιστώσες οι οποίες περιλαμβάνουν ατμοσφαιρικές επιδράσεις (εκτός από σταθερές και γραμμικές συνιστώσες), θόρυβο στην φάση λόγω χρονικών και χωρικών μη συσχέτιστων καθώς και επιδράσεις πιθανής μη γραμμικής μετακίνησης του στόχου.

Η επίλυση του προβλήματος θα ήταν γραμμική αν οι ξεδιπλωμένες (μετά από επίλυση των ακέραιων ασαφειών) τιμές της μήτρας φάσης Φ ήταν διαθέσιμες. Έχουμε $H \cdot K$ εξισώσεις και $3K + 2$ αγνώστους : $\underline{a}, \underline{p}_\xi, \underline{p}_\eta, \underline{\Delta q}, \underline{v}$. Δεδομένα είναι τα : $\underline{\Delta\Phi}, \underline{\xi}, \underline{\eta}, \underline{B}, \underline{T}$.

Επιλύοντας την εξίσωση 5 μπορούμε να πάρουμε την τοπική τοπογραφία, το πεδίο ταχύτητας καθώς και την συμβολή των σταθερών και γραμμικών όρων. Πρακτικά έχουμε ένα κάνουμε με ένα μη γραμμικό σύστημα (οι τιμές φάσης είναι modulo 2π), το οποίο επιλύεται μέσω διαδοχικών προσεγγίσεων. Για την αφετηρία των επαναλήψεων θα χρησιμοποιηθούν οι αρχικοί ΥΣΣ. Συνθήκες για την επίλυση της εξίσωσης 5 είναι:

1. Ο SNR είναι υψηλός (οι ΥΣΣ δεν επηρεάζονται πολύ από την χρονική μη συσχέτιση).
2. Το μοντέλο σταθερής ταχύτητας παραμόρφωσης του στόχου ισχύει.
3. Η εικόνα ατμοσφαιρικής διαταραχής - ΕΑΔ (atmospheric phase screen - APS) μπορεί να προσεγγιστεί με ράμπα φάσης.

Η τελευταία συνθήκη ισχύει (σαν μιας πρώτης τάξης προσέγγιση) εάν η περιοχή ενδιαφέροντος είναι μικρή (5x5Km) καθώς η υπόθεση γραμμικής παραμόρφωσης χρησιμοποιείται συχνά στα γεωφυσικά μοντέλα. Σε περίπτωση μη γραμμικής παραμόρφωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο πολύπλοκες μέθοδοι.

3.2 Επιλογή των ΥΣΣ

Για την επιλογή των ΥΣΣ αναλύθηκε ένα μεγάλο πλήθος εικόνων πλάτους SAR για εικονοστοιχεία τα οποία παρουσιάζουν σταθερή συμπεριφορά συν τω χρόνω. Στην πραγματικότητα καθώς η σταθερότητα της φάσης μπορεί να προσδιορίζεται μόνο μετά την εκτίμηση και την αφαίρεση των διαφόρων συνιστωσών της φάσης, οι απόλυτες τιμές είναι σχεδόν ανεπηρέαστες στα πιο πολλά φαινόμενα που συμβάλουν στις τιμές της φάσης (ΕΑΔ, σφάλματα ΨΜΕ, παραμορφώσεις εδάφους, σφάλματα τροχιάς, κ.α.). Λόγω του ότι αναζητούνται στόχοι οι οποίοι επηρεάζονται ελάχιστα από χρονικές και χωρικές μη συσχέτισεις, τα εικονοστοιχεία τα οποία παρουσιάζουν μια αρκετά σταθερή σειρά τιμών πλάτους (παρά τις υψηλές χρονικές και χωρικές τιμές διασποράς) θα επιλεγούν ως ΥΣΣ. Μια προσέγγιση της σταθερότητας της φάσης (για υψηλό SNR) είναι :

$$\sigma_v \cong \frac{\sigma_{A_K}}{m_{A_K}} \equiv D_A \quad (6)$$

όπου D_A ο δείκτης διασποράς ($\Delta\Delta$), σ_v η διασπορά της φάσης, σ_{A_K} η τυπική απόκλιση A_K οι τιμές πλάτους των σκηνών και m_{A_K} η μέση τιμή τους. Ο δείκτης διασποράς είναι ένα μέτρο της σταθερότητας της φάσης, τουλάχιστον για τιμές υψηλού SNR. Έτσι υπολογίστηκε ο δείκτης διασποράς της οικογένειας με την χρήση των τιμών πλάτους των οποία τα ιστογράμματα ταυτίστηκαν πρώτα (με προσαρμογή ιστογράμματος - histogram matching αντί με την χρήση του παράγοντα βαθμονόμησης K των δορυφόρων ERS, όπως στο (Ferretti *et al.*, 2001)), χωρίς να λαμβάνεται η θάλασσα έτσι ώστε να ταιριάζουν ραδιομετρικά. Επίσης οι περιοχές στις οποίες υπήρχε μεγάλη πιθανότητα για εμφάνιση του φαινομένου επικάλυψης

και σκίασης θεωρήθηκαν εξ' ορισμού ως έχοντες υψηλό δείκτη διασποράς. Μετά από εξέταση διαφόρων κατωφλίων με κριτήρια την χαρτογραφική επιβεβαίωση και την αποφυγή των προαναφερθέντων φαινομένων επιλέχθηκε ένα κατώφλι για τον δείκτη διασποράς έτσι ώστε τα εικονοστοιχεία με μικρότερη τιμή (από το κατώφλι) να χαρακτηρισθούν ως ΥΣΣ πρώτης προσέγγισης (ΥΣΣ¹). Η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε περιοχές υπολογισμού έτσι ώστε να ισχύει η συνθήκη της ΕΑΔ της §3.1.

3.3 Επίλυση του συστήματος

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το μη γραμμικό (λόγω modulo 2π) σύστημα επιλύεται με ελάχιστα τετράγωνα, μέσω διαδοχικών προσεγγίσεων. Έτσι τα σφάλματα του ΨΜΕ Δ_q και οι ταχύτητες ν υπολογίζονται με αφετηρία μικρών χρονικών και χωρικών γραμμών βάσης και έπεται βελτίωση της ακρίβειας των καθώς λαβαίνει χώρα καλύτερη εκτίμηση και αφαίρεση των γραμμικών όρων. Λόγω του ότι το σύστημα είναι αυστηρά μη γραμμικό, η σύγκλιση δεν είναι σίγουρη και εξαρτάται από τους εξής παράγοντες (Ferretti *et al.*, 2001):

1. Την χωρική και χρονική κατανομή των λήψεων. Πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη. Χωρικά και χρονικά κενά πρέπει να αποφεύγονται.
2. Το σφάλμα του ΨΜΕ. Το Δ_q πρέπει να συμβάλει σε μικρό βαθμό για μεγάλες χωρικές γραμμές βάσης.
3. Οι διαστάσεις της περιοχής υπολογισμού. Η ΕΑΔ και οι τροχιακοί κροσσοί πρέπει να προσεγγίζονται ικανοποιητικά με συνιστώσες γραμμικών φάσεων.
4. Η μετακίνηση του στόχου πρέπει να είναι αρκετά αργή και να αποφευχθεί το φαινόμενο της αλίσιας και να προσεγγίζεται ικανοποιητικά από ένα μοντέλο σταθερής ταχύτητας. Η ταχύτητα πρέπει να συμβάλει σε μικρό βαθμό στην φάση για μικρές χρονικές γραμμές βάσης.

3.4 Εκτίμηση της Εικόνας Ατμοσφαιρικής Διαταραχής και Ενιαία Συνοχή Φάσης (ΕΣΦ)

Με το πέρας της σύγκλισης του αλγορίθμου λαμβάνουμε μια σχετικά ακριβής εκτίμηση του σφάλματος του ΨΜΕ, $\hat{\Delta}q$, των ταχυτήτων στην $\Delta\Delta$, $\hat{\nu}$, καθώς και των κλήσεων και των σταθερών όρων των γραμμικών συνιστωσών της ΕΑΔ (\hat{a} , \hat{p}_ξ , \hat{p}_η). Τα υπόλοιπα της φάσης από το μοντέλο σταθερής ταχύτητας οφείλονται σε ατμοσφαιρικές διαταραχές διαφορετικές από την ράμπα φάσης και σε θόρυβο (κυρίως λόγω της χρονικής και χωρικής μη συσχέτισης).

$$\underline{E}' = (\underline{\Delta\Phi} - \underline{\Delta\hat{\Phi}}) = \underline{\Delta\Phi} - (\hat{a}\underline{1}^T + \hat{p}_\xi \underline{\xi}^T + \hat{p}_\eta \underline{\eta}^T + \underline{b}\underline{\Delta\hat{q}}^T + \underline{T}\underline{\hat{\nu}}^T) = E'_{atmo} + E'_n \quad (7)$$

Για το φιλτράρισμα του E'_{noise} και για την εκτίμηση των ατμοσφαιρικών διαταραχών χρησιμοποιήθηκε η ισχυρή χωρική συσχέτιση της τελευταίας. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιήθηκε παρεμβολή και επαναδειγματοληψία με την μέθοδο Kriging σε ανομοιόμορφο κানাβο (Williams *et al.*, 1998).

Η μέση τιμή της εκτιμώμενης ατμοσφαιρικής συνιστώσας ΕΑΔ στα διαφορικά συμβολογραφήματα :

$$APS_{master}^T = \frac{1}{K} \left\{ \underline{1}^T \cdot \left(\hat{E}_{atmo} + \hat{p}_{\xi} \xi^T + \hat{p}_{\eta} \eta^T \right) \right\} \quad (8)$$

είναι μια εκτίμηση της συμβολής στην φάση της master σκηνής. Η ακριβεία της εξαρτάται από το πλήθος των σκηνών, την πυκνότητα των ΥΣΣ και την αξιοπιστία της $\hat{\Delta\Phi}$. Η μήτρα των ΕΑΔ των slave λήψεων $APS_{slaves}[HxK]$ υπολογίζεται από την ΕΑΔ της master $APS_{master}[Hx1]$ ως εξής :

$$APS_{slaves} = \left(\hat{E}_{atmo} + \hat{p}_{\xi} \xi^T + \hat{p}_{\eta} \eta^T \right) - \underline{1} \cdot APS_{master}^T \quad (9)$$

Από τις εκτιμώμενες ποσότητες, η φάση κάθε slave σκηνής μετατρέπεται ως να είχε ληφθεί από την τροχιά της master σκηνής, χωρίς την μετακίνηση του εδάφους και των ατμοσφαιρικών διαταραχών. Οι νέες φάσεις είναι:

$$\underline{\zeta} = \underline{\Psi} - \left(APS + b\hat{\Delta}q^T + T\hat{v}^T \right) = \underline{1}\underline{\psi}_m^T + \underline{E}'' \quad (10)$$

όπου :

- $\underline{\Psi}[K \times H]$ περιέχει τις φάσεις των H το πλήθος ΥΣΣ όπως φαίνονται από τις K slave σκηνές.
- $\underline{\psi}_m^T [K \times H]$ περιέχει τις φάσεις των H το πλήθος ΥΣΣ όπως φαίνονται από την master σκηνή, αντισταθμισμένες για την ΕΑΔ της master.
- $APS [K \times H]$ Περιέχει την εκτιμημένη ΕΑΔ της κάθε slave σκηνής.
- $\underline{E}'' [K \times H]$ είναι η μήτρα των υπολοίπων.

Η ενιαία συνοχή φάσης (ΕΣΦ) αποτελεί ένα μέτρο της διασποράς των φάσεων των νέων slave φάσεων ως προς τις τιμές της master σκηνής. Η τιμή της κυμαίνεται στο διάστημα $[0, 1]$. Όσο πλησιάζει την τιμή 1 η διασπορά της φάσης μειώνεται. Υπολογίστηκε ως :

$$|\gamma_h| \equiv \left| \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \exp(j\underline{\zeta}_{kh}) \right| \quad (11)$$

και αποτελεί το ένα από τα δύο κριτήρια για την επιλογή των ΣΚ από τους ΥΣΣ, όπως θα δούμε παρακάτω.

3.5 Επιλογή των ΣΣ με χρήση της σταθερότητας της φάσης.

Μέχρι εδώ έχουν εκτιμηθεί η ταχύτητα κατά την ΔΣΔ και τα σφάλματα του ΨΜΕ για H το πλήθος εικονοστοιχεία των σκηνών τα οποία επιλέχθηκαν βάσει του δείκτη διάχυσης του πλάτους DA. Λόγω των περιορισμών που επιβάλλει αυτή η μέθοδος, ορισμένοι σκεδαστές θα πρέπει να αφαιρεθούν. Οπότε η επιλογή αυτή θα γίνει με ανάλυση της χρονοσειράς των τιμών φάσης των μέχρι τώρα ΥΣΣ.

Στην παρούσα φάση, έχοντας δηλαδή εκτιμηθεί και αφαιρεθεί η ΕΑΔ θα υπολογισθούν οι τελικές ταχύτητες των στόχων (στην ΔΣΔ) και τα σφάλματα του ΨΜΕ, χρησιμοποιώντας ένα περιοδόγραμμα, με ακανόνιστη δειγματοληψία σε δύο διαστάσεις, στην γραμμή βάσης του χώρου και του χρόνου. Στην ουσία οι δυο άγνωστοι υπολογίζονται μεγιστοποιώντας την συνοχή της φάσης γ κάθε εικονοστοιχείου :

$$\arg \max_{\Delta q, v} \left\{ |\gamma| = \left| \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K e^{j\varphi_k} \cdot e^{-j(C_q B_k \cdot \Delta q + C_v T_k \cdot v)} \right| \right\} \quad (12)$$

όπου φ_k είναι η τιμή φάσης του διαφορικού συμβολογραφήματος k μετά την αφαίρεση της ΕΑΔ.

Η μέγιστη συνοχή της φάσης (ΜΣΦ), $\max(|\gamma|)$, αποτελεί ένα δεύτερο κριτήριο για την επιλογή των ΣΣ από τους ΥΣΣ.

4. Μεθοδολογία

Η ανάπτυξη του αλγόριθμου PerSePHONE βασίστηκε σε ένα πλήθος προσαρμογών για την επιλογή των ΣΣ και ΥΣΣ. Η περιοχική μελέτης διαιρέθηκε σε 800 υποπεριοχές υπολογισμού, διαστάσεων 500 εικονοστοιχείων στο αξιμούθιο και 100 εικονοστοιχείων στο range, καλύπτοντας μια περιοχή $\sim 4\text{Km}^2$. Περίπου 200,000 στόχοι οι οποίοι είχαν $\Delta d < 0.33$ αναγνωρίστηκαν σε όλες τις περιοχές υπολογισμού (§3.1, §3.2) ως μια πρώτη επιλογή των ΥΣΣ (υποδηλώνεται ως ΥΣΣ(1), όπου ο δείκτης δείχνει το σετ των ΥΣΣ το οποίο εξάγεται από το πρώτο διαδοχικό βήμα βελτιστοποίησης, όπως περιγράφεται παρακάτω και κυμαίνεται από την τιμή 1 έως το ολικό πλήθος των βημάτων βελτιστοποίησης, n). Η συμμετοχή της ΕΑΔ υπολογίστηκε χωριστά σε κάθε περιοχή υπολογισμού μέσω της επίλυσης ενός μη γραμμικού συστήματος, με χρήση ενός επαναληπτικού αλγόριθμου (§3.1, §3.2), εφ' όσον οι συμβολομετρικές τιμές φάσης είναι γνωστές μόνο ως modulo-2π. Η επιλογή των ΥΣΣ ενισχύθηκε αναγνωρίζοντας και αφαιρώντας εκείνους τους ΥΣΣ οι οποίοι αποτρέπουν την σύγκλιση του αλγορίθμου, είτε λόγω χαμηλής ακρίβειας του αντίστοιχου ΨΜΕ (το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τους συμβολομετρικούς υπολογισμούς) είτε λόγω του γεγονότος ότι η κίνησή τους οδηγεί σε αλίσια και δεν μπορεί να προσεγγιστεί με το μοντέλο σταθερής ταχύτητας (§3.3). Στη συνέχεια υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση των τιμών διόρθωσης των αγνώστων (ταχύτητας και σφάλματα του ΨΜΕ) σε κάθε προκεχωρημένο βήμα επανάληψης. Αυτή η ποσότητα χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο για τη διατήρηση των ΥΣΣ (από τους ΥΣΣ(1)), οι οποίοι παρουσιάζουν χαμηλή διασπορά των τιμών διόρθωσης στα προκεχωρημένα βήματα των επαναλήψεων. Το προκύπτον σετ ΥΣΣ (ΥΣΣ(2)) εισήχθη ξανά στον επαναληπτικό αλγόριθμο και η προαναφερθείσα διαδικασία επαναλήφθηκε έως ότου είτε ο αλγόριθμος συγκλίνει είτε το πλήθος των ΥΣΣ(n) γίνει μικρότερο από μια ελάχιστη τιμή κατωφλίου. Η τιμή αυτή τέθηκε 20. Ο αλγόριθμος τελικά συγκλίνει εάν, εκτός από τους προαναφερθέντες παράγοντες, η χωροχρονική κατανομή των σκηνών είναι ομοιόμορφη και οι διαστάσεις κάθε περιοχής υπολογισμού είναι αρκετά μικρές, έτσι ώστε η ΕΑΔ και οι τροχιακοί κροσσοί συμβολής να προσεγγίζονται ικανοποιητικά από συνιστώσες γραμμικής φάσης (§3.3). Επιπλέον, οι μη γραμμικές ατμοσφαιρικές κατανομές χαμηλής συχνότητας απομονώθηκαν από τα κατάλοιπα της φάσης (η τιμή της φάσης μετά την αφαίρεση της ΕΑΔ), χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο Kriging (§3.4) και προστέθηκαν στην ΕΑΔ. Με το τέλος της σύγκλισης, 56 περιοχές υπολογισμού ικανοποιούσαν τους προαναφερθέντες παράγοντες και συμμετείχαν περαιτέρω στους υπολογισμούς. Ένα πλήθος 1599 ΥΣΣ διατηρήθηκαν, έχοντας πυκνότητα ~ 28.5 ΥΣΣ ανά περιοχή υπολογισμού ή ~ 6 ΥΣΣ ανά Km^2 . Αυτή η τιμή είναι χαμηλή σε σύγκριση με τις αστικές περιοχές. Αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένες περιοχές υπολογισμού με μεγάλο πλήθος ΥΣΣ(n) είχαν πυκνότητα έως και 22 ΥΣΣ ανά Km^2 .

Στη συνέχεια για το βήμα της επιλογής των ΣΣ το πρώτο κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ΕΣΦ (§3.4), η οποία αντιστοιχεί στη σταθερότητα της τιμής της φάσης (απουσία της ΕΑΔ, των σφαλμάτων της τροχιάς, της εκτίμησης των ρυθμών παραμόρφωσης και του ΨΜΕ) κάθε στόχου διαμέσου όλων των σκηνών.

Μετά την αφαίρεση της ΕΑΔ και των σφαλμάτων τροχιάς από κάθε συμβολομετρικό ζεύγари, ο υπολογισμός των τελικών ταχυτήτων και σφαλμάτων του ΨΜΕ θεωρείται ως ένα

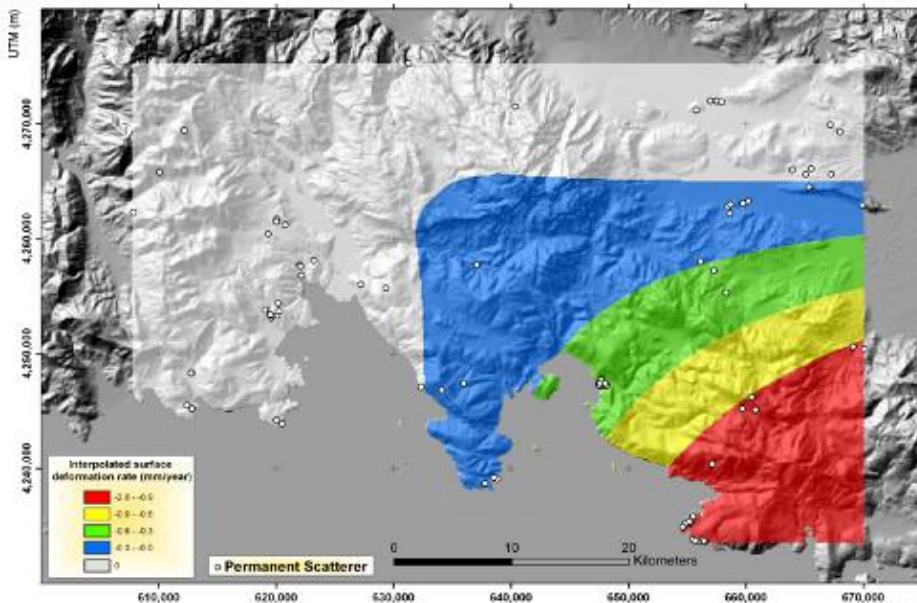
μη γραμμικό ανάστροφο πρόβλημα, το οποίο επιλύεται μέσω της σάρωσης ενός δισδιάστατου παραμετρικού χώρου (η ταχύτητα και το σφάλμα του ΨΜΕ) και μεγιστοποιώντας το δείκτη συσχέτισης, ο οποίος στην περίπτωση μας είναι η ΣΦ. Αυτός ο δείκτης αντιστοιχεί στη σταθερότητα της φάσης του στόχου, η οποία φάση προκύπτει από τις τελικές ταχύτητες παραμόρφωσης και σφαλμάτων του ΨΜΕ μετά από την αφαίρεση της ΕΑΔ από τις τιμές φάσης της διαφορικής συμβολομετρίας. Η ΜΣΦ κάθε στόχου χρησιμοποιήθηκε ως ένα δεύτερο κριτήριο για την επιλογή των ΣΣ (§3.5.) Με την εφαρμογή κατωφλίων στα κριτήρια ΕΣΦ και ΜΣΦ με τιμές 0.2 και 0.69 αντίστοιχα, προκύπτει ένα πλήθος 107 ΣΣ σε 49 περιοχές υπολογισμού.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ο κώδικας αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Matlab και εκτελέστηκε με τη χρήση του Matlab Distributed Computing Engine, για παράλληλη επεξεργασία των περιοχών υπολογισμού.

Η αναφερθείσα τεχνική ΣΣ μαζί με τις προσαρμογές και τις υφιστάμενες δυνατότητες επεξεργασίας για παραγωγή συμβολογραφημάτων (χρησιμοποιώντας το CNES DIAPASON) καθώς και προβολή σε κοινό χαρτογραφικό σύστημα, ενοποιήθηκαν σε μία κοινή αλυσίδα επεξεργασίας.

5. Αποτελέσματα

Επειδή η πυκνότητα των ΣΣ ήταν μικρή, η χρήση μια επιφάνειας παρεμβολής κρίθηκε απαραίτητη. Ένα πλήθος τέτοιων επιφανειών υπολογίστηκαν για την εκτίμηση του πεδίου του ρυθμού παραμόρφωσης. Αυτή η 'trial and error' διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα μια διγραμμική επιφάνεια με εξίσωση $\zeta = a + \beta x + \gamma y + \delta xy$, όπου ζ είναι η υπολογισθείσα επιφάνεια και a , β , γ και δ είναι οι παράμετροι οι οποίες εξήχθησαν από το σετ των ΣΣ (Σχήμα 3). Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (rms) μεταξύ των τιμών των ΣΣ και της διγραμμικής επιφάνειας είναι 1.1mm ανά έτος. Μια τάση καθίζησης ~2mm ανά έτος του ΝΔ της περιοχής μελέτης είναι εμφανής.



Σχήμα 3. Οι Σταθεροί Σκεδαστές και η διγραμμική επιφάνεια

6. Συμπεράσματα

Λόγω των συνθηκών κάλυψης (υψηλή βλάστηση, έλλειψη αστικών και βραχώδων περιοχών) καθώς και της υψηλής νεφοκάλυψης και βροχώπτωσης, η περιοχή του Κορινθιακού κόλπου θεωρείται μια ιδιαίτερη και απαιτητική περίπτωση για εφαρμογή της τεχνικής των ΣΣ.

Παρ' όλα αυτά η παρούσα ανάλυση ανέδειξε περιοχές με ικανοποιητικό αριθμό ΣΣ (για τον υπολογισμό επιφάνειας παρεμβολής) και συνέστησε μια τάση καθίζησης. Η αναφορά (Stefatos *et al.*, 2002), η οποία δηλώνει ότι το βόρειο τμήμα του Κορινθιακού κόλπου φαίνεται να υπόκειται μιας περιφεριακής καθίζησης, επιβεβαιώνει το συμπέρασμα της παρούσας εργασίας.

Βιβλιογραφία

Avallone A., 2003: Analyse de dix ans de deformation du rift de Corinthe (Grece) par geodesie spatiale, These de Doctorat, IPGP.

Briole P., A. Rigo, H. Lyon-Caen, J. Ruegg, K. Papazissi, K. Mitsakaki, 2000: Active deformation of the Corinth rift, Greece: Results from repeated Global Positioning System surveys between 1990 and 1995. *J. Geophys. Res.* 105, 25605–25625.

Colesanti C., A. Ferretti, N Fabrizio, C. Prati, and F. Rocca, 2003: SAR Monitoring of progressive and seasonal ground deformation using the permanent scatterers technique. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing.* vol. 41, No. 7, 1685-1701.

Crosetto M., M. Castillo, and R. Arbiol, 2003: Urban subsidence monitoring using radar interferometry: algorithms and validation. *Photogrammetric Engineering & remote sensing.* vol. 6, No. 7, 775-783.

Ferretti A., C. Prati, and F. Rocca, 2001: Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing,* vol. 39, No. 1, 8–19.

Stefatos A., G. Papatheodorou, G. Ferentinos, M. Leeder, and R. Collier, 2002: Seismic reflection imaging of active offshore faults in the Gulf of Corinth: their seismotectonic significance. *Basin Research.* 14, 487-502.

Tarantola A., 1987: Inverse Problem Theory. Methods for data fitting model parameter estimation. **Εκδόσεις** Elsevier Science Ltd.

Williams S., S. Bock, and P. Pang, 1998: Integrated satellite interferometry: Tropospheric noise, GPS estimates and implications for interferometric synthetic aperture radar products. *J. Geophys. Res.* vol. 103, No. B11, 27051-27067.

CNES, 1996: Philosophie et mode d'emploi de la chaine logicielle interferometrique DIAPASON.

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ ΑΠΟ ΠΑΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

Καράντζαλος Κ., Αργιαλάς Δ.

*Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.*

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, αναπτύχθηκε μεθοδολογία για την εξαγωγή και χαρτογράφηση ακτογραμμών από παγχρωματικές δορυφορικές απεικονίσεις. Η μεθοδολογία περιγράφεται σε τρία στάδια: i) πρώτα λαμβάνουν χώρα οι προεπεξεργασίες για την ενίσχυση και ομαλοποίηση των εικόνων, ii) έπειτα ακολουθεί η ανίχνευση ακμών είτε με τον τελεστή Canny είτε με το μορφολογικό φορμαλισμό της δεύτερης παραγώγου και τέλος, iii) πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των εξαγόμενων ακτογραμμών από τις υπόλοιπες ανιχνευμένες ακμές. Το τελευταίο βήμα πραγματοποιείται μιας και μαζί με τις ανιχνευμένες ακτογραμμές, το αποτέλεσμα των δύο πρώτων σταδίων, επηρεάστηκε αρνητικά από ακμές που περιέγραφαν τα όρια και άλλων μη επιθυμητών περιοχών στο έδαφος (ποτάμια, όρια καλλιεργειών, κ.α.). Έτσι, για την εξαγωγή των ακτογραμμών χρησιμοποιήθηκε η εναλλαγή που παρατηρείται στην υφή μεταξύ των θαλάσσιων περιοχών (μαλακή υφή, από σκουρόχρωμους σχηματισμούς) και του εδάφους (τραχύς με πιο σύνθετους μέσου τόνου σχηματισμούς). Για την ανάλυση της υφής εφαρμόστηκαν φίλτρα Gabor. Τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά και ελπιδοφόρα.

AUTOMATIC COASTLINE MAPPING FROM PANCHROMATIC SATELLITE IMAGERY

Karantzalos K. and Argialas D.

*Research Laboratory of Remote Sensing, School of Rural and Surveying Engineering,
National Technical University of Athens.*

Abstract

In this paper, an algorithm for the automatic extraction and mapping of coastlines from panchromatic satellite imagery, was developed. The methodology is divided in three steps: i) pre-processing with image smoothing and simplification filters, ii) edge detection based on Canny and morphological operators and finally, iii) coastline extraction. The last step is performed since along with the coastline edges other irrelevant edges were detected too, which is attributed to noise and other non-desirable features (rivers, parcel boundaries, etc.). Thus, for coastline extraction the difference in the texture between the sea regions (soft with darker intensity values) and the mainland (rough with medium intensity values with a higher variance) was calculated with two dimensional Gabor filters and used for the final coastline extraction. Results were satisfactory and look promising.

Λέξεις κλειδιά: τηλεπισκόπηση, ανάλυση εικόνων, ανίχνευση αντικειμένων, ανάλυση υφής.

Key words: remote sensing, image processing, object detection, texture.

1. Εισαγωγή

Η αυτόματη ανίχνευση και εξαγωγή των ακτογραμμών είναι μια βασική και ουσιαστικής σημασίας διαδικασία για ποικίλες γεωγραφικές, χαρτογραφικές και περιβαλλοντικές

εφαρμογές στο παράκτιο περιβάλλον. Η ακτογραμμή, η οριογραμμή που διαχωρίζει υδάτινες επιφάνειες (θάλασσα, λίμνες, κ.α.) με το έδαφος, δεν είναι σταθερή στο χρόνο και για τον προσδιορισμό της απαιτείται η καταγραφή του μετώπου της σε όλες τις εποχές του χρόνου και σε σχέση με διάφορα φυσικά φαινόμενα (διαβρώσεις, παλίρροιες, κ.α.) αλλά και σε σχέση με την ανθρώπινη δραστηριότητα (Dolan et al, 1980; List and Farris, 1999; Boak and Turner, 2005; Turner et al., 2007).

Έτσι, μέχρι σήμερα έχουν, κυρίως, αναπτυχθεί χειρονακτικές τεχνικές εξαγωγής της ακτογραμμής, οι οποίες κατά κύριο λόγο βασίζονται σε μετρήσεις πεδίου με η και χωρίς τον συνδυασμό τεχνικών φωτοερμηνείας (List and Farris, 1999). Τα τελευταία κυρίως χρόνια έχουν αναπτυχθεί τεχνικές για την ημι-αυτόματη και αυτόματη ανίχνευση ακτογραμμών από εναέρια και δορυφορικά δεδομένα με σκοπό την εξαγωγή του μετώπου της ακτογραμμής τη δεδομένη στιγμή της λήψης των δεδομένων και την μέτρηση δεικτών απαραίτητων για τον προσδιορισμό της ακτογραμμής (List and Farris, 1999; Boak and Turner, 2005).

Ανάμεσα σε αυτές τις τεχνικές εκτός από τη χρήση εικόνων (εναέριων και δορυφορικών) έχει προταθεί και η χρήση ψηφιακών μοντέλων εδάφους για την ανίχνευση των μεταβολών της ακτογραμμής (Stephen and Wang, 2003) αλλά και η χρήση ραντάρ απεικονίσεων για τον εντοπισμό του μετώπου της ακτογραμμής κατά την στιγμή της λήψης (Lee, 1990; Mason and Davenport, 1996; Delleriane et al., 2004). Παράλληλα, οι Kroon et al. (2007), αξιολόγησαν την χρήση τηλεπισκοπικών συστημάτων βίντεο για τον έλεγχο και τη διαχείριση προβλημάτων σταθερότητας σε παράκτιες αμμώδεις ακτές. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκαν τηλεπισκοπικά παραγόμενοι παράμετροι (δείκτες) που διευκολύνουν τη μέτρηση της εξέλιξης των ακτογραμμών (λόγω διάβρωσης ή προσαύξησης) και προσμετράνε τυχόν αλλαγές από θύελλες, εποχιακούς κύκλους αλλά και ανθρωπογενείς επεμβάσεις. Η μεταβλητή που αποτελεί τη βάση για όλους τους δείκτες είναι η θέση των ακτογραμμών, όπως αυτή ανιχνεύεται στις τηλεπισκοπικές εικόνες κάποια συγκεκριμένης χρονικής στιγμής, ή κάποιο καρέ ενός βίντεο.

Στην παρούσα εργασία, αναπτύχθηκε μεθοδολογία για την αυτόματη ανίχνευση ακτογραμμών από δορυφορικές εικόνες, με βάση τεχνικές ανίχνευσης ακμών και με στόχο τον αποτελεσματικό εντοπισμό του μετώπου της ακτογραμμής σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Πιο συγκεκριμένα, και με βάση τις παρατηρήσεις των Elder και Zucker (1998) για τη σχέση των ανιχνευμένων ακμών με τις κλίμακες παρατήρησης και τις ιδιότητες των αισθητήρων, αναπτύχθηκε μεθοδολογία με βάση τεχνικές ανίχνευσης ακμών, όπου οι παράμετροι των αλγορίθμων (όπως για παράδειγμα το εύρος ομαλοποίησης σ γκαουσιανής συνέλιξης) ορίστηκαν ανά τύπο δορυφορικών εικόνων. Οι Elder και Zucker έδειξαν πως αν υπάρχει γνώση των ιδιοτήτων (εστιακή απόσταση, κ.α.) του αισθητήρα λήψης των απεικονίσεων, οι πραγματικές ακμές (ακμές ενδιαφέροντος) μπορούν να εξαχθούν και να περιοριστούν οι ψευδο-ακμές στο αποτέλεσμα.

Προς την κατεύθυνση αυτή, αναπτύχθηκε μεθοδολογία και προσδιορίστηκαν οι βέλτιστες παράμετροι της, για την εξαγωγή ακτογραμμών από δορυφορικές απεικονίσεις. Η μεθοδολογία περιγράφεται σε τρία στάδια: i) πρώτα λαμβάνουν χώρα οι προεπεξεργασίες για την ενίσχυση και ομαλοποίηση των εικόνων (Karantzalos et al., 2002), ii) έπειτα ακολουθεί η ανίχνευση ακμών είτε με τον τελεστή Canny είτε με το μορφολογικό φορμαλισμό της δεύτερης παραγράφου και τέλος, iii) πραγματοποιείται ο διαχωρισμός της ακτογραμμής από τις υπόλοιπες ανιχνευμένες ακμές. Το τελευταίο βήμα πραγματοποιείται μιας και μαζί με τις ανιχνευμένες ακτογραμμές, το αποτέλεσμα των δύο πρώτων σταδίων, επηρεάστηκε αρνητικά από ακμές που περιέγραφαν τα όρια και άλλων μη επιθυμητών περιοχών στο έδαφος (ποτάμια, όρια καλλιεργειών, κ.α.). Έτσι, για την εξαγωγή των ακτογραμμών χρησιμοποιήθηκε η μετρούμενη στις εικόνες εναλλαγή στην υφή μεταξύ των θαλάσσιων περιοχών και του εδάφους. Ο υλοποιημένος αλγόριθμος για την αυτόματη εξαγωγή των ακτογραμμών εφαρμόστηκε σε παγχρωματικές δορυφορικές εικόνες μεσαίας και μεγάλης χωρικής διακριτικής ικανότητας.

2. Ανίχνευση Ακμών

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα στην ανάλυση εικόνων και στην Όραση Υπολογιστών, στην Τηλεπισκόπηση και Φωτογραμμετρία αποτελεί η ανίχνευση ακμών (edge detection). Είναι μια διαδικασία προσδιορισμού των ορίων μεταξύ γειτονικών περιοχών μιας εικόνας με βάση τη μεταβολή κάποιου χαρακτηριστικού (μεταβολή του γκριζου τόνου) των περιοχών αυτών (Marr and Hildreth, 1980). Στόχος των τεχνικών ανίχνευσης ακμών, σε μια ψηφιακή εικόνα, είναι ο εντοπισμός των σημείων στο πεδίο της εικόνας, στα οποία οι τιμές φωτεινότητας αλλάζουν αισθητά. Κάθε ασυνέχεια η οποία υπάρχει στο γκριζό τόνο κάποιας εικόνας και χαρακτηρίζεται από μια απότομη ή βαθμιαία μεταβολή στην ένταση του γκριζού τόνου, μπορεί να θεωρηθεί ως ακμή. Συνήθως, όμως, οι εικόνες περιέχουν και θόρυβο (λόγω του συστήματος λήψης ή της ύπαρξης αντικειμένων σε μικρότερες κλίμακες) που παραμορφώνει το σχήμα των μεταβολών έντασης και εισαγάγει λάθη και ψευδο-ακμές στο αποτέλεσμα.

Ο Canny (Canny, 1986) πρότεινε μια πιο σύνθετη μεθοδολογία, από την απευθείας εξαγωγή της πρώτης και δεύτερης παραγώγου, για την ανίχνευση των ακμών, η οποία έχει καθιερωθεί στη βιβλιογραφία και αποτελεί μια συνηθέστατα χρησιμοποιημένη μέθοδο. Ο Canny έθεσε κριτήρια που έπρεπε να ικανοποιεί ένας βέλτιστος ανιχνευτής. Αυτά ήταν i) να οδηγεί στην ανίχνευση όσο το δυνατόν περισσότερων πραγματικών ακμών στην εικόνα (ακμές που περιγράφουν όρια αντικειμένων και όχι ακμές που προέρχονται από τις εναλλαγές φωτεινότητας λόγω του θορύβου των εικόνων), ii) οι ανιχνευμένες ακμές θα πρέπει να είναι χωρικά ακριβείς και τέλος iii) να είναι αποτελεσματικός στον θόρυβο. Παράλληλα και από την μεριά της μαθηματικής μορφολογίας έγινε η προσπάθεια να υπολογιστούν οι πρώτες και δεύτερες παράγωγοι με τη βοήθεια μορφολογικών μετασχηματισμών. Οι Beucher και Lantuejoul (1979) έδειξαν ότι το μέτρο της πρώτης παραγώγου μιας αρχικής εικόνας $I(x,y)$, ισούται με το όριο της διαφοράς μιας μορφολογικής διαστολής (dilation) από μια συστολή (erosion) προς δύο φορές την ακτίνα r του δομικού στοιχείου B των μορφολογικών τελεστών:

$$|\text{gradient } I(x,y)| = \lim\{dilation(I,B) - erosion(I,B)/2r\} \quad (1)$$

Αρκετά αργότερα από τον παραπάνω μορφολογικό φορμαλισμό της πρώτης παραγώγου και το 1989 οι Vliet, Young και Beckers (1989), προσέγγισαν τη δεύτερη παράγωγο με έναν επίσης μη γραμμικό μορφολογικό τελεστή. Έδειξαν ότι αν αλγεβρικά προστεθούν τα dilation και erosion και αφαιρεθεί δυο φορές η αρχική εικόνα, προσεγγίζεται η δεύτερη παράγωγος της εικόνας:

$$\text{gradient}^2 I(x,y) = dilation(I,B) + erosion(I,B) - 2I(x,y) \quad (2)$$

Στην παρούσα εργασία εκτός από τον τελεστή Canny ανίχνευσης ακμών εφαρμόστηκαν και οι παραπάνω μορφολογικοί φορμαλισμοί, μιας και στην βιβλιογραφία σε πολλές περιπτώσεις έχουν οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα (Lindeberg, 1998; Maragos, 2002; Petrosino and Salvi, 2006).

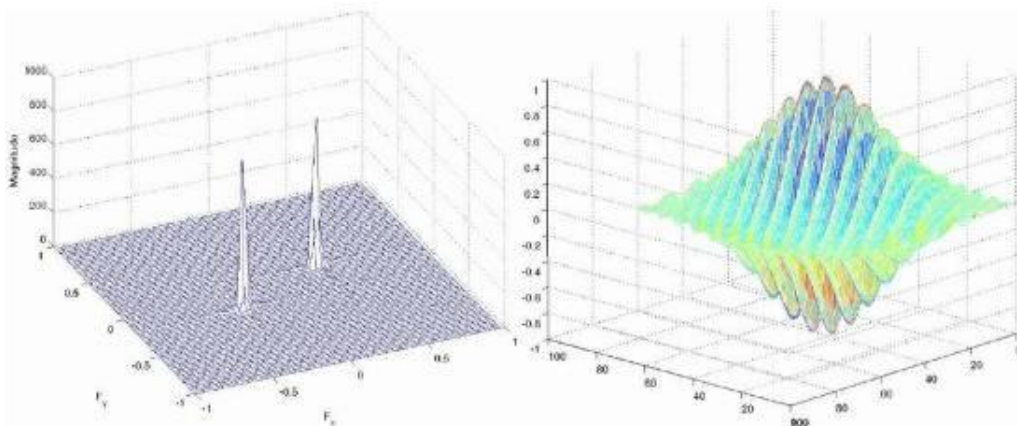
3. Ανάλυση Υφής

Όλοι οι τελεστές ανίχνευσης ακμών, όντας ευαίσθητοι σε όλες τις εναλλαγές των τιμών φωτεινότητας στο πεδίο της εικόνας, παράλληλα με την ανίχνευση των ορίων επιθυμητών αντικειμένων, οδηγούν και στην ανίχνευση μη-πραγματικών και μη-επιθυμητών ακμών (Marr and Hildreth, 1980; Maragos, 2002). Για το λόγο αυτό και για τον διαχωρισμό και την ταξινόμηση των ανιχνευόμενων ακμών σε ακμές που περιγράφουν την ακτογραμμή και ακμές που περιγράφουν άλλα χαρακτηριστικά, χρησιμοποιήθηκε η μετρούμενη στις εικόνες εναλλαγή στην υφή μεταξύ των θαλάσσιων περιοχών και του εδάφους. Η ανάλυση της υφής έγινε με την εφαρμογή διδιάστατων φίλτρων Gabor (Daugman, 1985), τα οποία χαρακτηρίζονται ως βέλτιστα στο χώρο και τη συχνότητα και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως

στη βιβλιογραφία για ποικίλες εφαρμογές στην Όραση Υπολογιστών, όπως η κατάτμηση τεχνητών εικόνων, ιατρικών εικόνων, εικόνων για ρομποτική όραση, κ.α. (Maragos, 2002; Idrissa and Acheroy, 2002; Manthalkar et al., 2003; Arivazhagan et al., 2006).

Ο Gabor (Daugman, 1985) απέδειξε ότι στο μονοδιάστατο (1D) χώρο τα γκαουσιανά φίλτρα πολλαπλασιαζόμενα με συνημίτονα ικανοποιούν την αρχή της αβεβαιότητας $((\Delta x)(\Delta \omega) > 1/4\pi)$ (x : ανάλυση στο πεδίο του χώρου και ω : στο πεδίο της συχνότητας) και για το λόγο αυτό οδηγούν σε αποτελεσματικότερη δειγματοληψία του χώρου και του χρόνου (συχνότητας) και συμπεριφέρονται βέλτιστα κατά τη συνέλιξή τους με μονοδιάστατα σήματα. Σε δύο διαστάσεις ο Daugman (1985) και συνεχίζοντας τη λογική του Gabor απέδειξε ότι ισχύει το ίδιο, διατυπώνοντας την αρχή της αβεβαιότητας για 2D: $((\Delta x)(\Delta y)(\Delta u)(\Delta \omega) > 1/16\pi^2)$.

Ένα 2D φίλτρο Gabor $g(x,y)$ (Εξίσωση 3, Σχήμα 1) μπορεί να περιγραφεί ως ένα ημιτονοειδές κυματίδιο (κάποιας συχνότητας και προσανατολισμού) ενσωματωμένο μέσα σε μια 2D γκαουσιανή περιβάλλουσα και μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα ζωνοπερατό φίλτρο που συμπεριφέρεται βέλτιστα στην αρχή της αβεβαιότητας (παρουσιάζει το μικρότερο γινόμενο).



Σχήμα 1. Απεικόνιση φίλτρου Gabor στο πεδίο της συχνότητας (αριστερά) και στο χώρο (δεξιά).

$$g_c(x, y) = \exp\left(-\frac{\alpha(x-x_0)^2 + \beta(y-y_0)^2}{F_s^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{U_0(x-x_0) + V_0(y-y_0)}{F_s}\right) \quad (3)$$

όπου τα (x_0, y_0) προσδιορίζουν τη χωρική θέση του φίλτρου, τα (α, β) το ενεργό εύρος του φίλτρου προς τις δύο κατευθύνσεις, τα (U_0, V_0) τη διαμόρφωση του, ενώ F_s είναι η συχνότητα δειγματοληψίας του.

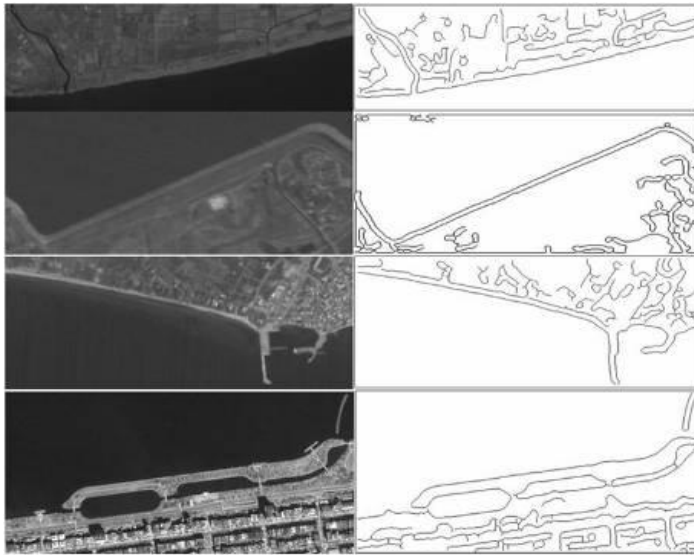
4. Μεθοδολογία και αποτελέσματα

Στην παρούσα εργασία, αναπτύχθηκε αλγόριθμος και ορίστηκαν οι βέλτιστοι παράμετροι του, για την εξαγωγή και χαρτογράφηση ακτογραμμών από παγχρωματικές δορυφορικές απεικονίσεις. Αρχικά πραγματοποιείται η ανίχνευση και εξαγωγή των ακμών σε τρία στάδια:

1. πρώτα λαμβάνουν χώρα οι προεπεξεργασίες για την ενίσχυση και ομαλοποίηση των εικόνων,

2. έπειτα ακολουθεί η ανίχνευση ακμών είτε με τον τελεστή Canny είτε με τον μορφολογικό φορμαλισμό της δεύτερης παραγώγου και τέλος,
3. πραγματοποιείται η αποκατάσταση της συνεκτικότητας των ανιχνευμένων ακμών με τη χρήση μορφολογικών μετασχηματισμών.

Στο υλοποιημένο, αυτό, σύστημα επεξεργασίας, έγινε προσπάθεια με διαδικασία επαναλαμβανόμενων δοκιμών, για ορισμό των βέλτιστων παραμέτρων ανάλογα με τον τύπο της δορυφορικής εικόνας και τον τελεστή ανίχνευσης ακμών. Λόγω, όμως, της φύσης και των περιορισμών των παραπάνω τελεστών, δεν ήταν δυνατή η ανίχνευση μόνο της ακτογραμμής. Μαζί με τις ανιχνευμένες ακτογραμμές, το αποτέλεσμα επηρεάστηκε αρνητικά από ακμές που περιέγραφαν τα όρια και άλλων μη επιθυμητών περιοχών στο έδαφος (ποτάμια, όρια καλλιεργείων, κ.α.), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.



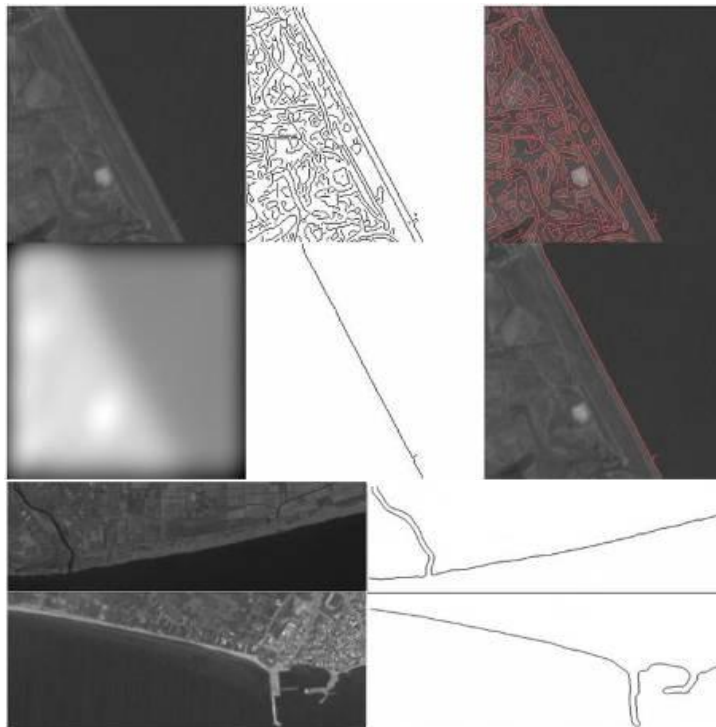
Σχήμα 2. Ανίχνευση ακτογραμμών από δορυφορικές εικόνες τύπου: LANDSAT TM4 με 30μέτρα διακριτική ικανότητα (πρώτη σειρά), SPOT HRV με 10μ. δ.ι. (δεύτερη σειρά), IRS-1C PAN με 6μ. δ.ι. (τρίτη σειρά) και IKONOS PAN με 1μ. δ.ι. (τέταρτη σειρά). Σε όλες τις περιπτώσεις ανιχνεύονται οι ακτογραμμές αλλά ταυτόχρονα τα όρια και άλλων μη επιθυμητών αντικειμένων στο έδαφος (ποτάμια, όρια καλλιεργείων, κ.α.).

Για την διάκριση των ανιχνευμένων ακτογραμμών από τις υπόλοιπες μη επιθυμητές ακμές, ήταν απαραίτητη, η μετα-επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Προς την κατεύθυνση αυτή χρησιμοποιήθηκε η εναλλαγή που παρατηρείται στην υφή μεταξύ των θαλάσσιων περιοχών (μαλακή υφή, από σκουρόχρωμους τόνους) και του εδάφους (τραχύς υφή, με μέσους τόνους μεγαλύτερου εύρους). Για την παραπάνω ανάλυση της υφής, χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα Gabor. Με την εφαρμογή φίλτρων Gabor, έγινε ο διαχωρισμός του εδάφους από τη θάλασσα. Έτσι με συγχώνευση (fusion) της πληροφορίας από την ανίχνευση των ακτογραμμών και της ανάλυσης υφής, έγινε η εξαγωγή της ακτογραμμής (Σχήμα 3).

Στο ίδιο αποτέλεσμα, επίσης, μπορεί κανείς να καταλήξει εάν αντί για ανάλυση υφής πραγματοποιηθεί μια καταφλίωση σε υπέρυθρο κανάλι ή κάποιος δείκτης (όπου και οι δύο μέθοδοι βασίζονται στον άμεσο υπολογισμό διαφορών σε τιμές φωτεινότητας, οι οποίες και οδήγησαν και στην αστοχία της ανίχνευσης των ακμών) ή μια ταξινόμηση, η πολυπλοκότητα της οποίας, όμως, είναι αρκετά μεγαλύτερη.

5. Συμπεράσματα/Μελλοντικές κατευθύνσεις

Συνοψίζοντας, στην παρούσα εργασία, υλοποιήθηκε μεθοδολογία για την ανίχνευση και



Σχήμα 3. Εξαγωγή ακτογραμμής έπειτα από την ανάλυση υφής με φίλτρα Gabor. Πρώτη σειρά: αρχική εικόνα IKONOS PAN ενός μέτρου διακριτικής ικανότητας (αριστερά), ανίχνευση ακμών (τελεστής Canny, μέση), επίθεση ακμών πάνω στην αρχική εικόνα (δεξιά). Δεύτερη σειρά: αποτέλεσμα φιλτραρίσματος Gabor στην αρχική εικόνα (αριστερά), εξαγωγή ακτογραμμής με βάση τη συγχώνευση (fusion) της πληροφορίας από την ανίχνευση των ακμών και το φιλτράρισμα Gabor (μέση), επίθεση εξαγόμενης ακτογραμμής πάνω στην αρχική εικόνα (δεξιά). Τρίτη σειρά: αρχική εικόνα LANDSAT TM4, 30μέτρα διακριτική ικανότητα (αριστερά), εξαγόμενη ακτογραμμή (δεξιά). Τέταρτη σειρά: αρχική εικόνα IRS-1C PAN με 6μέτρα διακριτική ικανότητα (αριστερά), εξαγόμενη ακτογραμμή (δεξιά).

χαρτογράφηση των ακτογραμμών σε δορυφορικές εικόνες με βάση τεχνικές ομαλοποίησης και ανίχνευσης ακμών. Καθώς όμως, το αποτέλεσμα δεν είναι το επιθυμητό (ανιχνεύονται μη επιθυμητές ακμές στις περιοχές του εδάφους), με τη χρήση φιλτραρισμάτων Gabor ανάλυσης υφής, διαχωρίζονται οι ακμές που περιγράφουν τις ακτογραμμές από τις υπόλοιπες μη επιθυμητές. Για την συστηματοποίηση των αποτελεσμάτων απαιτείται η εφαρμογή του αλγορίθμου σε πολυάριθμες εικόνες και ο ορισμός των βέλτιστων παραμέτρων του (εύρος φιλτραρισμάτων ομαλοποίησης π.χ. σ γκαουσιανής και το ενεργό εύρος Gabor φίλτρων α και β) ανά τύπο δορυφορικής εικόνας (διακριτική ικανότητα).

Βιβλιογραφία

Dolan, R., Hayden, B.P., May, P., and May, S.K., 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach*, 48(4), pp.22–29.

Boak, E.H., Turner, I.L., 2005. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research* 21 (4), 688–703.

List, J.H. and Farris, A.S., 1999. Large-scale shoreline response to storms and fair weather. **Proceedings of the Coastal Sediments '99**, (Long Island, New York), pp. 1324–1337.

Turner Ian L., Whyte David, Ruessink B.G. and Ranasinghe Roshanka, 2007. Observations of rip spacing, persistence and mobility at a long, straight coastline, *Marine Geology*, Volume 236, Issues 3-4, pp.209-221.

Stephen A. and Yong Wang, 2003. Utilizing DEMs derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline, *Remote Sensing of Environment*, Volume 85, pp.39-47.

Dellepiane S., Laurentiis R. De and Giordano F., 2004. Coastline extraction from SAR images and a method for the evaluation of the coastline precision, *Pattern Recognition Letters*, Volume 25, Issue 13, pp.461-1470.

Mason, D.C., Davenport, I.J., 1996. Accurate and efficient determination of the shoreline in ERS-1 SAR images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 34 (5), pp.1243–1253.

Lee, J., Jurkevich, I., 1990. Coastline detection and tracing in SAR images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 28 (4), pp.662–668.

Kroon A., Davidson M.A., S.G.J. Aarninkhof, R. Archetti, C. Armaroli, M. Gonzalez, S. Medri, A. Osorio, T. Aagaard, R.A. Holman, et al., 2007. Application of remote sensing video systems to coastline management problems, *Coastal Engineering*, In Press.

Elder J.H. and Zucker S.W., 1998. Local Scale Control for Edge Detection and Blur Estimation, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. col.20, No. 7.

Karantzalos K., Argialas D., Georgopoulos A., 2002. Towards coastline detection from aerial imagery, *IEEE Proceedings International Conference of Digital Signal Processing*, vol. II, pp 875-880.

Daugman, J.G., 1985. Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimization by two-dimensional visual cortical filters. *Journal of the Optical Society of America* 2, pp.1160-1169.

Marr, D. and Hildreth, E., 1980. Theory of edge detection, *Proc. R. Soc. Lond. B*, Vol.207, pp.187-217.

Canny, J., 1986. A Computational Approach To Edge Detection, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.8, pp.679-714.

Beucher S. and Lantuejoul C., 1979. Use of watersheds in contour detection, *Int. workshop on image processing, real-time edge and motion detection*.

Vliet Van, Young IT, and Beckers ALD, 1989. A Non-linear Laplace Operator as Edge Detector in Noisy Images. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.45, pp.167-195.

Maragos Petros, 2002. *Computer Vision, Lecture Notes* (partly in greek), NTUA, Athens.

Lindeberg T., 1998. Edge Detection and Ridge Detection with Automatic Scale Selection, *International Journal of Computer Vision*, vol 30, number 2, pp.117-154.

Petrosino A. and Salvi G., 2006. Rough fuzzy set based scale space transforms and their use in image analysis, *International Journal of Approximate Reasoning*, Volume 41, Issue 2, pp.212-228.

ΑΝΤΙΚΕΙΜΟΝΣΤΡΑΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΙΚΟΝΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΗΜΙΑΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΚΗΣ ΕΛΑΤΗΣ (ΑΒΙΕΣ ΚΕΡΦΑΛΟΝΙΚΑ) ΣΤΟΝ ΕΘΝΙΚΟ ΔΡΥΜΟ ΠΑΡΝΗΘΑΣ

Κόκλα Φ.¹, Αργιαλάς Δ.¹, Κασσιός Κ.²

¹Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης,

²Εργαστήριο Γεωγραφίας και Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετάται η κατάσταση *stress* της Κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*), στις 20 μόνιμες δοκιμαστικές επιφάνειες του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας, του Ν. Αττικής. Η γενική εικόνα του ελατοδάσους δεν είναι καλή, είναι γεγονός όμως ότι η Κεφαλληνιακή ελάτη παρά την έντονη κακομεταχείρισή της κατά το παρελθόν, κατόρθωσε να διατηρηθεί επί αιώνες στην Πάρνηθα και να αναγεννάτε φυσικά. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το κλιματικό και εδαφικό περιβάλλον της Πάρνηθας δεν είναι πολύ κατάλληλο για την ανάπτυξη της (χαμηλό υψόμετρο, μεγάλη ξηρασία και υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι, φτωχά και αβαθή εδάφη), αποτελεί πλέον είδος μοναδικό, αναγκαίο και αναντικατάστατο για την περιοχή, που πρέπει να διατηρηθεί. Σκοπός της μελέτης είναι η πιλοτική διερεύνηση της κατάστασης *stress* των ελάτων του δρυμού ανά βαθμίδα προσβολής βάσει της οδηγίας της ΕΟΚ (Ε.Ο.Κ / 1984 "Διάγνωση και κατάσταση ζημιών στα δάση": έντονο *stress*: I, λιγότερο έντονο *stress*: II, ασθενές *stress*: III) χρησιμοποιώντας δύο περιβαλλοντικούς δείκτες, τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (*NDVI*) μέσω της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης της εικόνας, η οποία αποτελεί προχωρημένη μέθοδο τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με την *in situ* παρατήρηση και την μέτρηση του δείκτη φθορισμού (*fluorescence*) μέσω του φασματικού οργάνου *PEA* (*Plant Efficiency Analyser*). Ο συνδυασμός της τηλεπισκόπησης και της *in situ* παρατήρησης έδωσαν αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα ώστε να επεκταθεί πέραν του πιλοτικού σταδίου των ελάτων που παρουσιάζουν *stress* (έντονο *stress*: I, λιγότερο έντονο *stress*: II, ασθενές *stress*: III) σ' όλη την έκταση του ελατοδάσους ή σε παρόμοιο δασο-περιβάλλον, χρησιμοποιώντας αμφότερους τους περιβαλλοντικούς δείκτες, για την καλύτερη διαχείριση και προστασία του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας.

OBJECT ORIENTED IMAGE ANALYSIS OF IKONOS IMAGERY FOR MAPPING FIR (*ABIES CEPHALONICA*) NECROSIS IN THE NATIONAL PARK OF PARNITHA

Kokla F.¹, Argialas D.¹, Kassios K.²

¹Laboratory of Remote Sensing,

²Laboratory of Physical Geography and Environmental Impact

School of Rural and Surveying Engineering, National Technical University of Athens

Abstract

In this study, the condition of plant stress of specie *Abies cephalonica*, is examined based on 20 plots of the National Park of Parnitha, in the region of Attica. The fir forest of Parnitha in general, is not so healthy, due to the enormous illegal woodcutting in the past. Nevertheless it has managed to survive for hundred years and regenerates naturally. Although the climate and the terrestrial factors of the ecosystem of mountain Parnitha are

not suitable for the growth of fir forest (low elevation, long dry season with high temperatures during the summer, poor and shallow soil), the fir forest is a unique, essential and irreplaceable specie for the area of Parnitha, and it has to be preserved. The aim of this project was to investigate the plant stress to different levels by the directive of E.U. (EOK/1984 'Diagnosis and forest damage': high stress: I, medium stress: II, low stress: III) based on two environmental indexes: the normalized difference vegetation index (NDVI) using object oriented image analysis, of IKONOS images and the index of fluorescence using the PEA (Plant Efficiency Analyser) spectral instrument, combined with the in situ observation. Both the above methods provided satisfactory results. The pilot study can be extended to estimate the health of the whole fir forest (healthy trees, less weak trees, weak trees, not healthy trees) towards a better management and protection of the National Park of Parnitha.

Λέξεις κλειδιά: αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας, κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης, δείκτης φθορισμού.

Key words: object oriented image analysis, ndvi, fluorescence.

1.Εισαγωγή

Το ελατοδάσος της Πάρνηθας είναι μοναδικό για την περιοχή της Αττικής, καλύπτει συνολικά περίπου 35.000 στρ., ενώ ως προς την υγιεινή κατάστασή του πρόκειται για ένα γηραιό δάσος με πολλά προβλήματα, εξαιτίας της έντονης λαθρούλοτομίας, βοσκής στο παρελθόν, των πυρκαγιών καθώς και της επιδημίας της ξήρανσης της ελάτης. Τα δένδρα ελάτης που βρίσκονται σε κατάσταση stress, είναι άτομα καχεκτικά, άρρωστα, γερασμένα, παρουσιάζουν έντονο αποχρωματισμό βελόνων, καθώς και ένα ποσοστό αυτών είναι ξερά. Στην απογραφή του 1995 για τον προσδιορισμό της υγιεινής κατάστασης έγινε εφαρμογή στην ειδική έκδοση της οδηγίας Ε.Ο.Κ / 1984 "Διάγνωση και κατάσταση ζημιών στα δάση" που στηρίχθηκε στο βαθμό βελονόπτωσης και αποχρωματισμού τους (Αμοργιανιώτης 1996).

Την δεκαετία του '30 τα ξηρά έλατα (Χρυσανθακόπουλος,1930) υπολογίζονται να είναι περίπου 10.000/ έτος, όπως και τα έτη 1947, 1950, 1957 η επιδημία αναφέρεται από τους δασολόγους Ισαακίδη, Μακρή και Γραικιώτη (Αμοργιανιώτης 1997), ενώ το έτος 1961 η ξήρανση δεν ήταν έντονη (Μακρής, 1961). Εντούτοις η επιδημία συνεχίζεται με αμείωτο ρυθμό μέχρι σήμερα (Αμοργιανιώτης, 1997). Η πρωτογενής αιτία της επιδημίας, είναι η χειρίστη κατάσταση του δάσους και οι ακραίες για την ελάτη κλιματοεδαφικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή (Καϊλίδης και Γεώργεβιτς, 1968), δεδομένου ότι η ελάτη στην Πάρνηθα βρίσκεται στα νότια ξηροθερμικά όρια εξαπλώσεώς της (Αμοργιανιώτης, 1997). Ωστόσο, η αλληλεπίδραση βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων, οδηγούν στη νέκρωση των δένδρων (Τσόπελας, 2002), παράγοντες οι οποίοι μπορούν να δράσουν ως περιβαλλοντικοί δείκτες για την εκτίμηση της φυτοϋγειονομικής κατάστασης ενός περιβάλλοντος.

Οι μέχρι τώρα σχετικές έρευνες για τη ξήρανση της ελάτης στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας, βασίζονται σε κλασσικές μεθόδους της επιστήμης της δασολογίας, δηλαδή σε επίγειους ελέγχους, μετρήσεις ογκομετρικών στοιχείων, λήψη δειγμάτων όπως βελόνες, δείγμα φλοιού, παχυμετρήσει, κ.α. Η αναδειχθείσα πρόσφατα μέθοδος της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση πυκνότητας του αστικού πρασίνου (Αργιαλάς – Δερζέκος, 2002) και στην αξιολόγηση της ποιότητας του τοπίου (Αργιαλάς – Δερζέκος, 2003) Η παρούσα έρευνα στηρίζεται σε σύγχρονες μεθόδους παρατήρησης και αποτύπωσης της γης, συνδυάζοντας με τον τρόπο αυτό την μακροσκοπική έρευνα (τηλεπισκόπηση) με την in situ παρατήρηση, ενώ ακόμη παρόμοια έρευνα δεν έχει μέχρι στιγμής λάβει χώρα στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας, στο σύνολο της επικράτειας.

Σκοπός αυτής της μελέτης είναι η πιλοτική διερεύνηση της κατάστασης stress των ελάτων του δρυμού ανά βαθμίδα προσβολής βάσει της οδηγίας της ΕΟΚ (Ε.Ο.Κ / 1984 "Διάγνωση και κατάσταση ζημιών στα δάση": έντονο stress: I, λιγότερο έντονο stress: II, ασθενές stress: III) χρησιμοποιώντας δύο περιβαλλοντικούς δείκτες, τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης

(NDVI) μέσω της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης της εικόνας σε συνδυασμό με την *in situ* παρατήρηση και την μέτρηση του δείκτη φθορισμού (fluorescence) μέσω του φασματικού οργάνου PEA (Plant Efficiency Analyser).

2. Μεθοδολογία

Αρχικά εντοπίστηκαν οι είκοσι (20) μόνιμες δοκιμαστικές επιφάνειες στο χώρο, οι οποίες είχαν χρησιμοποιηθεί σε παλαιότερη έρευνα (Τσόπελας, 2000), με σκοπό τη λήψη των δένδρων ελάτης σε κατάσταση stress με τη βοήθεια του ψηφιακού τοπογραφικού οργάνου GPS (GS50). Οι μόνιμες επιφάνειες βρίσκονται σ' όλη την έκταση διάπλασης του ελατοδάσους, είναι κυκλικής διατομής, η καθεμία έχει έκταση ίση με 1 στρέμμα και φέρει ένα μονοσήμαντο αριθμό (π.χ. 11) για την διάκρισή της από τις υπόλοιπες επιφάνειες. Η έκθεση τους ποικίλει (Βόρεια - Νότια - Ανατολική - Δυτική - ΝΑ-ΝΔ), όπως και η κλίση (μέτριες - πολύ υψηλές), ενώ κάθε επιφάνεια φέρει άτομα ελάτης ασθενή ή νεκρά (δένδρα προσβεβλημένα από χιονοθλασσίες ή χιονοριψιές ή ανεμοριψιές, δένδρα προσβεβλημένα από το παράσιτο *Viscum album*, κ.α). Με το GPS ελήφθησαν τα κέντρα των επιφανειών καθώς και τα πιο χαρακτηριστικά δένδρα ελάτης που βρίσκονται σε κατάσταση stress (I,II,III).

Στη συνέχεια έλαβε χώρα η μακροσκοπική παρατήρηση της κατάστασης stress των δένδρων ελάτης μέσω της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης της εικόνας χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες Ikonos (έτος 2004), ανάλυσης 1μ, με τη βοήθεια του λογισμικού eCognition. Για τη σωστή παρατήρηση του φαινομένου πρωτίστως έγινε γεωμετρική διόρθωση των εικόνων με την βοήθεια του λογισμικού προγράμματος ER-Mapper 6.4, όπου για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους 1:20.000, καθώς και 52 επίγεια σημεία ελέγχου GCP' s (Ground Control Points), τα οποία αναφέρονταν στα ζεύγη συντεταγμένων των κέντρων των δοκιμαστικών επιφανειών και των δένδρων ελάτης σε κατάσταση stress που είχαν ληφθεί με το GPS. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε το έγχρωμο σύνθετο RGB:432 ώστε να τονιστεί η βλάστηση, όπου κατόπιν φωτοερμηνείας επιλέχθηκαν οι ακόλουθες κατηγορίες (Σχήμα 1): 1. Blastisi no stress, 2. Blastisi stress I, 3. Blastisi stress II, 4. Blastisi stress III, 5. Gaiodi, 6. Skia



Σχήμα 1. Έγχρωμο σύνθετο RGB:432 τμήματος δορυφορικής IKONOS όπου σημαίνονται ενδεικτικά οι κατηγορίες ταξινόμησης: 1. Gaiodi, 2. Blastisi no stress, 3. Blastisi stress I, 4. Blastisi stress II, 5. Blastisi stress III, 6. Skia.

Η ανάλυσή της εικόνας Ikonos περιέλαβε ένα επίπεδο (Level 1) κατάτμησης (Segmentation). Για τον προσδιορισμό των βαρών των κριτηρίων κατάτμησης (φασματικό και σχήματος), ελήφθη υπόψη ότι η βλάστηση εμφανίζεται σε συγκεντρώσεις συμπαγείς, που διαφοροποιούνται φασματικά έντονα από τα ελάχιστα δομικά στοιχεία του χώρου (δρόμοι). Από τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν, τα βέλτιστα αποτελέσματα απέδωσε ο συνδυασμός: φασματικό κριτήριο 0,8 και κριτήριο σχήματος 0,2. Το τελευταίο, μοιράστηκε με κατά 0,9 στο λείο της οριογραμμής και κατά 0,1 στο συμπαγές των τμημάτων. Με τη μεγάλη τιμή που δόθηκε στο φασματικό κριτήριο και στο λείο της οριογραμμής εξασφαλίστηκε να εντοπιστούν με ακρίβεια οι συγκεντρώσεις πρασίνου, ενώ ακόμη βοήθησε στο διαχωρισμό

τους με άλλες φασματικά παρόμοιες κατηγορίες, όπως είναι η βλάστηση stress II, η βλάστηση stress I, κ.α. Στα κανάλια (4,3,2) δόθηκε η ίδια τιμή βάρους (=1), ώστε να γίνει πιο έντονη η διάκριση της βλάστησης. Η τιμή της παραμέτρου της κλίμακας επιλέχθηκε μικρή 4, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν πάρα πολλά μικρά και συμπαγή αντικείμενα, τα οποία διευκόλυναν τον εντοπισμό των συγκεντρώσεων του πρασίνου και της σκιασμένης βλάστησης.



(α)



(β)

Σχήμα 2. (α) Τμήμα εικόνας IKONOS σ' έγχρωμο σύνθετο RGB:432 μετά την κατάτμηση, όπου σημαίνονται τα όρια των νέων τμημάτων με μπλε χρώμα και (β) η αρχική εικόνα για αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της κατάτμησης. Στο τμήμα της εικόνας (β) σημαίνεται η υγιής βλάστηση με κόκκινο χρώμα, σε σχέση με την βλάστηση σε κατάσταση stress I, II, III που σημαίνεται με πράσινο, αχνό κόκκινο, καφέ χρώμα αντίστοιχα.

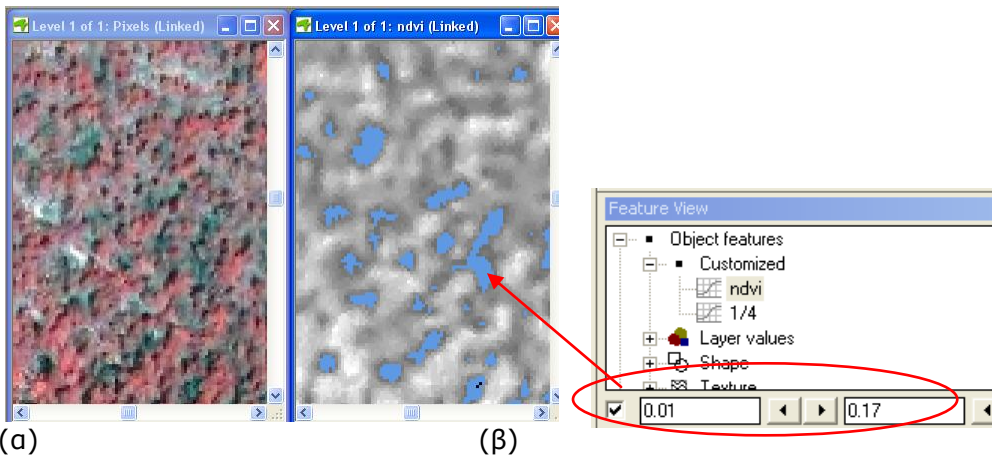
Το επόμενο στάδιο αποτελεί η ταξινόμηση βάσει της μεθόδου της εγγύτερης γειτνίασης με χρήση του φασματικού κριτηρίου του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI)(1),

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

με τη βοήθεια της συνάρτησης ασαφούς συμμετοχής, τραπεζοειδούς μορφής, καθώς και τον λόγο $\frac{1}{4}$ για την κατηγορία gaidodi, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση της ασαφούς λογικής, τραπεζοειδούς μορφής. Οι λόγοι των καναλιών που δημιουργήθηκαν είναι ενισχύσεις προκύπτουσες από τη διαίρεση των ψηφιακών τιμών σ' ένα φασματικό κανάλι, με τις αντίστοιχες τιμές σ' ένα άλλο κανάλι, έχοντας ως βασικό πλεονέκτημα την ανάδειξη των φασματικών χαρακτηριστικών των διαφόρων στοιχείων της εικόνας, ανεξαρτήτως της έκτασης, των συνθηκών φωτισμού της περιοχής κατόπτευσης (Αργιαλάς, 1998). Συγκεκριμένα ως προς τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (NDVI) ο λόγος του εγγύς υπέρυθρου προς το κόκκινο για την υγιή βλάστηση είναι συνήθως πολύ υψηλός, σε σχέση με την βλάστηση η οποία βρίσκεται υπό κάμψη, είναι τυπικά χαμηλότερος, καθώς η υπέρυθρη ανακλαστικότητα μειώνεται, ενώ η κόκκινη ανακλαστικότητα αυξάνεται (Αργιαλάς, 1998). Ο δείκτης αυτός θεωρείται απαραίτητος για την παρούσα διερεύνηση της διάκρισης των υγιών και μη ατόμων κεφαλληνιακής ελάτης στην περιοχή μελέτης. Ας σημειωθεί ότι οι τιμές των εικονοστοιχείων (pixel) που παρουσιάζει ο δείκτης NDVI είναι μεταξύ του -1 έως +1, ενώ οι περιοχές που δεν φέρουν ίχνος βλάστησης δίνουν αρνητική τιμή ή τιμή που αγγίζει την τιμή μηδέν (0). Έτσι, μία αρνητική τιμή ή μία τιμή που αγγίζει το 0, σημαίνει ότι δεν υπάρχει βλάστηση, ενώ μία τιμή που αγγίζει το +1 (0,7-1) αντιπροσωπεύει την καλύτερη κατάσταση υγείας του φυτού (Fortheringham; 1992, Mukherjee and Dhiraj, 2005; Solberg, 2005). Η επιλογή του λόγου καναλιών $\frac{1}{4}$ προέκυψε διότι δεδομένου ότι το κανάλι 1 (μπλε) είναι χρήσιμο για εφαρμογές

όπως η διάκριση ανθρωπογενών κατασκευών, κ.α., ενώ το κανάλι 4 (εγγύς υπέρυθρο) θεωρείται κατάλληλο για τον προσδιορισμό ειδών βλάστησης, προσδιορισμό βιομάζας, κ.α. (Ρόκος, 2004), ο λόγός τους δε, είναι ικανός για τη διάκριση γεωλογικών χαρακτηριστικών, π.χ. ασβεστόλιθος.

Η τελική επιλογή των ορίων των ασαφών συναρτήσεων που αντιστοιχούν στις ιδιότητες ndvi και το λόγο $\frac{1}{4}$, ήταν αποτέλεσμα μίας διαδικασίας αλληπάλληλων δοκιμών, που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια φωτοερμηνείας των απεικονίσεων των τιμών του γκρι αυτών των δύο μεταβλητών όπως παραδειγματικά φαίνεται στο Σχήμα 3. Τα τελικά όρια που επιλέχθηκαν για τον ndvi είναι stress I: 0,01-0,17, stress II: 0,17-0,27, stress III: 0,27-0,36, no stress: 0,36-0,8, skia: -0,3-0,01 και για τον $\frac{1}{4}$ είναι από 0,6 έως 1,1.

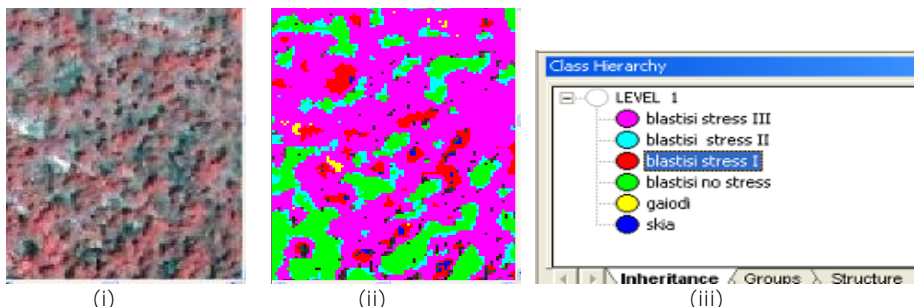


(α)

(β)

Σχήμα 3. Τμήμα εικόνας IKONOS όπου σημαίνεται με γαλάζιο χρώμα η κατηγορία βλάστηση stress I (α) και τα όρια των τιμών του δείκτη ndvi της κατηγορίας αυτής (β)

Εν συνεχεία έγινε η ταξινόμηση βάσει της μεθόδου της εγγύτερης γειτνίασης (standard nearest neighbor) ως προς τις μέσες φασματικές τιμές στα τρία κανάλια, όπου διακρίθηκαν τα εξής: δένδρα που δεν παρουσιάζουν stress (NDVI: 0,36- 0,8), δένδρα που έχουν ασθενές stress III (NDVI: 0,27-0,36), δένδρα που έχουν αρκετό stress II (NDVI: 0,17-0,27), σε δένδρα που παρουσιάζουν έντονο stress I (NDVI: 0,01-0,17), ενώ για τον καλύτερο διαχωρισμό τους από τα υγιή δένδρα ελάτης (no stress) διακρίθηκαν και δένδρα που είναι σκιασμένα (skia: NDVI: -0,3-0,01), καθώς και μία επιπλέον κατηγορία: τα γαιώδη υλικά (gaiodi) (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. (i) Τμήμα της εικόνας μετά την κατάτμηση, (ii) Η ταξινόμησή της, (iii) Το υπόμνημά της

Από τις 20 δοκιμαστικές επιφάνειες επιλέχθηκαν μόνο 4 δοκιμαστικές επιφάνειες με τα εξής τοπογραφικά χαρακτηριστικά: επικρατούσες κλίσεις ήπιες (10% - 20%) ή μέτριες (>20% & <45%), έκθεση νότια, νοτιοανατολική, νοτιοδυτική, με σκοπό τη λήψη δειγμάτων βελόνων ελάτης για τη μέτρηση του δείκτη φθορισμού (fluorescence: Fv/Fm)¹ που παρουσιάζουν τα δένδρα ελάτης στις διάφορες καταστάσεις stress (I, II, III). Η επιλογή των δοκιμαστικών επιφανειών στηρίχθηκε σ' αποτελέσματα προηγούμενης έρευνας βάσει της οποίας η ελάτη που βρίσκεται στα όρια εξάπλωσής της και δεν έχει ανατολική ή βόρεια έκθεση είναι περισσότερο μη υγιής σε σχέση με την ελάτη που φύεται σε βορεινές, ανατολικές θέσεις, μ' έντονες κλίσεις (Αμοργιανιώτης, 1996). Τα δείγματα των βελόνων μετρήθηκαν με το φασματικό όργανο PEA (Plant Efficiency Analyser), υπό εργαστηριακές συνθήκες και τα όρια των μετρήσεων του δείκτη φθορισμού (Fv/Fm) για τις τρεις κατηγορίες stress (I, II, III) της ελάτης είναι τα εξής (Πίνακας 1):

Πίνακας 1. Αποτελέσματα μέτρησης δείκτη φθορισμού στις καταστάσεις stress (I,II, III) της ελάτης

Βαθμίδα stress	Τιμή (Fv/Fm)
Stress I	0,067 - 0,5
Stress II	0,617 - 0,793
Stress III	0,809 - 0,843

Στη συνέχεια διερευνήθηκε ο βαθμός συσχέτισης του δείκτη φθορισμού με τους δύο προαναφερθέντες αβιοτικούς παράγοντες του περιβάλλοντος βάσει της εξίσωσης μετασχηματισμού Fischer (1)

$$z = (1/2) * [\ln(1+x)/(1-x)] \quad (1)$$

όπου z: Fv/Fm, χ: έκθεση ή χ: κλίση

3. Αποτελέσματα

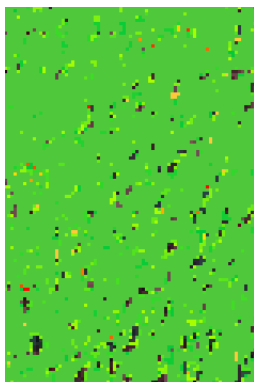
Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης ήταν άκρως ικανοποιητικά σ' όλες τις δοκιμαστικές επιφάνειες, όπως φαίνεται και από τον δείκτη σταθερότητας της ταξινόμησης (Classification Stability) στην παρακάτω γραφική προβολή (Σχήμα 5). Η σταθερότητα της ταξινόμησης αποδίδει για κάθε αντικείμενο εικόνας μία τιμή, από σκούρο πράσινο (1,0, μη-ασαφή) μέχρι κόκκινο (0,0, απολύτως ασαφή). Ακόμη, η σταθερότητα της ταξινόμησης που παρουσιάζει μία δοκιμαστική επιφάνεια φαίνεται στον Σχήμα 6, όπου σημειώνονται η μέγιστη και ελάχιστη τιμή που λαμβάνει κάθε κατηγορία, η τιμή της μέγιστης απόκλισης (stdD), η μέση τιμή των εικονοστοιχείων (Mean), το πλήθος των αντικειμένων που ταξινομήθηκαν στις οριζόμενες κατηγορίες (Objects) (Σχήμα 7).

Βάσει του ανωτέρω Πίνακα 1 τα άτομα ελάτης που ανήκουν στην κατηγορία stressI παρουσιάζουν χαμηλότερη τιμή του λόγου (Fv/Fm) σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες stress II & stress III, τα άτομα που ανήκουν στην κατηγορία stress II έχουν μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με την κατηγορία stressI, ενώ τα άτομα ελάτης που ανήκουν στην τελευταία κατηγορία stress III παρουσιάζουν ακόμη μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες. Όσο η τιμή του λόγου (Fv/Fm) τείνει προς την τιμή μηδέν (0), τόσο πιο έντονη είναι η κατάσταση stress στην οποία βρίσκονται τα φυτά, ενώ όσο η τιμή τείνει στη μονάδα τα φυτά είναι πιο υγιή (Zarco and Apostol, 2002).

Εν συνεχεία από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης του δείκτη φθορισμού ως προς την έκθεση και κλίση προέκυψε ότι ο δείκτης φθορισμού παρουσιάζει έντονη

¹Ο λόγος Fv/ Fm (Fv= (Fm - Fo), Fo: αρχική τιμή φθορισμού, Fm: μέγιστη τιμή φθορισμού) αναλογεί στην απόδοση του κβάντουμ στην φωτοχημεία (Butler and Kitajima, 1975), και παρουσιάζει μεγάλο βαθμό συσχέτισης μεταξύ του κβάντουμ και της καθαρής φωτοσύνθεσης των άθικτων φύλλων (Bjorkman and Demmig, 1987).

διακύμανση στις 4 επιλεγμένες δοκιμαστικές επιφάνειες, δίνοντας ακρίβεια αποτελεσμάτων κατά 95%, - συγκεκριμένα τα δένδρα ελάτης των νοτίων εκθέσεων παρουσιάζουν έντονη κατάσταση stress I σε σχέση μ' αυτά των νοτιοδυτικών και νοτιοανατολικών εκθέσεων και τα οποία με τη σειρά τους παρουσιάζουν από έντονο έως λιγότερο έντονο stress (II, III) -, καθώς και ότι υπάρχει σημαντική στατιστική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο κατηγοριών κλίσεων (ήπιες, μέτριες), με όριο σφάλματος 0,5 και συγκεκριμένα τα άτομα ελάτης που φύονται σε μέτριες κλίσεις παρουσιάζουν εντονότερο stress I σε σχέση με εκείνα που φύονται σε ήπιες κλίσεις (stress II, III).



Σχήμα 5. Η σταθερότητα ταξινόμησης του τμήματος της εικόνας του σχήματος 4

Classification Stability					
Class	Objects	Mean	Std...	Minimum	Ma...
blastisi kali	16918	0.747	0.191	0.1	1
nekra atoma	27687	0.66	0.284	0.000231	1
blastisi asthenis	106506	0.822	0.218	0.000725	1
blastisi ligotero asthenis	11492	0.667	0.29	0.1	1
skia	4464	0.562	0.313	3.88e-005	0.995
gaiodi	10072	0.621	0.291	3.08e-005	1

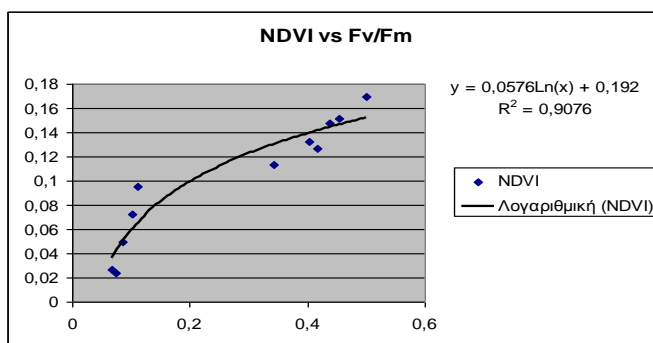
Σχήμα 6. Σταθερότητα ταξινόμησης του τμήματος της εικόνας του σχήματος 4

Ακόμη ερευνήθηκε η σχέση μεταξύ των δύο περιβαλλοντικών δεικτών (ndvi, fluorescence), η οποία εκφράστηκε για τις τρεις καταστάσεις stress μέσω λογαριθμικών εξισώσεων, οι οποίες βρέθηκαν να είναι πολύ ικανοποιητικές ($R^2=0,90$) (Σχήμα 7, 8, 9).

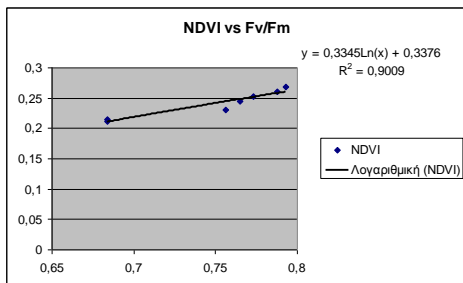
Κατάσταση **stress I**: $y = 0.0576\ln(x) + 0.192$

Κατάσταση **stress II**: $y = 0.3345\ln(x) + 0.3376$

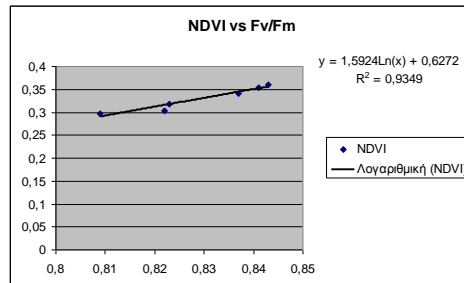
Κατάσταση **stress III**: $y = 1.5924\ln(x) + 0.6272$



Σχήμα 7. Γραφική παράσταση σχέσης μεταξύ δεικτών ndvi - fluorescence κατάστασης stress I



Σχήμα 8. Γραφική παράσταση σχέσης μεταξύ δεικτών ndvi - fluorescence κατάστασης stress II



Σχήμα 9. Γραφική παράσταση σχέσης μεταξύ δεικτών ndvi - fluorescence κατάστασης stress III

4. Συμπεράσματα

Οι μέχρι τώρα σχετικές έρευνες για τη ξήρανση της ελάτης στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας, βασίζονται σε κλασικούς μεθόδους της επιστήμης της δασολογίας, δηλαδή σε επίγειους ελέγχους, μετρήσεις ογκομετρικών στοιχείων, λήψη δειγμάτων όπως βελόνες, δείγμα φλοιού, παχυμετρηση, κ.α. Η παρούσα έρευνα στηρίζεται σε σύγχρονες μεθόδους παρατήρησης και αποτύπωσης της γης, συνδυάζοντας με τον τρόπο αυτό την μακροσκοπική έρευνα (τηλεπισκόπηση) με την in situ παρατήρηση, ενώ ακόμη παρόμοια έρευνα δεν έχει μέχρι στιγμής λάβει χώρα στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας, στο σύνολο της επικράτειας.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πράγματι ότι σε πολύ μεγάλο βαθμό δύναται να χρησιμοποιηθεί ο συνδυασμός των δύο περιβαλλοντικών δεικτών: κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (ndvi) και του δείκτη φθορισμού (fluorescence) για την εκτίμηση της φυτοϋγειονομικής κατάστασης του ελατοδάσους και κατά προέκταση ενός δασικού περιβάλλοντος, με σκοπό την καλύτερη διαχείριση και προστασία του. Μελλοντικά προτείνεται η μελέτη του Κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (ndvi) με την μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης τονίζοντας τα κριτήρια του σχήματος και όχι τόσο τα φασματικά κριτήρια, ενώ ακόμη προτείνεται η μελέτη του δείκτη φθορισμού (Fv/Fm) σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος.

Βιβλιογραφία

- Αργιαλάς Δ., 1998: Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση, Αθήνα, 112 - 114.
- Αμοργιανιώτης Γ., 1996: Έρευνα της Δομής και της Εξέλιξης του Ελατοδάσους Πάρνηθας, Αθήνα, 10-15.
- Αμοργιανιώτης Γ., 1997: Διαχειριστικό Σχέδιο Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας, Αθήνα, 240-258
- Καϊλίδης Δ. και Γεώργεβιτς Ρ., 1968: Επιδημία φλοιοφάγων εντόμων επί της ελάτης της Πάρνηθας, Αθήνα, 28-45.
- Μακρής Κ., 1962: Διαχειριστική Μελέτη Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας, Αθήνα, 62-65.
- Ρόκος Δ., 2004: Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Τηλεπισκόπησης - Δ.Π.Μ.Σ. 'Περιβάλλον & Ανάπτυξη', Αθήνα.

Τσόπελας Π., 2003: Δασική Πολιτική – Πρεμνοφυή Δάση – Προστασία Φυσικού Περιβάλλοντος, 11ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, Αρχαία Ολυμπία, 30 Σεπτεμβρίου 2003.

Butler and Kitajima, 1975: A tripartite model for chloroplast fluorescence. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, August 1977, 8, 3382-3385.

Bjorkman and Demmig, 1987: 'Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77k among vascular plants of diverse origin, Plant, Cell & Environment, 6, 703-707.

Fortheringham S., Charlton, M., Brunsdon, Ch., 1992: Measuring spatial variations in relationships

with geographically weighted regression. In Fischer M., Getis A. (ed.): Recent Developments

in Spatial Analysis. Spatial Statistic, Spatial Statistics, Behavioural Modelling and Computational Intelligence. Springer-Verlag Berlin,. 60-82.

Mukherjee Arka Prava & Dhiraj Mohan, 2005: NDVI Analysis: Use of Vegetation Health as a Groundwater Indicator. Cuddapah District in Andhra Pradesh, India.

Solberg S., Naesset E., Lange H., Bollands O.M., 2005: Remote Sensing of Forest Health. Proceedings of SNS meeting in forest pathology, Norway, September 2005..

Zarco-Tejada, Haboudane D., Tremblay N., Apostol S., 2002: Detection of Chlorophyll Fluorescence in Vegetatio from Airborne Hyperspectral CASI Imagery in the Red Edge Spectral Region. Geoscience and Remote Sensing Symposium, Romania 21-25 July 2003..

Αργιαλάς Δ., Δερζέκος Π., 2002. Χαρτογράφηση Αστικού Πρασίνου από Δεδομένα Ικονος με Αντικειμενοστραφή Βάση Γνώσης και Ασαφή Λογική. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, ΑΠΘ Θεσσαλονίκη, 3-6 Οκτωβρίου 2002, σελ. 39-46.

Argialas D. and P. Derzekos (2003). "Mapping Urban Green from IKONOS Data by an Object-Oriented Knowledge-base and Fuzzy Logic", in Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology II. M. Ehlers (Editor) Proceedings of SPIE International Conference on Remote Sensing, Vol. 4886 (2003), 23-26 September 2002, Agia Pelagia, Crete, pp. 96-106.

ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΠΙΟΥ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Κωτσόπουλος Κ.¹, Αργιαλάς Δ.¹, Κασσιός Κ.²

¹Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης,

²Εργαστήριο Φυσικής Γεωγραφίας και Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχ., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ζωγράφου 15780

Περίληψη

Στην περιβαλλοντική ανάλυση τοπίου έχουν δημιουργηθεί εμπειρικοί δείκτες ερμηνείας τοπίου, οι οποίοι αξιολογούνται ποιοτικά από τους έμπειρους μέσω επίγειων φωτογραφιών. Η συγκεκριμένη έρευνα μελέτησε τις ψηφιακές τεχνικές ανάλυσης εικόνας με τις οποίες, θα μπορούσαν να αναγνωριστούν τα φυσικά αντικείμενα ενός εξωτερικού περιβάλλοντος από ψηφιακές επίγειες φωτογραφίες και μέσα από τα φυσικά αντικείμενα, να εξαχθούν αυτόματα περιβαλλοντικοί δείκτες. Για την εφαρμογή των τεχνικών ανάλυσης εικόνας επιλέχθηκε η αντικειμενοστραφής ανάλυση και προγραμματίστηκε μέσα στο λογισμικό eCognition. Οι τιμές των περιβαλλοντικών δεικτών που εξήχθησαν σε συγκεκριμένες φωτογραφίες από την έρευνα έχουν μεγάλη ταυτοποίηση με τις τιμές που έδωσαν σε αυτές οι έμπειροι.

OBJECT ORIENTED ANALYSIS OF DIGITAL PHOTOGRAPHS FOR QUANTITATIVE ANALYSIS OF LANDSCAPE CHARACTERISTICS

Kotsopoulos K.¹, Argialas D.¹, Cassios K.²

¹Remote Sensing Laboratory

²Laboratory of Physical Geography and Environmental Impact, School of Rural and Surveying Engineering, National Technical University of Athens, Zografou 15780

Abstract

In the environmental image analysis of Landscape, empirical indicators have been developed. These indicators are being evaluated qualitatively by experts from ground photos. This research studied the digital image analysis techniques and specifically those which could be used to recognize the natural objects of the environment from digital photos and through the classified natural objects to automatically extract environmental indicators. For the application of the digital image analysis techniques, an object oriented image analysis methodology was developed and was programmed in eCognition. The values of the environmental indicators which were quantified in the present research, they have matched the values provided by landscape evaluation experts.

Λέξεις κλειδιά: Ανάλυση τοπίου, δείκτες αξιολόγησης τοπίου, φωτοερμηνεία, επίγειες φωτογραφίες, eCognition.

Key words: Image interpretation, landscape indicators, ground photos, eCognition.

1. Εισαγωγή - Ανασκόπηση Πεδίου

Το τοπίο σαν όρος εστιάζεται πάνω στις οπτικές ιδιότητες ή χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος. Περιέχει δηλαδή όλα τα χαρακτηριστικά, ανθρωπογενή, φυσικά, βιολογικά τα οποία έχουν οπτική οντότητα (Κασσιός 1989)). Η ποιότητα του τοπίου μπορούμε να ισχυριστούμε ότι εξάγεται από την άθροιση οικολογικών, πολιτισμικών και ψυχολογικών παραγόντων.

Το τοπίο οφείλουμε να το αναγνωρίσουμε σαν ένα φυσικό πόρο και επομένως σαν μία μεταβλητή που πρέπει να εξεταστεί σε αποφάσεις που σχετίζονται με την διαχείριση της γης. (Dearden 1985). Όταν κάποιος αξιοποιεί τοπία οφείλει να χρησιμοποιεί μία διεπιστημονική προσέγγιση και να επικοινωνεί με άλλους αξιολογητές (Appleton 1975).

Για την αξιολόγηση της ποιότητας του τοπίου είναι αναγκαία η δημιουργία κάποιων μοντέλων αξιολόγησης. Μέσα στα μοντέλα αυτά αξιολόγησης δημιουργούνται κάποιοι περιβαλλοντικοί δείκτες που σκοπεύουν να προσδώσουν μία αριθμητική διαβάθμιση στα διάφορα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τοπίου. Μία δομημένη συστηματική διαδικασία από αποτίμηση τοπίου, ταξινόμηση, ανάλυση και αξιολόγηση, θα προσφέρει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο μέσα στο οποίο απόψεις πάνω στην διαχείριση των χρήσεων γης μπορούν να συζητηθούν (Cooper and Murray 1992). Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στην ανάπτυξη μεθόδων ποσοτικών εκτιμήσεων για επεμβάσεις στο τοπίο είναι η μέτρηση της συνεισφοράς συγκεκριμένων στοιχείων του τοπίου σε σχέση με το όλο τοπίο (Buhoff and Riesenmann 1979).

Ένα τμήμα του τοπίου, το αστικό πράσινο, έχει διερευνηθεί μέσα από την χρήση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης δεδομένων Ikonos (Δερζέκος και Αργιαλάς 2002). Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης έρευνας καταδεικνύεται πως ο εντοπισμός και ο ποσοτικός προσδιορισμός του αστικού πρασίνου μπορεί να επιτευχθεί με μεγάλη ακρίβεια, εξαιτίας του ότι η ταξινόμηση δεν γίνεται σε επίπεδο εικονοστοιχείου, αλλά χρησιμοποιούνται χωρικά μαζί με τα φασματικά χαρακτηριστικά ώστε να επιφέρει μία θεματική και όχι μόνο φασματική ταξινόμηση.

Αρχικός στόχος της συγκεκριμένης εργασίας ήταν η αυτόματη ποσοτικοποίηση συγκεκριμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών του τοπίου μέσα από μία επίγεια ψηφιακή φωτογραφία και στην συνέχεια μέσα από τις τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών να οδηγήσει στην κατηγοριοποίηση του τοπίου. Εξαιτίας του ότι η επιλογή των αναγκαίων ποιοτικών χαρακτηριστικών του τοπίου για την κατηγοριοποίηση του τοπίου δέχεται επιμέρους διερευνήσεις, επιλέχθηκαν δέκα βασικοί δείκτες που καλύπτουν ένα ικανοποιητικό φάσμα χαρακτηριστικών του τοπίου. Η ποσοτικοποίηση των δέκα ποιοτικών δεικτών του τοπίου παρουσίασε πολλές δυσκολίες. Από τους δέκα περιβαλλοντικούς δείκτες έγινε με ικανοποιητικά αποτελέσματα η ποσοτικοποίηση σε πέντε από αυτούς, συν των περιβαλλοντικών δεικτών της εποχής, που μπορεί εύκολα να εξαχθεί μέσα από την ημερομηνία, που πάρθηκε η φωτογραφία. Οι πέντε δείκτες που ποσοτικοποιήθηκαν με επιτυχία ήταν οι δείκτες: **‘Φυσικότητα Τοπίου’**, **‘Σχετική Θέση Παρατήρησης’**, **‘Έδαφοκάλυψη με Βλάστηση’**, **‘Είδος Βλάστησης’** και **‘Παρουσία Νερού’**. Αναλυτικά οι πέντε δείκτες, εκ των δέκα, που ποσοτικοποιήθηκαν με επιτυχία περιγράφονται παρακάτω (Mougiakakou et al. 2005).

Ο **Δείκτης φυσικότητας τοπίου N(2.1)** αναφέρεται στην διάκριση μεταξύ αστικού και φυσικού τοπίου. Ανάλογα με την παρουσία ή όχι ανθρωπογενών στοιχείων ο δείκτης παίρνει τιμές από 1 έως 3. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

- **Αστικό Τοπίο - N=1:** Την τιμή N=1 παίρνει ένα τοπίο άμα υπάρχουν μόνο ανθρωπογενή στοιχεία, δηλαδή καθόλου φυσικά στοιχεία. Τέτοιες περιπτώσεις έχουμε συνήθως όταν το τοπίο περιέχει μόνο κτίρια, δρόμους κ.ά.
- **Μικτό Τοπίο - N=2:** Την τιμή N=2 παίρνει ένα τοπίο άμα υπάρχουν και ανθρωπογενή στοιχεία, αλλά και φυσικά στοιχεία. Τέτοιες περιπτώσεις έχουμε όταν μέσα στο φυσικό τοπίο υπάρχουν πυρήνες από ανθρωπογενή στοιχεία, όπως για παράδειγμα ένα χωριό πάνω σε μία βουνοπλαγιά.
- **Φυσικό Τοπίο - N=3:** Την τιμή N=3 παίρνει ένα τοπίο όταν υπάρχουν μόνο φυσικά στοιχεία, δηλαδή καθόλου ανθρωπογενή στοιχεία. Τέτοιες περιπτώσεις έχουμε συνήθως όταν το τοπίο περιέχει δάση, χέρσες περιοχές, θάλασσα κ.ά.

Ο **δείκτης θέσης παρατήρησης** που προσδιορίζει την σχετική υψομετρική θέση που έχει

ο παρατηρητής ως προς τα αντικείμενα που παρατηρεί. Ο δείκτης αυτός είναι ένας πολύ σημαντικός δείκτης, εξαιτίας του ότι από την θέση παρατήρησης μπορούμε να αντιληφθούμε το μέγεθος των αντικειμένων παρατήρησης. Οι τιμές που σχεδιάστηκε να παίρνει ο δείκτης είναι από 1 έως 3 και αναλύονται παρακάτω.

- **Κατώτερη Θέση Παρατήρησης - P=3:** Ο παρατηρητής βρίσκεται σε χαμηλότερο επίπεδο από τα αντικείμενα παρατήρησης.
- **Ίση Θέση Παρατήρησης - P=2:** Ο παρατηρητής βρίσκεται σε περίπου το ίδιο ύψος με τα αντικείμενα παρατήρησης.
- **Ανώτερη Θέση Παρατήρησης - P=1:** Ο παρατηρητής βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο από τα αντικείμενα παρατήρησης.

Ο **δείκτης Εδαφοκάλυψης με Βλάστηση FC(2.6)** αποτελεί μία ποσοτική εκτίμηση της εδαφοκάλυψης με βλάστηση στο απεικονιζόμενο τοπίο, και παίρνει τιμές από 1 έως 3.

- **Λίγη Βλάστηση - FC=1:** Γυμνό έδαφος με καθόλου ή λίγη βλάστηση.
- **Μέτρια Βλάστηση - FC=2:** Το ήμισυ περίπου του απεικονιζόμενου τοπίου καλύπτεται με βλάστηση.
- **Πολλή Βλάστηση - FC=3 :** Όλο ή σχεδόν όλο το απεικονιζόμενο τοπίο καλύπτεται με πυκνή βλάστηση.

Ο **δείκτης Είδους Βλάστησης F(2.7)** ταξινομεί τα είδη της βλάστησης που εμφανίζονται στο απεικονιζόμενο τοπίο με βάση το καθ' ύψος μεγεθός τους. Ο συγκεκριμένος δείκτης παίρνει τιμές από 1 έως 3, που αναφέρονται στην συνέχεια.

- Ποώδης-Θαμνώδης - F=1
- Μικτή κατηγορία - F=2
- Δενδρώδης - F=3

Ο **δείκτης Παρουσίας Νερού W(2.9)** που αναφέρεται στην ποσοτική εκτίμηση της παρουσίας ή της κάλυψης του απεικονιζόμενου τοπίου με νερό. Ο δείκτης σχεδιάστηκε να παίρνει τιμές από 1 έως 4, όπως παρουσιάζεται στην συνέχεια.

- **Καθόλου κάλυψη με ύδατα - W=1 :** Δεν απεικονίζονται καθόλου ύδατα.
- **Λίγη κάλυψη με ύδατα - W=2 :** Η ύπαρξη υδάτων είναι περιορισμένη και δεν κυριαρχεί στο απεικονιζόμενο τοπίο.
- **Μέτρια κάλυψη με ύδατα - W=3:** Η ύπαρξη υδάτων είναι αρκετά εκτενής και μπορεί να καταλαμβάνει έως και το μισό θεματικό περιεχόμενο του απεικονιζόμενου τοπίου.
- **Μεγάλη κάλυψη με ύδατα - W=4 :** Η ύπαρξη υδάτων αποτελεί το κυρίως θέμα του απεικονιζόμενου τοπίου.

Η ποσοτικοποίηση των παραπάνω δεικτών επιτεύχθηκε με την χρήση της αντικειμενοστραφούς προσέγγισης ανάλυσης εικόνας που προσφέρει το λογισμικό eCognition. Οι βασικές μονάδες επεξεργασίας της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας είναι τα αντικείμενα της εικόνας οπότε η ταξινόμηση εκτελείται στα αντικείμενα της εικόνας. Μέσα από την αντικειμενοστραφή προσέγγιση και ύστερα από μια σειρά διαδικασιών ανάλυσης - ταξινόμησης οδηγήμαστε στην δημιουργία αντικειμένων του πραγματικού κόσμου. Το λογισμικό αυτό έχει την δυνατότητα να παράγει αντικείμενα μίας εικόνας σε οποιαδήποτε κλίμακα, οπότε επιτρέπει την παραγωγή περισσότερων του ενός επιπέδων αντικειμένων και

την σύνδεση αυτών των επιπέδων με έναν ιεραρχικό τρόπο ο οποίος επιτρέπει την απεικόνιση των πληροφοριών της εικόνας σε πολλές κλίμακες ταυτόχρονα (Definiens 2003). Η διαδικασία, με την οποία υλοποιείται η ταξινόμηση στο eCognition, βασίζεται στην ασαφή λογική. Η ασαφής λογική υποστηρίζει μία εννοιακή και διαφανή προσαρμογή και διαχείριση ακόμη πιο πολύπλοκων συνόλων κανόνων. Το πλαίσιο για τη βάση γνώσης της ταξινόμησης είναι η ιεραρχία των τάξεων, που περιέχει όλες τις τάξεις που θα χρησιμοποιηθούν στην ταξινόμηση και τα χαρακτηριστικά των τάξεων.

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε σε έναν αριθμό φωτογραφιών τοπίου. Οι φωτογραφίες αυτές επιλέχθηκαν επειδή είχαν αξιολογηθεί μέσα από ένα ερευνητικό πρόγραμμα σύμφωνα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους στο Εργαστήριο Φυσικής Γεωγραφίας και Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του Ε.Μ.Π., άρα η αξιολόγησή τους παρέχει την δυνατότητα άμεσης σύγκρισης με τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής.

2. Μεθοδολογία και υλοποίηση

Όπως έχει προαναφερθεί σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η ποσοτικοποίηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών εικόνων τοπίου. Η ποσοτικοποίηση αυτή επιτεύχθηκε μέσα από την ανάλυση τόσο της ποσότητας των αντικειμένων, όσο και της κατ' είδος διάκρισης των αντικειμένων της εικόνας. Τα αντικείμενα της εικόνας ήταν αποτέλεσμα μίας σειράς από διαδικασίες κατάτμησης και στην συνέχεια ταξινομήσεων. Η ανάλυση των εικόνων τοπίου στην προτεινόμενη μεθοδολογία περιέλαβε πέντε επίπεδα κατάτμησης και ταξινόμησης.

2.1 Κατατμήσεις

Η στρατηγική που σχεδιάστηκε για τη σειρά με την οποία τα πέντε επίπεδα της κατάτμησης παρήχθησαν, προέκυψε από την μέθοδο που προσεγγίζονται οι ταξινομήσεις στην συνέχεια.

Το **5 επίπεδο (level 5)** σχεδιάστηκε ώστε να δημιουργηθεί μία κατάτμηση σε πολύ μεγάλη κλίμακα, επειδή στην ουσία δεν ενδιαφέρει η ίδια η κατάτμηση καθαυτή όσο η ταξινόμηση του ενός αυτού κομματιού με βάση στοιχεία ταξινομήσεων των άλλων επιπέδων, ώστε να αποδοθούν οι περιβαλλοντικοί δείκτες στην εξεταζόμενη εικόνα.

Στο **4 τέταρτο (level 4)** αναλυτικό επίπεδο, τα τμήματα, τα οποία ήταν επιθυμητό να κατατμηθεί η εικόνα, ταξινομήθηκαν με σκοπό την διάκριση ουρανού και γης. Η τιμή της κλίμακας θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε η επιδιωκόμενη κατάτμηση να έχει ως αποτέλεσμα μεγάλα αντικείμενα αντιπροσωπευτικά της γης και του ουρανού.

Στο **τρίτο (level 3)** αναλυτικό επίπεδο, έχοντας εντοπίσει από το τέταρτο επίπεδο την έκταση της εικόνας που καλύπτεται από γη, γίνεται πιο εύκολη η διάκριση των κατατμήσεων του υγρού στοιχείου με την στέρεα γη (δεν συγχέεται το γαλάζιο του ουρανού με το γαλάζιο του υγρού στοιχείου) με την χρήση μικρότερης τιμής κλίμακας από το επίπεδο 4.

Στο **δεύτερο (level 2)** αναλυτικό επίπεδο, τα τμήματα στα οποία είναι επιθυμητό να κατατμηθεί θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η εικόνα να ταξινομηθεί με σκοπό την διάκριση των αντικειμένων της στέρας γης. Δηλαδή χρησιμοποιήθηκαν τα πρωτογενή αντικείμενα του τρίτου επιπέδου που αντιστοιχούν στην στέρεα γη και κάνοντας κατάτμηση αυτών σε πολύ μικρή κλίμακα με κυρίαρχο κριτήριο το φασματικό κριτήριο δημιουργούνται πρωτογενή αντικείμενα που εκμεταλλεύονται τις φασματικές διαφορές μεταξύ των ειδών της βλάστησης και των ανθρωπογενών χαρακτηριστικών.

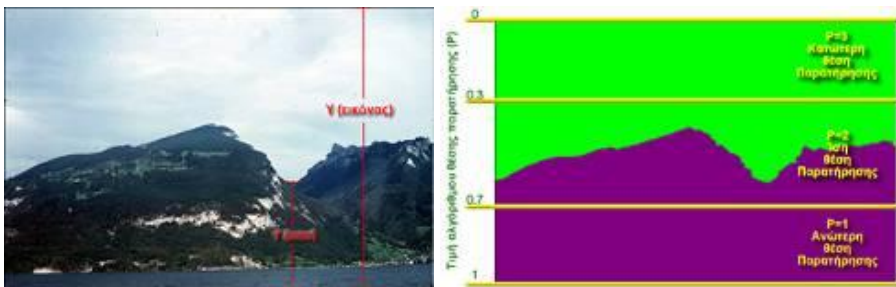
Στο **πρώτο (level 1)** αναλυτικό επίπεδο, η κατάτμηση θα υλοποιηθεί σε πολύ μικρή κλίμακα. Η συγκεκριμένη κατάτμηση είναι βοηθητική με σκοπό την χρήση της σε ταξινόμηση που σχετίζεται με τα είδη βλάστησης και είναι αναγκαία η ύπαρξη πολύ μικρών κατατμήσεων.

2.2 Ταξινόμησης

Για τη διαδικασία της ταξινόμησης προηγήθηκε μια προεργασία κατά την οποία σχεδιάστηκε θεωρητικά η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για να παραχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η στρατηγική που σχεδιάστηκε για τη σειρά με την οποία θα ταξινομούνταν τα πέντε επίπεδα της κατάτμησης, ακολουθεί και τη σειρά με την οποία δημιουργήθηκαν τα επίπεδα, επειδή σκοπός ήταν σε κάθε επίπεδο να ταξινομηθεί όλη η πληροφορία που μπορεί να οριστεί με σαφήνεια στο συγκεκριμένο επίπεδο και στη συνέχεια η πληροφορία αυτή να μεταφέρεται και σε όλα τα υπόλοιπα επίπεδα. Τα επίπεδα ταξινομήθηκαν με τη σειρά 4-3-2-5, όπως ακριβώς δημιουργήθηκαν.

Στις ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκαν η μέθοδος ταξινόμησης πλησιέστερης γειτνίασης, καθώς και προσαρμοσμένα χαρακτηριστικά που δημιουργήθηκαν για τις ανάγκες των ταξινόμησης. Η τελική επιλογή των δειγμάτων κατά τις ταξινόμησης πλησιέστερης γειτνίασης, ήταν αποτέλεσμα μίας διαδικασίας αλληπάλλων δοκιμών, που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια φωτοερμηνείας, επιλογής δειγμάτων και σύγκρισης των χαρακτηριστικών τους.

Η ταξινόμηση στο **4 επίπεδο (level 4)** δημιουργήθηκε ώστε να γίνει εφικτή η διάκριση μεταξύ ουρανού και των υπόλοιπων στοιχείων της εικόνας. Για την ταξινόμηση αυτή δημιουργήθηκαν δυο γενικές κατηγορίες, η κατηγορία 'Υπόλοιπο του ουρανού'(Rest of Sky) και η κατηγορία 'Ουρανός' (Sky). Η διάκριση των δυο αυτών κατηγοριών ήταν σχετικά εύκολη αφού τα δείγματα εκπαίδευσης ήταν πολύ μεγάλα και μετά την επιλογή τους καλυπτόταν σχεδόν ολόκληρη η εικόνα. Στην συνέχεια κάτω από την κατηγορία 'Ουρανός' (Sky 4), όσα αντικείμενα ταξινομήθηκαν στην κατηγορία αυτή, ταξινομούνται σε τρεις υποκατηγορίες ανάλογα με την απόσταση του χαμηλότερου τμήματός τους από το κάτω μέρος της εικόνας. Οι τρεις υποκατηγορίες αντιστοιχούν σε τρεις ισοπαχείς οριζόντιες ζώνες (Εικόνα 1) που χωρίζουν την εικόνα σε υψηλή ζώνη (Ανώτερη Θέση Παρατήρησης - P=1) , μεσαία ζώνη (Ίση Θέση Παρατήρησης - P=2) και χαμηλή ζώνη (Κατώτερη Θέση Παρατήρησης - P=3).



Εικόνα 1. Ζώνες Δείκτη Θέσης Παρατήρησης

Η ταξινόμηση στο **3 επίπεδο (level 3)** δημιουργήθηκε ώστε να γίνει εφικτή η διάκριση μεταξύ στέρεου εδάφους (Ground 3) και θάλασσας (Sea 3), ενώ διατηρείται το κομμάτι του ουρανού, σύμφωνα με την ταξινόμηση του ουρανού, που προηγήθηκε στο επίπεδο Level 4 και των υπόλοιπων στοιχείων της εικόνας. Για την διάκριση της στέρεας γης με το υγρό στοιχείο κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία δύο υποκατηγοριών ταξινόμησης στην κατηγορία της θάλασσας (Sea 3), η υποκατηγορία βαθιά θάλασσα (Dark Sea) και η υποκατηγορία ρηχή θάλασσα (Light Sea).

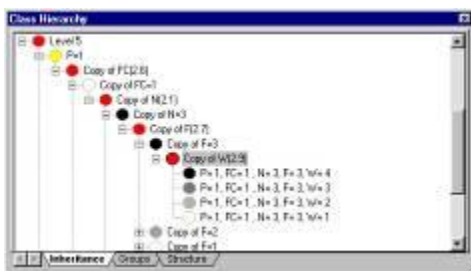
Σκοπός της ταξινόμησης στο **2 επίπεδο (level 2)** είναι ο διαχωρισμός των στοιχείων της κατηγορίας του στέρεου εδάφους (Ground 2) (κατηγορία η οποία κληρονομείται αυτούσια στο επίπεδο 2), δηλαδή της βλάστησης (Flora), του χέρσου και των ανθρώπινων επεμβάσεων (Human Environment). Στο συγκεκριμένο επίπεδο κατάτμησης υπήρχαν πολλά αντικείμενα

που ήταν σχετικά μικρά και συμπαγή με αποτέλεσμα να ήταν αναγκαία η δημιουργία πολλών υποκατηγοριών, που θα βελτιώναν την ακρίβεια της ταξινόμησης. Καταρχήν δημιουργήθηκαν δύο βασικές κατηγορίες που διαχώριζαν τα αντικείμενα που ήταν αποτέλεσμα ανθρώπινων επεμβάσεων και όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα. Για την προαναφερόμενη διάκριση ορίστηκαν δείγματα εκπαίδευσης που αφορούσαν τις ανθρώπινες επεμβάσεις και θεωρήθηκε ότι όλα τα υπόλοιπα ανήκαν αυτόματα στην άλλη κατηγορία. Η άλλη κατηγορία όμως περιείχε αντικείμενα τα οποία ήταν χέρσα αλλά και αντικείμενα τα οποία αποτελούσαν την βλάστηση. Για την διάκριση αυτή δημιουργήθηκαν δύο υποκατηγορίες στην κατηγορία 'υπόλοιπα αντικείμενα', μία για τα χέρσα και μία για την βλάστηση. Για τα χέρσα ορίστηκαν δείγματα εκπαίδευσης, ενώ για την βλάστηση, λόγω ότι ήταν αναγκαία η διάκρισή της, σε υψηλή και χαμηλή βλάστηση για την εξαγωγή του δείκτη βλάστησης ορίστηκαν δύο νέες υποκατηγορίες της υποκατηγορίας βλάστησης. Οι νέες υποκατηγορίες της βλάστησης ήταν η κατηγορία υψηλής βλάστησης (Trees) και η κατηγορία χαμηλής βλάστησης (Ground cover) για τις οποίες ορίστηκαν τα ανάλογα δείγματα εκπαίδευσης.

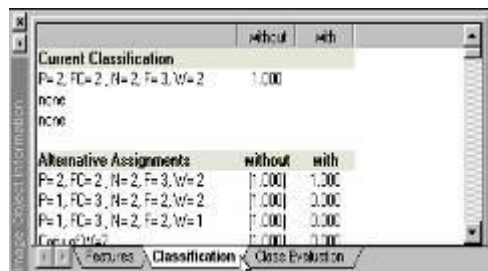
Τέλος η ταξινόμηση στο **5 επίπεδο (level 5)** βασίστηκε σε προσαρμοσμένα χαρακτηριστικά που δημιουργήθηκαν με βάση δεδομένα από τα προαναφερόμενα επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα στην συγκεκριμένη κλάση επιπέδου ολοκληρώθηκε η διαδικασία απόδοσης τιμών στις περιβαλλοντικές μεταβλητές που μελετήθηκαν. Δημιουργήθηκαν οι αλγόριθμοι για τους δείκτες:

- **Εδαφοκάλυψη με βλάστηση (FC):** Από το επίπεδο 2 εισάγεται η πληροφορία που σχετίζεται με την έκταση που καλύπτει η βλάστηση στο ανάλογο προσαρμοσμένο χαρακτηριστικό.
- **Φυσικότητα τοπίου (N):** Από το επίπεδο 2 εισάγεται η πληροφορία που σχετίζεται με την έκταση που καλύπτει το ανθρωπογενές περιβάλλον στο ανάλογο προσαρμοσμένο χαρακτηριστικό.
- **Είδος βλάστησης (F):** Από το επίπεδο 2 εισάγεται η πληροφορία που σχετίζεται με την έκταση της ποώδης-θαμνώδης βλάστησης (χαμηλή βλάστηση) και των δέντρων (υψηλή βλάστηση) στο ανάλογο προσαρμοσμένο χαρακτηριστικό.
- **Παρουσία Νερού (W):** Από το επίπεδο 2 εισάγεται η πληροφορία που σχετίζεται με την έκταση του υγρού στοιχείου στο ανάλογο προσαρμοσμένο χαρακτηριστικό.
- **Σχετική Θέση Παρατήρησης (P):** Από το επίπεδο 4 εισάγεται η πληροφορία που σχετίζεται με το σε ποια ζώνη ανήκει το χαμηλότερο κομμάτι του ουρανού στο ανάλογο προσαρμοσμένο χαρακτηριστικό.

Δηλαδή μέσα από το επίπεδο 5 ο χρήστης μετά την ταξινόμηση γνωρίζει συγκεντρωτικά τις τιμές των υπό μελέτη δεικτών (Εικόνες 2 και 3), αφού για κάθε συνδυασμό τιμών των παραπάνω προσαρμοσμένων χαρακτηριστικών το επίπεδο 5 ταξινομείται διαφορετικά.

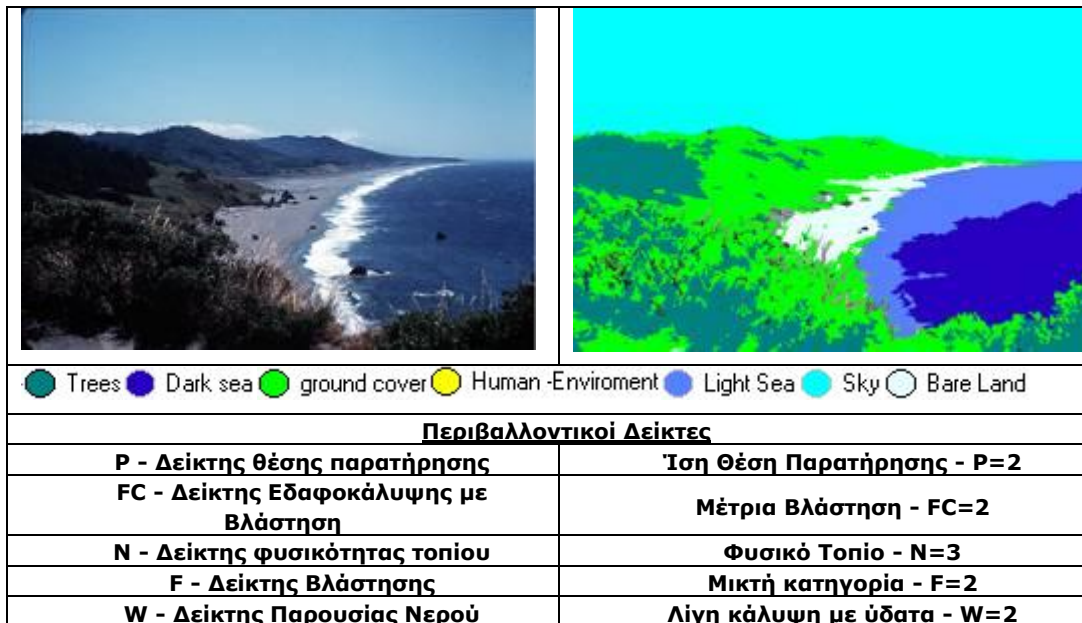


Εικόνα 2. Ταξινόμηση επιπέδου 5

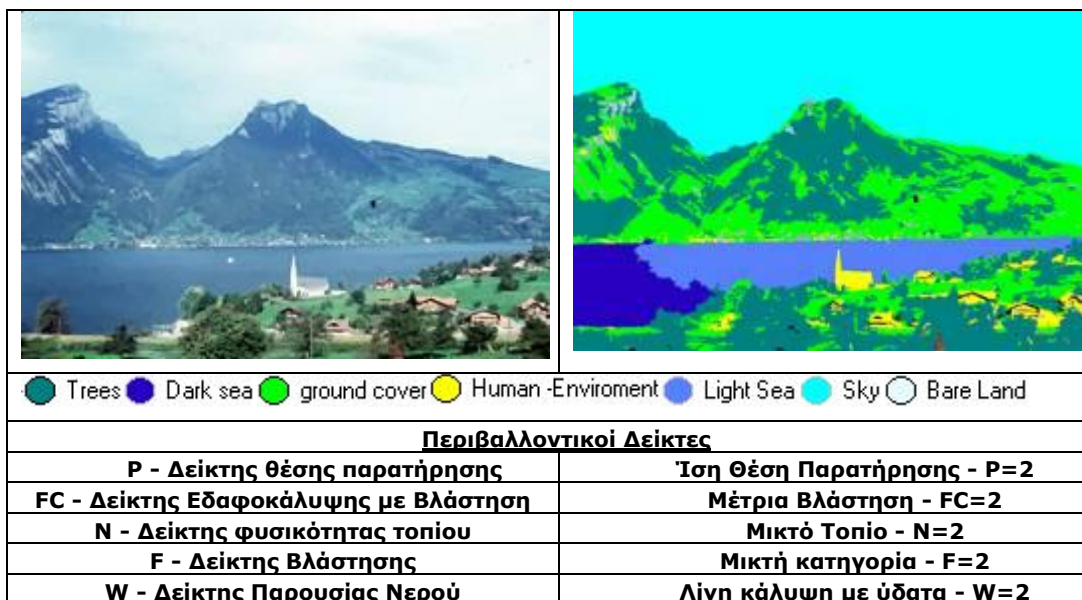


Εικόνα 3. Εμφάνιση Τιμών Περιβαλλοντικών Δεικτών μέσα από το eCognition.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η εφαρμογή της παρούσας προσέγγισης σε δύο φωτογραφίες τοπίου όπου φαίνεται τόσο η αρχική και ταξινομημένη εικόνα, όσο και οι τιμές των ταξινομημένων δεικτών (Εικόνες 4 και 5).



Εικόνα 4. Αρχική και ταξινομημένη φωτογραφία τοπίου. (K1-5)



Εικόνα 5. Αρχική και ταξινομημένη φωτογραφία τοπίου. (K23-13)

3. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε φωτογραφίες τοπίου από το ερευνητικό πρόγραμμα «Όργανο Μέτρησης Κατηγορίας Τοπίου» που ξεκίνησε το Σεπτέμβριο του 2000. Συγκρίνοντας τις τιμές των δεικτών που εξήχθησαν από την εφαρμογή της παρούσας προσέγγισης με τις τιμές του ερευνητικού στις δύο παραπάνω φωτογραφίες μπορούμε να προβούμε σε μία συγκριτική αξιολόγηση στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1

Εικόνες	Πηγή τιμών	P	FC	N	F	W
K1_5	Τιμές έμπειρων	1	2	3	2	3
	Τιμές παρούσας προσέγγισης	2	2	3	2	2
K23_13	Τιμές έμπειρων	1	2	2	2	3
	Τιμές παρούσας προσέγγισης	2	2	2	2	2

Υπόμνημα Δεικτών – Τιμών Δεικτών

N - Δείκτης φυσικότητας τοπίου <ul style="list-style-type: none"> • Αστικό Τοπίο - N=1 • Μικτό Τοπίο - N=2 • Φυσικό Τοπίο - N=3 	P - Δείκτης θέσης παρατήρησης <ul style="list-style-type: none"> • Κατώτερη Θέση Παρατήρησης - P=3 • Ίση Θέση Παρατήρησης - P=2 • Ανώτερη Θέση Παρατήρησης - P=1
FC - Δείκτης Εδαφοκάλυψης με Βλάστηση <ul style="list-style-type: none"> • Λίγη Βλάστηση - FC=1 • Μέτρια Βλάστηση - FC=2 • Πολλή Βλάστηση - FC=3 	F - Δείκτης Βλάστησης <ul style="list-style-type: none"> • Ποώδης-Θαμνώδης - F=1 • Μικτή κατηγορία - F=2 • Δενδρώδης - F=3
W - Δείκτης Παρουσίας Νερού <ul style="list-style-type: none"> • Καθόλου κάλυψη με ύδατα - W=1 • Λίγη κάλυψη με ύδατα - W=2 • Μέτρια κάλυψη με ύδατα - W=3 • Μεγάλη κάλυψη με ύδατα - W=4 	

Παρατηρώντας τον πίνακα 1 διαπιστώνουμε ότι διαφοροποίηση στις τιμές των δεικτών υφίσταται στον Δείκτη Θέσης Παρατήρησης και στον Δείκτη Παρουσίας Νερού.

Ο αλγόριθμος του Δείκτη Θέσης Παρατήρησης θεώρησε στις δύο φωτογραφίες ότι ο παρατηρητής βρίσκεται σε ίση θέση παρατήρησης, ενώ οι έμπειροι εκτίμησαν ότι ο παρατηρητής βρίσκεται σε ανώτερη θέση παρατήρησης. Αυτό οφείλεται στο ότι σαν κριτήριο για την εύρεση της θέσης παρατήρησης χρησιμοποιήθηκε η θέση του ορίζοντα. Στις δύο παραπάνω φωτογραφίες πολλά από τα στοιχεία του τοπίου που βρίσκονται στην κοντινή ζώνη βρίσκονται σε κατώτερο επίπεδο από το επίπεδο παρατήρησης ενώ υπάρχουν στον μακρινό ορίζοντα αντικείμενα που είναι μεν αχνά αλλά είναι στο ίδιο επίπεδο με το επίπεδο παρατήρησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο έμπειρος θεώρησε ότι ο παρατηρητής βρίσκεται σε ανώτερη θέση παρατήρησης, ενώ ο αλγόριθμος που εντόπισε τον ορίζοντα στο ίδιο επίπεδο με το επίπεδο παρατήρησης θεώρησε ότι ο παρατηρητής βρισκόταν σε ίση θέση παρατήρησης.

Ο αλγόριθμός του Δείκτη Παρουσίας όσο και οι έμπειροι προσέγγισαν την ποσοτική εκτίμηση της κάλυψης του απεικονιζόμενου τοπίου με νερό με εγγύς τρόπο. Στις

συγκεκριμένες φωτογραφίες δεν υπάρχει ταύτιση των τιμών, οι έμπειροι έδωσαν την τιμή $W=3$ (Μέτρια κάλυψη με ύδατα), ενώ ο αλγόριθμος έδωσε την τιμή $W=2$ (Λίγη κάλυψη με ύδατα). Στις φωτογραφίες αυτές η τιμή του αλγόριθμου, με την οποία έγινε η ταξινόμηση, ανήκε μεν στο εύρος τιμών που δίνουν την τιμή $W=2$, αλλά πλησίαζε πολύ, αριθμητικά, προς το εύρος των τιμών που δίνουν την τιμή $W=3$. Οπότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι διαφορές στις τιμές εμπείρων και παρούσας προσέγγισης στον συγκεκριμένο δείκτη οφείλονται στο ότι ορισμένες φωτογραφίες βρίσκονται ανάμεσα στις τιμές $W=2$ και $W=3$.

4. Συμπεράσματα και προοπτικές

Η συγκεκριμένη εργασία είχε ως αποτέλεσμα, όπως προαναφέρθηκε, να ποσοτικοποιηθούν ικανοποιητικά έξι από τους δέκα περιβαλλοντικούς δείκτες που είναι αναγκαίοι για το χαρακτηρισμό κατηγορίας τοπίου. Στους δείκτες που δεν ποσοτικοποιήθηκαν, έγιναν ερευνητικές προσπάθειες με σκοπό την ποσοτικοποίησή τους, άλλα παρουσιάζοντουσαν ιδιαίτερες δυσκολίες, εξαιτίας του ότι οι επίγειες εικόνες παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στις συνθήκες φωτισμού εξαιτίας των φαινομένων του καιρού, της ώρας της ημέρας και των εποχών.

Επιπρόσθετα η εφαρμογή που δημιουργήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παρακολούθηση της επίδρασης των ανθρώπινων επεμβάσεων σε ένα τοπίο. Έχοντας αξιολογήσει ένα τοπίο πριν την ανθρώπινη επέμβαση με την εφαρμογή και στην συνέχεια αξιολογώντας το μετά, μελετάμε τις αλλαγές στους δείκτες και διαπιστώνουμε πού το τοπίο υπέστη ζημιές. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να προτείνουμε συγκεκριμένες διορθωτικές επεμβάσεις στην αισθητική του τοπίου, για παράδειγμα, αν έχει μειωθεί ο δείκτης εδαφοκάλυψης της βλάστησης, προτείνουμε την αύξηση της έκτασης της βλάστησης στο τοπίο. Μάλιστα μέσα από την φωτογραφία, στο προαναφερόμενο παράδειγμα και γενικότερα, μπορούμε να προτείνουμε και την έκταση της διορθωτικής επέμβασης.

Στους έξι περιβαλλοντικούς δείκτες που ποσοτικοποιήθηκαν υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες βελτίωσης της ακρίβειας των τιμών τους μέσα από τα δεδομένα που θα μας πρόσφερε η ίδια φωτογραφία, έχοντας ένα ακόμη κανάλι το εγγύς υπέρυθρο (near-infrared (NIR)).

Οι **δείκτες ορατότητας** και **ανάγλυφο** θα μπορούσαν να ποσοτικοποιηθούν αν μαζί με την φωτογράφιση μπορούσαν να υπολογισθούν κάποιες αποστάσεις από την θέση φωτογράφισης σε ορισμένα χαρακτηριστικά σημεία της εικόνας.

Η δημιουργία ενός εμπειρικού συστήματος που θα μεταφέρει την εμπειρία των ειδικών παρουσιάζει πολλές δυσκολίες, εξαιτίας της απειρίας των συνδυασμών των διάφορων οπτικών χαρακτηριστικών. Έχει δημιουργηθεί μία μήτρα αισθητικής τοπίου η οποία αποδίδει την βασική λογική αξιολόγησης και ταξινόμησης τοπίου, η οποία όμως δεν αποτελεί πανάκεια και περιέχει πολλές γενικεύσεις. Η συγκεκριμένη μήτρα θα μπορούσε να μεταφερθεί σε ένα έμπειρο σύστημα, με σκοπό μία πρώτη προσέγγιση και στην συνέχεια με την εξέταση περισσότερων χαρακτηριστικών, το συγκεκριμένο έμπειρο σύστημα να βελτιώνεται και να καλύπτει ένα ευρύτερο φάσμα από οπτικά χαρακτηριστικά.

Βιβλιογραφία

Δερζέκος Π. και Αργιαλάς Δ., 2002: Διερεύνηση της Χρήσης Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης Δεδομένων Ιkonos για τη Μελέτη του Αστικού Πράσινου. Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΕΜΠ Αθήνα 28 Φεβρουαρίου και 1 Μαρτίου 2002, CD-ROM πρακτικών συνεδρίου, 15σελ..

Κασσιός Κ., 1989: Φυσικά Διαθέσιμα. Διδακτικές Σημειώσεις ΤΑΤΜ. Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 73 σελ.

Appleton, J., 1975: Landscape evaluation: the theoretical vacuum. Transactions of the

Institute of British Geographers, 66, 120-123.

Buhyoff G.J. and Riesenmann M.F., 1979: Experimental manipulation of dimensionality in landscape preference judgements: a quantitative validation. *Leisure Sciences*, 2, 221-238.

Cooper A. and Murray R., 1992: A structured method of landscape assessment and countryside management. *Applied Geography*, 12, 319-338.

Dearden, P., 1985: Philosophy, theory, and method in landscape evaluation. *Canadian Geographer*, 29, 263-265.

Definiens, 2003: eCognition User Guide, Munchen, <http://www.definiens.com>.

Mougiakakou S.G., Tsouchlaraki A.L., Cassios C., Nikita K.S., Matsopoulos G.K., Uzunoglu N.K., 2005 "SCAPEVIEWER: Preliminary results of a landscape perception classification system based on neural network technology", *Ecological Engineering*, 2005, Vol. 24, No. 1/2, 5-15.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ SRTM DEM ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Νικολακόπουλος Κ.¹ Σκιάνης Γ.², Βαϊόπουλος Δ.²

¹*Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών*

²*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών,*

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εργαστήριο Τηλεανίχνευσης

Περίληψη

Η αποστολή Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) χρησιμοποίησε ένα συνθετικής κεραίας ραντάρ για να παράγει ένα Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύγου (ΨΜΑ) που καλύπτει σχεδόν όλη την υφήλιο. Το μοντέλο αυτό σύμφωνα με τις αρχικές προδιαγραφές έχει χωρική διακριτική ικανότητα 30m και ακρίβεια υψομέτρου 16m.

Καθώς τα δεδομένα του SRTM δεν έχουν υποστεί επεξεργασία το ΨΜΑ που παράχθηκε περιέχει κενά, χάσματα και λανθασμένη πληροφορία σε ορισμένα σημεία όπου η ακτίνα του ραντάρ παρουσιάζει πολύ ασθενή ανάκλαση. Τέτοια σημεία είναι η επιφάνεια της θάλασσας, λίμνες, φράγματα και γενικά επίπεδες περιοχές που καλύπτονται με νερό.

Η διάθεση του ΨΜΑ γίνεται σε επιμέρους εικόνες έκτασης 180X180 km. Δημιουργήσαμε ένα μωσαϊκό από εικοσιοκτώ εικόνες ώστε να καλύπτεται ολόκληρη η ελληνική επικράτεια. Στη συνέχεια εφαρμόσαμε τρία ψηφιακά φίλτρα για τη βελτίωση της ποιότητας του ΨΜΑ. Το πρώτο φίλτρο εντοπίζει και αφαιρεί τα κενά (σημεία όπου δεν υπάρχει υψόμετρο). Το δεύτερο φίλτρο δημιουργεί τιμές υψομέτρου για αυτά τα σημεία με τη μέθοδο της παρεμβολής. Το τρίτο συμπληρώνει τυχόν εναπομείναντα κενά χρησιμοποιώντας τιμές υψομέτρου από το GTOPO30.

Το ΨΜΑ που δημιουργήθηκε είναι ομοιογενές, καλύπτει ολόκληρη την ελληνική επικράτεια και παρουσιάζει πολύ καλές ακρίβειες υψομέτρου.

INTEGRATION OF A SRTM DEM COVERING THE GREEK TERRITORY

Nikolakopoulos K.¹, Skianis G.², Vaiopoulos D.²

¹*Institute of Geology & Mineral Exploration*

²*University of Athens, Department of Geology and Geoenvironment, Remote Sensing Laboratory*

Abstract

The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), used an Interferometric Synthetic Aperture Radar (IFSAR) instrument to produce a near-global digital elevation map of the earth's land surface with 16 m absolute vertical height accuracy at 30 meter postings. An SRTM 3-arc-second product (90m resolution) is available for the entire world.

Since the SRTM elevation data are unedited, they contain occasional voids, or gaps, where the terrain lay in the radar beam's shadow or in areas of extremely low radar backscatter, such as sea, dams, lakes and virtually any water covered surface.

A DEM covering the whole Greek territory was created. We used three different filters in order to improve the quality of the DEM. The first filter detected and removed the voids; a second one interpolated the missing values. Finally a GTOPO30 DEM was used to complete any other missing values.

The DEM created is homogenous, covers the whole country and presents quite good

accuracies.

Λέξεις κλειδιά: Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου, φίλτρα, έλεγχος ακρίβειας.

Key words: Digital Elevation Model, filters, accuracy control.

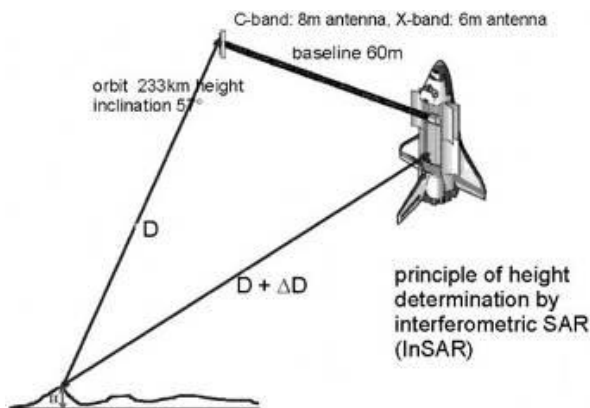
1. Εισαγωγή

Τα τελευταία 20 χρόνια έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για τη δημιουργία Ψηφιακών Μοντέλων Αναγλύφου που να καλύπτουν ολόκληρη την υφήλιο. Η αρχή έγινε με την εκτόξευση του δορυφόρου SPOT, το 1986, ο οποίος για πρώτη φορά παρείχε στερεοζεύγη εικόνων που επέτρεπαν την εξαγωγή υψομετρικής πληροφορίας για μεγάλες περιοχές της Γης. Η εξαγωγή της πληροφορίας βασιζόταν στην στερεοσκοπική παράλλαξη που είχαν ληφθεί κάθετα στην τροχιά σε διαφορετικές ημερομηνίες. Πιο πρόσφατα η κατά μήκος της τροχιάς σχεδόν ταυτόχρονη λήψη (η διαδικασία ολοκληρώνεται σε 60sec) των στερεοζευγών ASTER θεωρήθηκε ότι δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα καθώς μειώνει τις ραδιομετρικές διαφορές μεταξύ των εικόνων του ζεύγους και αυξάνει τις πιθανότητες επιτυχούς συσχέτισης. Το πρόγραμμα του ASTER υλοποιείται από κοινού από τη NASA και τη JAXA με σκοπό τη δημιουργία ενός παγκόσμιου ΨΜΑ που να καλύπτει ολόκληρη την υφήλιο. Η χωρική διακριτική ικανότητα του μοντέλου είναι 15m και η κατακόρυφη ακρίβεια είναι καλύτερη των 20m χωρίς τη χρήση φωτοσταθερών σημείων. Η οριζόντια ακρίβεια του μοντέλου είναι 50m χωρίς τη χρήση φωτοσταθερών (Fujisada *et al.*, 2005). Τόσο η οριζόντια όσο και η κατακόρυφη ακρίβεια μπορούν να βελτιωθούν και εξαρτώνται από την ακρίβεια των φωτοσταθερών σημείων που θα χρησιμοποιηθούν (Chrysoulakis *et al.* 2003, Chrysoulakis *et al.*, 2004).

Παράλληλα με την αύξηση στη συχνότητα λήψης των στερεοζευγών αναπτύχθηκαν και πολυάριθμοι αλγόριθμοι για την αυτόματη εξαγωγή ΨΜΑ από στερεοζεύγη εικόνων (Zhen *et al.*, 2001; Toutin *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2003; Toutin, 2001; Toutin, 2004).

Μία άλλη μέθοδος για την εξαγωγή ΨΜΑ από δορυφορικά δεδομένα είναι η συμβολομετρία. Τα δεδομένα μπορούν να ληφθούν είτε από την ίδια κεραία κατά τη διάρκεια δύο διαφορετικών τροχών (ERS 1-2) είτε από δύο κεραίες στην ίδια τροχιά (SRTM).

Η αποστολή του SRTM (Werner, 2001; Rosen *et al.*, 2001) ήταν η πρώτη και μοναδική μέχρι στιγμής διαστημική αποστολή η οποία χρησιμοποίησε ταυτόχρονα δύο κεραίες ραντάρ για τη λήψη δεδομένων ραντάρ. Η αποστολή αποτέλεσε συνεργασία μεταξύ της NASA, ενός τμήματος της Defense's National Imagery and Mapping Agency (NIMA) και των διαστημικών υπηρεσιών της Ιταλίας και της Γερμανίας. Τοποθετημένο στο διαστημικό λεωφορείο Endeavour το σύστημα SRTM λειτούργησε για 11 ημέρες και συνέλεξε δεδομένα καλύπτοντας περίπου το 80% της γήινης επιφάνειας μεταξύ των παραλλήλων 60° Β και 56° Ν. Το σύστημα βασίστηκε στο συνθετικής κεραίας ραντάρ SIR-C/X-SAR που λειτούργησε στο διαστημικό λεωφορείο το 1994. Σε σχέση με τις πτήσεις του 1994 προστέθηκαν δύο κεραίες ραντάρ (C-band X-band) πάνω σε ένα βραχίονα ο οποίος



Σχήμα 1. Το σύστημα των δύο κεραίων με τις οποίες ήταν εφοδιασμένο το διαστημικό λεωφορείο.

εκτεινόταν εξήντα μέτρα από το διαστημικό λεωφορείο (σχήμα 1). Η προσθήκη του μηχανισμού και των κεραιών επέτρεψε τη λήψη δεδομένων συμβολομετρίας και την εξαγωγή ΨΜΑ από μία και μόνη πτήση. Η μία κεραία (C-band) λειτουργούσε σε μήκος κύματος $\lambda = 5.6$ cm και η δεύτερη (X-band) σε μήκος κύματος $\lambda = 3,1$ cm. Το διαστημικό λεωφορείο πέταξε σε ένα ύψος 233 km και η γωνία πρόσπτωσης ήταν 57° .

Από τα δεδομένα που συνέλεξε το διαστημικό λεωφορείο δημιουργήθηκε ένα ΨΜΑ με μέγεθος εικονοστοιχείου 30m. Το ΨΜΑ με αυτή την ανάλυση είναι διαθέσιμο μόνο για τις ΗΠΑ. Για τις υπόλοιπες περιοχές του πλανήτη το συγκεκριμένο ΨΜΑ αναδομήθηκε σε ένα νέο με μέγεθος εικονοστοιχείου 90m.

2. Δεδομένα και μεθοδολογία

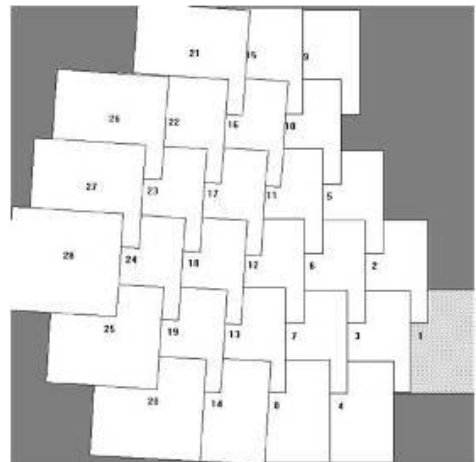
Τα δεδομένα του SRTM DEM διανέμονται ελεύθερα μέσω διαδικτύου σε μορφή Geotiff με χωρική διακριτική ικανότητα 90 μέτρων. Τα δεδομένα είναι γεωαναφερμένα στο ελλειψοειδές WGS84 χρησιμοποιώντας την προβολή UTM και τα υψομετρικά δεδομένα είναι διορθωμένα ως προς το γεωειδές. Οι τιμές υψομέτρου αντιστοιχούν είτε στο γυμνό έδαφος, είτε στο πάνω μέρος της φυτοκάλυψης, είτε στην κορυφή των ανθρωπογενών κατασκευών. Στα κενά (περιοχές χωρίς υψόμετρο) έχει αποδοθεί αυθαίρετα η τιμή -32768m. Για την καλύτερη διευκόλυνση των χρηστών παγκοσμίως τα δεδομένα διατίθενται σε σκηνές 180x180km σε πλήρη αντιστοιχία με τις αντίστοιχες σκηνές των δορυφόρων Landsat.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της αποστολής (Hensley *et al.*, 2001), το κατακόρυφο σφάλμα (vertical RMSE) θα ήταν καλύτερο των 16m. Η ακρίβεια αυτή αντιστοιχεί σε ακρίβεια τοπογραφικών χαρτών 1/250.000 σύμφωνα με τους Welch and Marko, 1981, Lang and Welch, 1999.

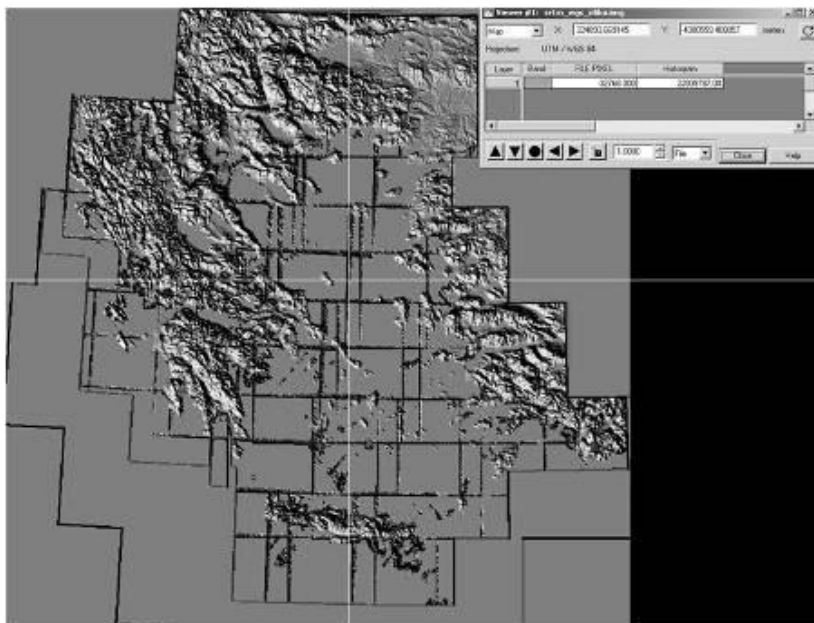
Τα δεδομένα του GTOPO30 διανέμονται επίσης ελεύθερα μέσω διαδικτύου. Βασίζονται σε μετρήσεις από 8 διαφορετικές πηγές και η ακρίβεια τους ποικίλει ανάλογα με την πηγή προέλευσης (πίνακα 1). Η χωρική διακριτική ικανότητα των δεδομένων είναι 1km. Τα δεδομένα είναι γεωαναφερμένα στο ελλειψοειδές WGS84.

2.1 Δημιουργία Μωσαϊκού.

Η ελληνική επικράτεια καλύπτεται από 28 εικόνες όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο σχήμα 2. Μεταξύ των εικόνων υπάρχει μεγάλη επικάλυψη αντίστοιχη με την επικάλυψη των εικόνων Landsat. Δημιουργήθηκε ένα ενιαίο μωσαϊκό από τις 28 εικόνες (σχήμα 3). Στις επικαλυπτόμενες περιοχές επιλέχθηκε να διατηρηθεί η μέγιστη τιμή υψομέτρου, εφόσον δηλαδή στις επικαλυπτόμενες περιοχές υπήρχε στη πρώτη εικόνα κενό και στην δεύτερη κανονική τιμή υψομέτρου επιλεγόταν αυτόματα να ληφθεί η τιμή του υψομέτρου από τη δεύτερη. Καθώς τα δεδομένα του SRTM δεν έχουν υποστεί επεξεργασία το συνολικό ΨΜΑ που παράχθηκε (σχήμα 3) περιέχει κενά, χάσματα και λανθασμένη πληροφορία σε ορισμένα σημεία όπου η ακτίνα του ραντάρ παρουσιάζει πολύ ασθενή ανάκλαση. Τέτοια σημεία είναι η επιφάνεια της θάλασσας, λίμνες, φράγματα και γενικά επίπεδες περιοχές που καλύπτονται με νερό. Η ελάχιστη τιμή είναι -32768m και η μέγιστη 2904m.



Σχήμα 2. Το μοντέλο του μωσαϊκού. Από τις 28 αρχικές εικόνες δημιουργείται μία που καλύπτει ολόκληρη την Ελληνική επικράτεια.



Σχήμα 3. Το αρχικό μωσαϊκό του SRTM DEM. Η ελάχιστη τιμή είναι -32768 μέτρα και αντιστοιχεί στα κενά. Διακρίνονται χαρακτηριστικά οι ενώσεις των εικόνων.

Πίνακας 1. Πηγές δεδομένων για τη δημιουργία του GTOPO30 και η ακρίβεια τους.

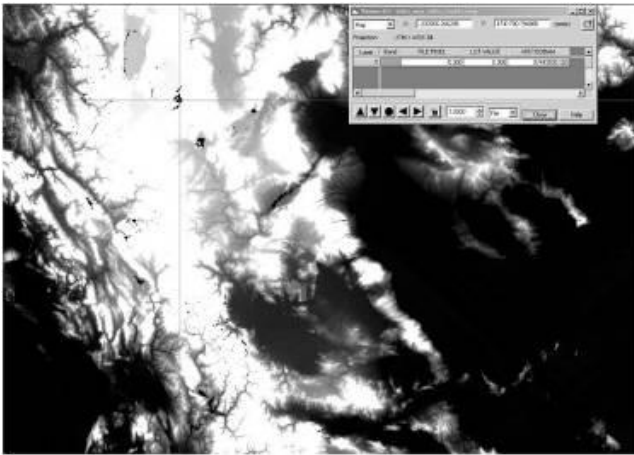
Source	% of global land area	Vertical accuracy (meters) L.E. at 90%	Vertical accuracy (meters) RMSE
Digital Terrain Elevation Data	50.0	30	18
Digital Chart of the World	29.9	160	97
USGS 1-degree DEM's	6.7	30	18
Army Map Service 1: 1,000,000-scale maps	1.1	250	152
International Map of the World 1: 1,000,000-scale maps	3.7	50	30
Peru 1: 1,000,000-scale map	0.1	500	304
New Zealand DEM	0.2	15	9
Antarctic Digital Database	8.3	highly variable	highly variable

2.2 Εφαρμογή του πρώτου φίλτρου.

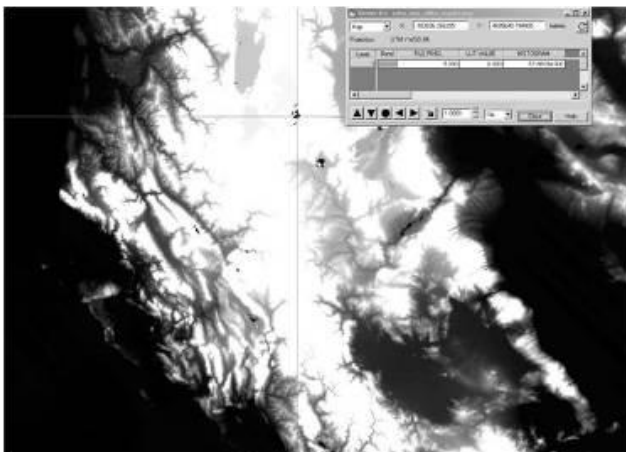
Στο ΨΜΑ έγινε εφαρμογή ενός πρώτου χωρικού φίλτρου. Το φίλτρο αυτό εντοπίζει τις περιοχές που παρουσιάζουν αρνητικές τιμές και αντικαθιστά τις τιμές αυτές με την τιμή -5 (σχήμα 4). Έτσι δημιουργείται ένα ΨΜΑ με λιγότερο θόρυβο και πιο ομοιόμορφα κενά. Η επιλογή της τιμής -5 είναι τυχαία. Αποφεύχθηκε η εφαρμογή της τιμής 0 για να μη δημιουργηθεί σύγχυση με περιοχές που παρουσιάζουν τιμή 0 όπως η επιφάνεια της θάλασσας. Όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο σχήμα 4 υπάρχουν στην ενδοχώρα αρκετές περιοχές (με μαύρο χρώμα) που παρουσιάζουν αρνητική τιμή υψομέτρου (-5).

2.3 Εφαρμογή του δεύτερου φίλτρου.

Στη συνέχεια ένα φίλτρο παρεμβολής εφαρμόστηκε στο ΨΜΑ με σκοπό να συμπληρωθούν οι τιμές των κενών εικονοστοιχείων. Το φίλτρο αυτό αρχικά εντοπίζει τις περιοχές που έχουν τιμή -5 . Εάν η πλειοψηφία των εικονοστοιχείων γύρω από το κεντρικό (με τιμή -5) πρέπει να αντικατασταθεί τότε ένα low pass φίλτρο 5×5 εφαρμόζεται στο ΨΜΑ. Σε αντίθετη περίπτωση ένα low pass φίλτρο 3×3 εφαρμόζεται στο ΨΜΑ. Το αποτέλεσμα της εφαρμογής του δεύτερου φίλτρου φαίνεται στο σχήμα 5. Η πλειοψηφία των κενών έχει συμπληρωθεί μέσω παρεμβολής τιμών από τα γειτονικά εικονοστοιχεία. Παραμένουν μόνο ορισμένα κενά που καλύπτουν μεγάλη έκταση και στα οποία η παρεμβολή του φίλτρου 5×5 δεν έφερε αποτελέσματα.



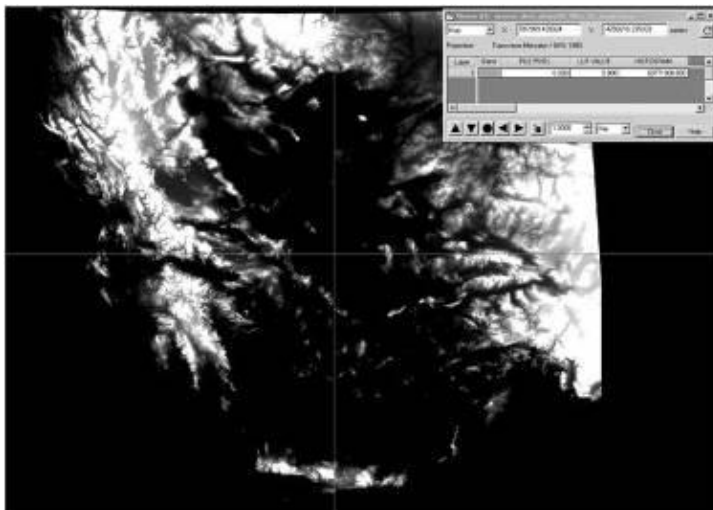
Σχήμα4. Τμήμα του ΨΜΑ μετά την εφαρμογή του πρώτου φίλτρου. Τα κενά εμφανίζονται με μαύρο χρώμα και ενιαία τιμή -5 .



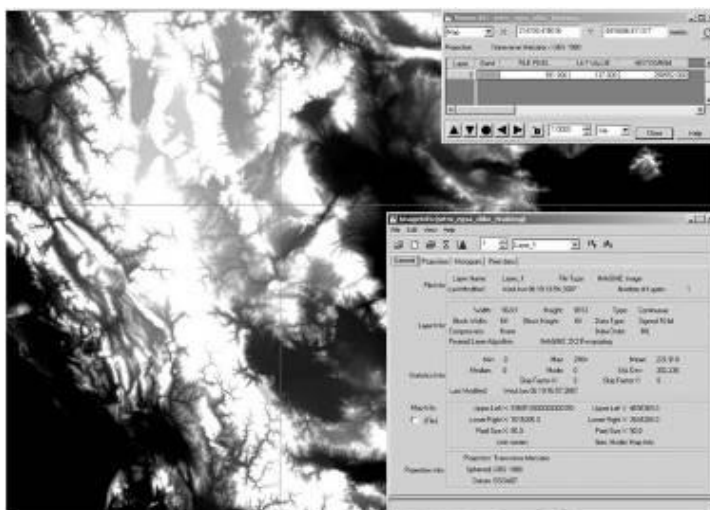
Σχήμα 5. Το ίδιο τμήμα του ΨΜΑ μετά την εφαρμογή του δεύτερου φίλτρου (παρεμβολής). Τα κενά έχουν μειωθεί σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα. Παραμένουν μόνο ορισμένα κενά με πολύ μεγάλη έκταση.

2.4 Εφαρμογή του τρίτου φίλτρου.

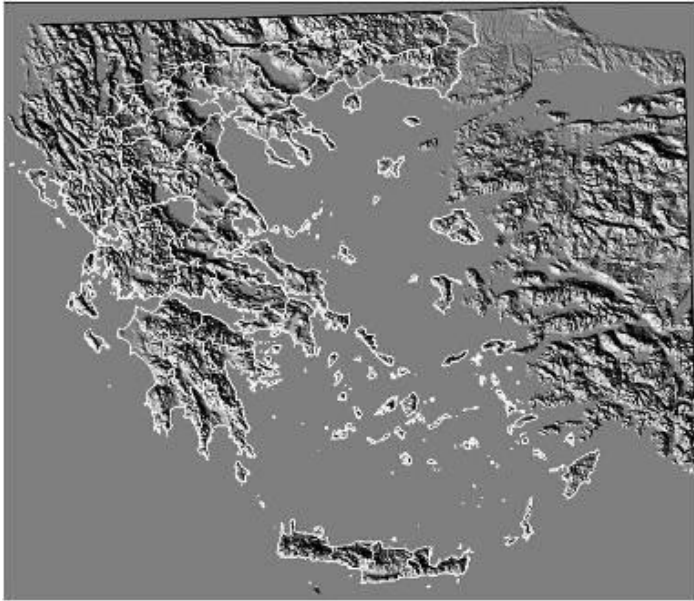
Για να συμπληρωθούν όλα τα κενά του ΨΜΑ έγινε εφαρμογή και ενός συμπληρωματικού τρίτου φίλτρου. Το φίλτρο αυτό αρχικά εντοπίζει τις εναπομείναντες περιοχές που έχουν τιμή -5. Συμπληρώνει στα εικονοστοιχεία αυτά την τιμή του υψομέτρου που λαμβάνει από το ΨΜΑ GTOPO30 (σχήμα 6). Έτσι το τελικό ΨΜΑ δεν παρουσιάζει καθόλου κενά (σχήμα 7). Το τελικό ΨΜΑ είναι ομοιογενές και καλύπτει ολόκληρη την ελληνική επικράτεια (σχήμα 8).



Σχήμα 6. ΨΜΑ GTOPO30. Το αρχικό μοντέλο έχει μέγεθος εικονοστοιχείου 1x1km. Το ΨΜΑ αναδομήθηκε και το νέο έχει μέγεθος εικονοστοιχείου 90μ (ίσο με το SRTM).



Σχήμα 7. Το τελικό ΨΜΑ. Όλα τα κενά έχουν συμπληρωθεί με τιμές υψομέτρου από το GTOPO30.



Σχήμα 8. Το τελικό ΨΜΑ σε μορφή σκιασμένου αναγλύφου. Με άσπρο χρώμα τα όρια των νομαρχιών.

3. Έλεγχος της ακρίβειας του SRTM

Μελέτες σχετικά με την ακρίβεια του ΨΜΑ SRTM έχουν γίνει για διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Σε μία από αυτές (Nikolakopoulos *et al.*, 2005) έγινε σύγκριση του SRTM με αντίστοιχο ΨΜΑ από ψηφιοποιημένες ισοϋψείς από τους τοπογραφικούς χάρτες 1/50.000. Τα δύο ΨΜΑ έδωσαν σχεδόν πανομοιότυπες τρισδιάστατες αποτυπώσεις και παρόμοια στατιστικά. Σε άλλη μελέτη έγινε σύγκριση για δύο περιοχές της Κρήτης ενός ΨΜΑ από δεδομένα ASTER και ενός από δεδομένα SRTM. Η κατακόρυφη ακρίβεια υπολογίστηκε στα 41,6μ για την περιοχή του Ηρακλείου και στα 46,4μ για την περιοχή της Σητείας (Nikolakopoulos *et al.*, 2006). Τέλος, σε άλλη μελέτη για την περιοχή της Αθήνας (Nikolakopoulos *et al.*, 2006) υπολογίστηκε ότι το κατακόρυφο σφάλμα του SRTM ανέρχεται στα 33,21μ. Οι ακρίβειες που προκύπτουν από τις μελέτες αυτές υπερβαίνουν τις ακρίβειες που είχαν προβλεφτεί θεωρητικά αλλά θεωρούνται ικανοποιητικές λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα:

A) οι θεωρητικές ακρίβειες αναφέρονται στο αρχικά παραχθέν ΨΜΑ με μέγεθος εικονοστοιχείου 30μ. Η ακρίβεια του ΨΜΑ που χρησιμοποιήθηκε έχει υποστεί αναδόμηση (μέγεθος εικονοστοιχείου 90μ) οπότε και αναμένονται χειρότερες ακρίβειες.

B) ο ελλαδικός χώρος δύναται να παρουσιάζει χειρότερες ακρίβειες λόγω του έντονου ανάγλυφου του.

4. Συμπεράσματα

Τα δεδομένα του SRTM DEM αποτελούν μία αξιόπιστη πηγή υψομετρικής πληροφορίας για τη χώρα μας. Τόσο η κατακόρυφη ακρίβεια τους όσο κυρίως η πλήρης κάλυψη του χώρου και η ομοιογένεια των δεδομένων τα καθιστούν ιδανικά για περιβαλλοντικές και όχι μόνο μελέτες. Η κατακόρυφη ακρίβεια παρουσιάζει διακυμάνσεις από περιοχή σε περιοχή συναρτήσει του ανάγλυφου και κυμαίνεται μεταξύ 30 και 40m.

Βιβλιογραφία

Chrysoulakis, N., Diamandakis, M. And Prastacos, P., 2003: *GIS Integration of ASTER stereo imagery for the support of Watershed Management*. In: Lekkas, T. D. (Ed), Proceedings of the 8th International Conference on Environmental Science and Technology, pp. 111 – 118.

Chrysoulakis, N., Abrams, M., Feidas, H. And Velianitis, D., 2004: *Analysis of ASTER Multispectral Stereo Imagery to Produce DEM and Land Cover Databases for Greek Islands: The REALDEMS Project*. In: Prastacos, P., Cortes, U. De Leon, J. L., Murillo, M. (Eds): Proceedings of e-Environment: Progress and Challenge, pp. 411 – 424.

Hensley, S., Munjy, R., Rosen, P., 2001: In: Maune, D. (Ed.), *Interferometric Synthetic Aperture Radar (IFSAR), Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, pp. 143-206.

Hiroyuki Fujisada, G. Bryan Bailey, Glenn G. Kelly, Seiichi Hara, and Michael J. Abrams, 2005: ASTER DEM Performance, IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, Vol. 43, No. 12, p.2707-2714.

Lang H & R Welch, 1999: ATBD-AST-08 Algorithm Theoretical Basis Document for ASTER Digital Elevation Models. Standard Product AST14 Report, The Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Los Angeles, USA.

Lee, H.-Y., Kim, T., Park, W. And Lee, H.-K., 2003: Extraction of digital elevation models from satellite stereo images through stereo matching based on epipolarity and scene geometry. *Image and Vision Computing*, 21, 789-796.

Nikolakopoulos G. Konstantinos, Dimitrios A. Vaiopoulos, Georgios Aim. Skianis, 2005: SRTM DTM vs one created from 1/50.000 topographic maps. The case of Kos Island, Proc. of SPIE, Vol. 5980, p. 122-131.

Nikolakopoulos G. Konstantinos, Emmanuel K. Kamaratakis & Nektarios Chrysoulakis 2006: SRTM vs ASTER Elevation Products. Comparison for two Regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, ISSN: 0143-1161, Vol 27, No 21-22, 10 November 2006, p. 4819-4838.

Nikolakopoulos G. Konstantinos & Nektarios Chrysoulakis 2006: *Updating the 1:50.000 topographic maps using ASTER and SRTM DEM. The case of Athens, Greece*. 13th International Symposium on Remote Sensing of the International Society for Optical Engineering, 11-16 September 2006, Stockholm International Fairs, Stockholm, Sweden, Vol. 6366, p. 6366061-11.

Rosen, P., Eineder, M., Rabus, B., Gurrola, E., Hensley, S., Knöpfle, W., Breit, H., Roth, A. and Werner, M., 2001: *SRTM Mission – Cross Comparison of X and C Band Data Properties*. Proceedings of IGARSS, Sydney, Australia, unpaginated CD-ROM.

Row, L.W., Hastings, D.A., and Dunbar, P.K., 1995: *TerrainBase Worldwide Digital Terrain Data - Documentation Manual*, CD-ROM Release 1.0. National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado.

Toutin, Th., Chénier, R., And Carbonneau, Y., 2001: *3D Geometric Modelling of Ikonos Geo Images*, ISPRS Joint Workshop "High Resolution from Space. Hannover, Germany, unpaginated CD-ROM.

Toutin, Th., 2001, Elevation Modelling from Satellite VIR Data: A Review. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 1097 - 1125.

Toutin, Th, 2004: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and method. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 1893 - 1924.

Welch, R., Marko, W., 1981: Cartographic potential of spacecraft line-array camera system: stereosat, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 47 (8): 1173-1185.

Werner, 2001: Status of the SRTM data processing: when will the world-wide 30m DTM data be available? *Geo- Informationssysteme* 12/2001. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG. Heidelberg, pp. 6-10.

Zhen, X., Huang, X. And Kwoh, L., K., 2001: *Extracting DEM from SPOT Stereo Images*. 20th Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, unpaginated CD-ROM.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ HYPERION ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Νικολακόπουλος Κ.¹, Καραθανάση Β.²

¹IGME

²ΕΜΠ, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών

Περίληψη

Το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση υπερφασματικών δεδομένων τηλεπισκόπησης αποτέλεσε το κίνητρο ώστε σε αυτή την εργασία να ερευνησουμε τις δυνατότητες των δορυφορικών υπερφασματικών δεδομένων για τη χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών.

Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στον κόλπο της Χαλκίδας. Στη συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή έχουμε υποθαλάσσιες και παράκτιες πηγές, σχετικά αβαθή νερά με αυξημένη παρουσία υποθαλάσσιας βλάστησης, βιομηχανικά και αστικά απόβλητα. Όλα αυτά δημιουργούν ένα πολύ δυσδιάκριτο ως προς τη χαρτογράφηση υδάτινο τοπίο. Έτσι, κρίθηκε σκόπιμη η χρήση υπερφασματικών δεδομένων και ειδικών τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας για τη χαρτογράφηση της συγκεκριμένης παράκτιας περιοχής.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες Hyperion που ελήφθησαν, πάνω από την ίδια περιοχή με διαφορά εννέα ημερών, το καλοκαίρι του 2004. Με GPS εντοπίστηκαν οι περιοχές που εκβάλλουν οι πηγές και έγιναν μετρήσεις με ραδιόμετρο χειρός.

Έγινε μείωση του αρχικού όγκου των δεδομένων, και επιλογή συγκεκριμένων φασματικών ζωνών εφαρμόζοντας μαθηματικά και στατιστικά κριτήρια στη μετρήσεις με το ραδιόμετρο χειρός. Στην συνέχεια εφαρμόστηκαν αλγόριθμοι ταξινόμησης όπως οι SAM, Linear Unmixing κ.α.

Τα αποτελέσματα κρίνονται πολύ ικανοποιητικά. Ο εντοπισμός των υποθαλάσσιων πηγών δεν κατέστη δυνατός λόγω της χωρικής διακριτικής ικανότητας του δέκτη. Θαλάσσια ρεύματα και η παράκτια ζώνη της χλωροφύλλης αναγνωρίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν. Επιπλέον εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα από τη χρήση των αλγορίθμων τα οποία και παρουσιάζονται στην εργασία.

HYPERSPECTRAL DATA AND METHODS FOR COASTAL WATER MAPPING

Nikolakopoulos Konstantinos G. ¹, Karathanassi Vassilia ²

¹IGME

²National Technical University of Athens, School of Rural and Surveying Engineering,
Remote Sensing Laboratory

Abstract

Motivated by the increasing importance of hyperspectral remote sensing, this study investigates the potential of the current-generation satellite hyperspectral data for coastal water mapping.

Two narrow-band Hyperion images, acquired in summer 2004 within a nine day period, were used. The study area is situated at the northern sector of south Evvoikos Gulf, in Central Greece. Underwater springs, inwater streams, urban waste and industrial waste are present in the gulf. Thus, further research regarding the most appropriate methods for

coastal water mapping is advisable. In situ measurements with a GPS have located the positions of all sources of water and waste. At these positions groundspectro-radiometer measurements were also implemented.

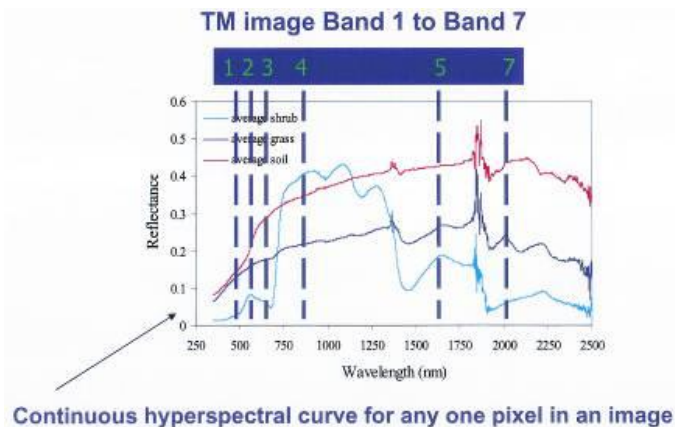
Two different approaches were used for the reduction of the Hyperion bands. First, on the basis of histogram statistics the uncalibrated bands were selected and removed. Then the Minimum Noise Fraction was used to classify the bands according to their signal to noise ratio. The noisiest bands were removed and thirty-eight bands were selected for further processing. Second, mathematical and statistical criteria were applied to the in situ radiometer measurements of reflectance and radiance in order to identify the most appropriate parts of the spectrum for the detection of underwater springs and urban waste. This approach has determined nine hyperspectral bands.

The Pixel Purity Index and the n-D Visualiser methods were used for the identification of the spectra endmembers. Both whole (Spectral Angle Mapper or Spectral Feature Fitting) and sub pixel methods (Linear Unmixing or Mixture-Tuned Matched Filtering) were used for further analysis and classification of the data.

Bands resulting from processing the groundspectro-radiometer measurements produced the highest classification results. The spatial resolution of the Hyperion hyperspectral data does not allow the detection and classification of underwater springs. Contrary, inwater streams and chlorophyll are satisfactorily classified. The SAM classification method seems to work better as the number of endmembers increases. The Linear Unmixing classification method gives better results as the number of endmembers decreases.

Λέξεις κλειδιά: υπερφασματικά δεδομένα, χαρτογράφηση παράκτιας περιοχής.

Key words: Hyperspectral, Hyperion, coastal water mapping.



Σχήμα 1. Ανακλάσεις τριών διαφορετικών επιφανειών (γρασίδι, έδαφος, θάμνοι) όπως καταγράφονται από τις πολυφασματικές και τις υπερφασματικές ζώνες αντίστοιχα.

1. Εισαγωγή

Οι περισσότεροι δορυφορικοί πολυφασματικοί δέκτες (Landsat, SPOT, AVHRR) καταγράφουν την ανάκλαση από τα διάφορα υλικά της γήινης επιφάνειας σε λίγες φαρδιές φασματικές ζώνες μήκους αρκετών δεκάδων ή εκατοντάδων nm. Ανάμεσά τους υπάρχουν φασματικά κενά διαστήματα δηλ στα οποία δεν καταγράφεται η ανακλώμενη ακτινοβολία. Σε

αντίθεση οι υπερφασματικοί δέκτες καταγράφουν τη φασματική ακτινοβολία σε μία σειρά από συνεχείς στενές φασματικές ζώνες της τάξης των 10nm. Έτσι η ανάκλαση ενός εικονοστοιχείου από υπερφασματικό δέκτη απεικονίζεται σαν μία συνεχής γραμμή και μοιάζει σαν ανάκλαση μετρημένη σε εργαστήριο φασματοσκοπίας. Αυτού του τύπου οι φασματικές ζώνες μπορούν θεωρητικά να καταγράψουν πολύ περισσότερη πληροφορία σε σχέση με τις κλασσικές πολυφασματικές ζώνες. Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται συγκριτικά οι ανακλάσεις τριών διαφορετικών επιφανειών όπως καταγράφονται από τις πολυφασματικές και τις υπερφασματικές ζώνες αντίστοιχα.

Τα υπερφασματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση ποικίλων υλικών και σε υδάτινο περιβάλλον. Π.χ. υπερφασματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού (Kallio et al., 2001; Ostlund et al., 2001; Flink et al., 2001; Galvao et al., 2003; Hakvoort et al., 2002), την χαρτογράφηση της βαθυμετρίας Sandidge and Holyer (1998) ή του ευτροφισμού σε λίμνες (Vos et al., 2003) και γενικά τη χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών (Nikolakopoulos et al., 2006).

2. Περιοχή μελέτης, δεδομένα και προεπεξεργασία των δεδομένων

Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στο βόρειο τμήμα του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου. Υποθαλάσσιες πηγές, θαλάσσια ρεύματα, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα συνθέτουν ένα περίπλοκο θαλάσσιο περιβάλλον ιδανικό για να δοκιμαστούν οι δυνατότητες που παρέχουν τα υπερφασματικά δεδομένα στο διαχωρισμό συγγενών ειδών.

Στην περιοχή αυτή εμφανίζονται καθ' όλο το έτος επιφανειακές εκκρές γλυκών νερών στην παράκτια ζώνη και επιπλέον διαμορφώνονται υποθαλάσσιες εκκρές, που σχηματίζουν στροβιλισμούς (ανάβαλοι). Οι ορατοί ανάβαλοι είναι 4-5 σε αριθμό, με διάμετρο από 1 έως 5 μ.



Σχήμα 2. Στα αριστερά παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και θέσεις των επιτόπιων μετρήσεων. Στα δεξιά η θαλάσσια περιοχή μελέτης μετά το διαχωρισμό θάλασσας-ξηράς.

Έγινε εντοπισμός και χαρτογράφηση στο ύπαιθρο με τη χρήση GPS όλων των θέσεων που εκβάλλουν οι υποθαλάσσιες πηγές. Επίσης χαρτογραφήθηκαν οι εστίες μόλυνσης. Σε όλες αυτές τις θέσεις έγιναν μετρήσεις της ανάκλασης με ραδιόμετρο χειρός. Επιπλέον σε συνεργασία με το ΕΛΚΕΘΕ έγιναν μετρήσεις θερμοκρασίας, αλατότητας και θολερότητας σε διάφορες θέσεις (σχήμα 2 αριστερό τμήμα).

Δύο εικόνες Hyperion που ελήφθησαν το καλοκαίρι του 2004 με διαφορά εννέα ημερών χρησιμοποιήθηκαν. Η πρώτη εικόνα ελήφθη στις 24 Ιουνίου και η δεύτερη στις 2 Ιουλίου.

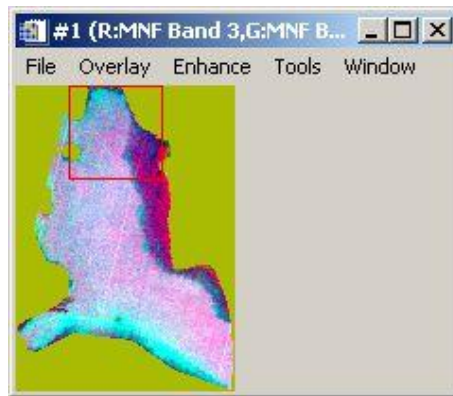
Ο δέκτης Hyperion φέρει δύο ραδιόμετρα και συλλέγει 242 φασματικές ζώνες με εύρος 10 nm. Οι εβδομήντα ζώνες συλλέγονται στο ορατό κοντινό υπέρυθρο τμήμα του φάσματος και οι υπόλοιπες στο μέσο υπέρυθρο. Το πλάτος της εδαφικής λωρίδας που σαρώνεται σε κάθε τροχιά είναι 7,5 km και η χωρική διακριτική ικανότητα είναι 30 μέτρα.

Οι εικόνες γεωαναφέρθηκαν στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ 87 και στη συνέχεια διαχωρίστηκε η στεριά από τη θάλασσα χρησιμοποιώντας μία δυαδική μάσκα (σχήμα 2 δεξιά τμήμα).

3. Μείωση του όγκου των δεδομένων και επιλογή φασματικών στόχων

Αρχικά, όλες οι φασματικές ζώνες εξετάστηκαν οπτικά. Ο οπτικός έλεγχος εντόπισε ζώνες που κυριαρχούνταν από θόρυβο ή δεν είχαν καταγράψει καμία πληροφορία. Στη συνέχεια εξετάστηκαν οι στατιστικές παράμετροι των φασματικών ζωνών. Ο έλεγχος των βασικών παραμέτρων του ιστογράμματος όπως η ελάχιστη τιμή, η μέγιστη τιμή, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση επιβεβαίωσαν την ύπαρξη ζωνών χωρίς χρήσιμη πληροφορία. Σαν αποτέλεσμα των δύο ελέγχων επιλέχθηκαν 118 ζώνες για την περαιτέρω ψηφιακή επεξεργασία.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η τεχνική Minimum Noise Fraction Transform (MNF) που παρουσίασαν οι Green *et al.*, (1988) για τη κατάταξη των υπερφασματικών ζωνών με βάση το λόγο σήματος προς θόρυβο και την μείωση του όγκου των δεδομένων. Οι πρώτες 38 συνιστώσες MNF (σχήμα 3) περιέχουν το μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας (καλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο) ενώ οι τελευταίες συνιστώσες κυριαρχούνται από θόρυβο. Οι 38 αυτές συνιστώσες αποτέλεσαν ένα πρώτο σετ δεδομένων.



Σχήμα 3. Ψευδέγχρωμος συνδυασμός από τις τρεις πρώτες συνιστώσες MNF.

Κατόπιν ο δείκτης ευαισθησίας Schlapfer (Schlapfer *et al.*, 1995) εφαρμόστηκε στις μετρήσεις reflectance and radiance του ραδιομέτρου με σκοπό να αναγνωριστούν οι πιο κατάλληλες περιοχές του φάσματος για τη διάκριση των υποθαλάσσιων αναβλύσεων. Οι υπαίθριες μετρήσεις έγιναν στις 23 Ιουνίου 2005 και απέδωσαν δεκαοχτώ ζώνες ευαίσθητες στον εντοπισμό των υποθαλάσσιων πηγών. Οι εννέα ζώνες προήλθαν από τις μετρήσεις radiance και οι άλλες εννέα από τις μετρήσεις reflectance. Ένα δεύτερο (από τις μετρήσεις radiance) και ένα τρίτο (από τις μετρήσεις reflectance) σετ δεδομένων δημιουργήθηκαν.

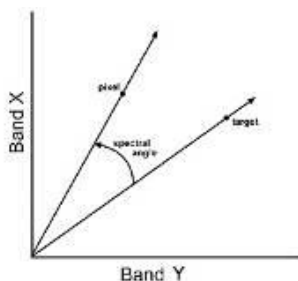
Οι συνιστώσες MNF προβάλλονται σε ένα χώρο n -διάστασεων όπου με γεωμετρικές μεθόδους απομονώνονται εικονοστοιχεία που παρουσιάζουν ακραίες τιμές (Boardman, 1993). Οι τεχνικές αυτές περιγράφηκαν για πρώτη φορά το 1990 (Craig, 1990). Ορίζεται μία σειρά από τυχαίες διευθύνσεις στο χώρο και πάνω σε αυτές προβάλλονται τα εικονοστοιχεία. Τυχόν ακραίες τιμές (χαμηλές ή υψηλές) σημειώνονται και για κάθε εικονοστοιχείο σημειώνεται το πόσες φορές θεωρήθηκε ακραίο (Boardman *et al.*, 1995). Στη συνέχεια τα εικονοστοιχεία με τις υψηλότερες τιμές (μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης σαν ακραίο) περνούν από μία διαδικασία ομαδοποίησης (clustering) η οποία δημιουργεί τους τελικούς φασματικούς στόχους.

4. Ανάλυση υπερφασματικών δεδομένων και ταξινόμηση

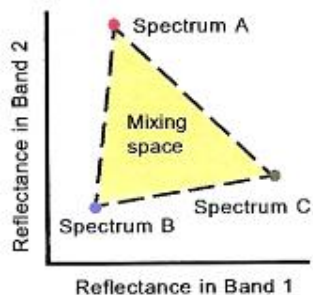
Πολλές μέθοδοι ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας αναπτύχθηκαν ειδικά για την εκμετάλλευση του μεγάλου όγκου πληροφορίας που περιέχεται στις υπερφασματικές εικόνες. Οι μέθοδοι αυτοί συγκρίνουν τη φασματική ανάκλαση του εικονοστοιχείου με μία φασματική ανάκλαση αναφοράς. Η ανάκλαση αναφοράς μπορεί να προέρχεται είτε από μία φασματική βιβλιοθήκη, είτε από συγκεκριμένες περιοχές που έχουν χαρτογραφηθεί, είτε από την ίδια την εικόνα (φασματικοί στόχοι).

Αυτές οι τεχνικές χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στην πρώτη περίπτωση θεωρούμε ότι σε κάθε εικονοστοιχείο περιλαμβάνεται ένας φασματικός στόχος. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται αλγόριθμοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης όπως οι *minimum distance* ή *maximum likelihood* (Richards and Jia, 1999), καθώς και αλγόριθμοι ειδικά σχεδιασμένοι για την ταξινόμηση υπερφασματικών δεδομένων όπως ο *Spectral Angle Mapper* (Yúhas et al., 1992) ή ο *Spectral Feature Fitting* που βασίζεται σε εργασία των (Clark et al., 1991). Ο αλγόριθμος *Spectral Angle Mapper* (SAM) παρουσιάζεται στο σχήμα 4 υπολογίζει τη γωνία που δημιουργείται μεταξύ του διανύσματος κάθε εικονοστοιχείου και του διανύσματος του φασματικού στόχου.

Στην παραπάνω περίπτωση θεωρήθηκε ότι κάθε εικονοστοιχείο περιέχει ένα μόνο φασματικό στόχο άρα και η ανάκλαση του είναι αντιπροσωπευτική του φασματικού στόχου. Δυστυχώς στη φύση αυτό δεν συμβαίνει. Κάθε εικονοστοιχείο αποτελεί μείγμα περισσότερων του ενός φασματικών στόχων, εξαλλοιώσεων και επιδράσεων της βλάστησης του νερού και της σκίασης του αναγλύφου. Κατά συνέπεια και η ανάκλαση από αυτό το εικονοστοιχείο διαφοροποιείται από την αντίστοιχη των φασματικών στόχων και πιθανότατα αποτελεί ένα μείγμα όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 5. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται αλγόριθμοι όπως ο *Complete Linear Spectral Unmixing* (Adams et al., 1986, Boardman, 1989) ή ο *Matched Filtering* (Boardman et al., 1995). Σε ιδανικές συνθήκες οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να εντοπίσουν φασματικούς στόχους που καλύπτουν μόλις το 1-3% του εικονοστοιχείου.



Σχήμα 4. Ταξινόμηση υπερφασματικών δεδομένων με βάση τον αλγόριθμο *Spectral Angle Mapper* (SAM).



Σχήμα 5. Τιμή ανάκλασης ενός σύνθετου εικονοστοιχείου TNT MIPS (2005).

5. Αποτελέσματα

Για την ταξινόμηση των MNF συνιστώσων χρησιμοποιήθηκαν τρεις από τους παραπάνω αλγόριθμους. Ειδικότερα οι αλγόριθμοι SAM, *Linear Spectral Unmixing*, και *Mixture-Tuned Matched Filtering* εφαρμόστηκαν σε τρία σετ δεδομένων. Το πρώτο αποτελούνταν από τις 38 συνιστώσες MNF. Το δεύτερο από τις εννέα ζώνες που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις reflectance και το τρίτο αποτελούνταν από τις εννέα ζώνες που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις radiance.

Καθώς ο ακριβής αριθμός των φασματικών στόχων δεν ήταν γνωστός έγιναν πολλές δοκιμές ταξινόμησης θεωρώντας ότι ο αριθμός των φασματικών στόχων ποίκιλε. Για το πρώτο σετ δεδομένων υποθέσαμε ότι ο αριθμός των φασματικών στόχων κυμαινόταν μεταξύ 17 και 3. Για το δεύτερο και το τρίτο σετ δεδομένων θεωρήθηκε ότι ο αριθμός των φασματικών στόχων κυμαινόταν μεταξύ 9 και 3.

Παρατηρήθηκε ότι ο αριθμός των επεξεργασμένων ζωνών διαφοροποιεί το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης. Στα σχήματα 6, 7 και 8 αποτυπώνονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης από τρία διαφορετικά σετ δεδομένων. Και στις τρεις περιπτώσεις θεωρήθηκε ότι ο αριθμός των φασματικών στόχων που περιέχονται στην εικόνα είναι 9. Η ταξινόμηση από το σετ δεδομένων των 38 MNF συνιστωσών έδωσε τα χειρότερα αποτελέσματα. Οι υποθαλάσσιες πηγές δεν εντοπίστηκαν (σχήμα 6). Αντιθέτως, τα σετ δεδομένων των εννέα ζωνών που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις του ραδιομέτρου έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα. Στο Βόρειο-ανατολικό τμήμα του κόλπου όταν εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος SAM στις μετρήσεις reflectance, παρατηρήθηκε θολερότητα του νερού (μωβ χρώμα) που δημιουργείται από τις δύο υποθαλάσσιες αναβλύσεις, από θαλάσσια ρεύματα και από διελεύσεις σκαφών (σχήμα 7). Η ίδια θολερότητα εντοπίζεται με δυσκολία όταν χρησιμοποιείται το σετ δεδομένων από τις μετρήσεις radiance (σχήμα 8). Κυρίως στο σχήμα 7 και λιγότερο στο σχήμα 8 φαίνεται ότι η παρουσία του φρέσκου νερού διαφοροποιεί το μωβ χρώμα της θάλασσας χωρίς όμως να μπορεί να χαρτογραφηθεί η ανάβλυση. Οι δεκαοχτώ ζώνες που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις του ραδιομέτρου περιλαμβάνονται και στο σετ των 38 άρα καθίσταται προφανές ότι ο μεγάλος αριθμός των ζωνών δεν επέτρεψε τον εντοπισμό του τυρβώδους ρεύματος αφού και στις τρεις περιπτώσεις οι ίδιοι αλγόριθμοι ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκαν.

Τα θαλάσσια ρεύματα εντοπίζονται και χαρτογραφούνται με ευκολία στα δύο πρώτα σετ δεδομένων. Στη μέση του κόλπου και με διεύθυνση Α-Δ υπάρχει ένα θαλάσσιο ρεύμα το οποίο εντοπίζεται με άσπρο χρώμα στο σχήμα 6 και με μωβ στο σχήμα 7. Η χλωροφύλλη καλύπτει όλη σχεδόν την ανατολική ακτή του κόλπου. Εντοπίστηκε και χαρτογραφήθηκε σε όλα τα σετ δεδομένων με τη χρήση του αλγόριθμου SAM. Παρουσιάζεται με διαφορετικά χρώματα (άσπρο χρώμα στο σχήμα 6 δεξιά, πράσινο χρώμα στο σχήμα 7 και φούξια στο σχήμα 8) ανάλογα με το σετ δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση.

Καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βελτιώνονται όταν χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι Linear Spectral Unmixing (σχήμα 9) και Mixture-Tuned Matched Filtering (σχήμα 10). Αντιθέτως, καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης χειροτερεύουν όταν ο αλγόριθμος Spectral Angle Mapper χρησιμοποιείται (σχήμα 11).

Γενικότερα, γίνεται αντιληπτό ότι ο αλγόριθμος MTMF δίνει τα χειρότερα αποτελέσματα ανεξάρτητα από τον αριθμό των ζωνών που επεξεργάζονται και ανεξάρτητα από τον αριθμό των φασματικών στόχων που περιλαμβάνονται.

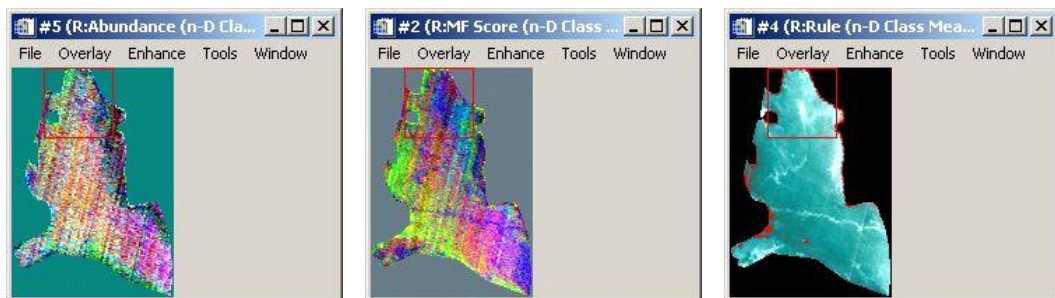
6. Συμπεράσματα

Τα δορυφορικά υπερφασματικά δεδομένα Hyperion αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για τη χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών. Η χωρική διακριτική ικανότητα του δέκτη δεν επιτρέπει τον εντοπισμό μικρών παράκτιων πηγών. Καθώς ο αριθμός των επεξεργασμένων ζωνών μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βελτιώνονται. Τα υπερφασματικά δεδομένα Hyperion δίνουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην ανίχνευση και ταξινόμηση τόσο της υποθαλάσσιας πανίδας (χλωροφύλλης) όσο και στον εντοπισμό θαλάσσιων ρευμάτων.

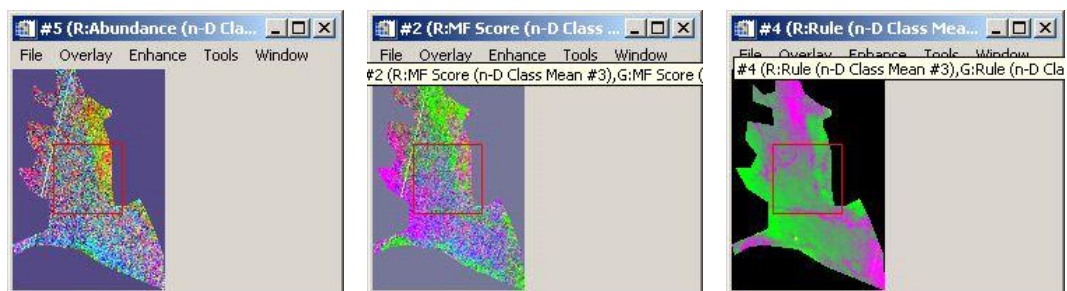
Για να επιτευχθεί η σωστή ταξινόμηση μίας εικόνας είναι απαραίτητη η εκ των προτέρων γνώση του αριθμού των φασματικών στόχων που περιλαμβάνονται στην εικόνα.

Καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βελτιώνονται όταν ο αλγόριθμος Linear Spectral Unmixing χρησιμοποιείται.

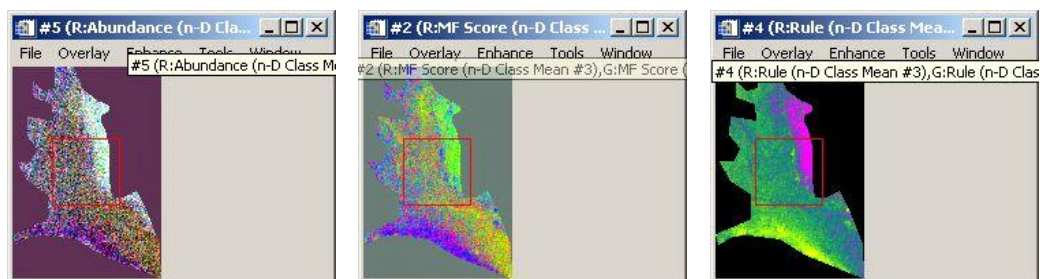
Αντιθέτως, καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης χειροτερεύουν όταν ο αλγόριθμος Spectral Angle Mapper χρησιμοποιείται.



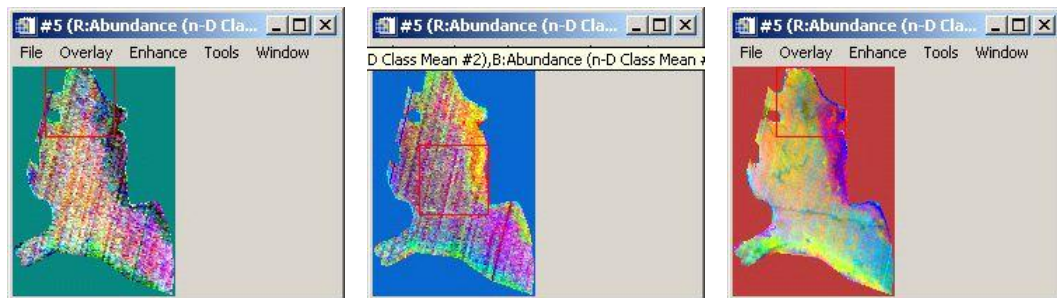
Σχήμα 6. Το σετ των δεδομένων αποτελείται από τις 38 συνιστώσες MNF. Θεωρήθηκε ότι η εικόνα περιέχει εννέα φασματικού στόχους. Από αριστερά προς τα δεξιά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης με βάση τους αλγόριθμους Linear Spectral Unmixing, Mixture-Tuned Matched Filtering και Spectral Angle Mapper.



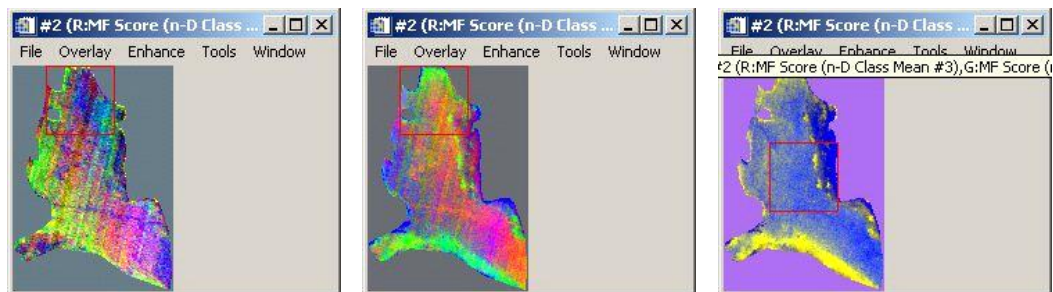
Σχήμα 7. Το σετ των δεδομένων αποτελείται από εννέα ζώνες του Hyperion που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις reflectance του ραδιομέτρου. Θεωρήθηκε ότι η εικόνα περιέχει εννέα φασματικού στόχους. Από αριστερά προς τα δεξιά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης με βάση τους αλγόριθμους Linear Spectral Unmixing, Mixture-Tuned Matched Filtering και Spectral Angle Mapper.



Σχήμα 8. Το σετ των δεδομένων αποτελείται από εννέα ζώνες του Hyperion που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις radiance του ραδιομέτρου. Θεωρήθηκε ότι η εικόνα περιέχει εννέα φασματικούς στόχους. Από αριστερά προς τα δεξιά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης με βάση τους αλγόριθμους Linear Spectral Unmixing, Mixture-Tuned Matched Filtering και Spectral Angle Mapper.



Σχήμα 9. Καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βελτιώνονται όταν ο αλγόριθμος *Linear Spectral Unmixing* χρησιμοποιείται. Από αριστερά προς τα δεξιά ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται (12, 5 και 3 αντίστοιχα). Το σετ των δεδομένων αποτελείται από τις 38 συνιστώσες MNF.



Σχήμα 10. Καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βελτιώνονται όταν ο αλγόριθμος *Mixture-Tuned Matched Filtering* χρησιμοποιείται. Από αριστερά προς τα δεξιά ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται (12, 5 και 3 αντίστοιχα). Το σετ των δεδομένων αποτελείται από τις 38 συνιστώσες MNF.



Σχήμα 11. Καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης χειροτερεύουν όταν ο αλγόριθμος *SAM* χρησιμοποιείται. Από αριστερά προς τα δεξιά ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται (9, 5 και 3 αντίστοιχα). Το σετ των δεδομένων αποτελείται από τις 9 εννέα ζώνες του *Hyperion* που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις *radiance* του ραδιομέτρου.

Ευχαριστίες

Η παρούσα μελέτη έγινε στα πλαίσια του προγράμματος «*Ανάπτυξη Αερομεταφερόμενου Συστήματος Τηλεσκοπικών Υπερφασματικών Δεκτών για την Εύρεση Υποθαλάσσιων και Παράκτιων Πηγών Γλυκού Νερού*» που χρηματοδοτήθηκε από το πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα του Υπουργείου Ανάπτυξης.

Βιβλιογραφία

Adams, J. B., Smith, M. O., and Johnson, P.E., 1986. Spectral mixture modelling: A new analysis of rock and soil types at the Viking Lander 1 site. *Journal of Geophysical Research*, vol. 91(B8), pp. 8090-8112.

Boardman, J. W., 1989. Inversion of imaging spectrometry data using singular value decomposition. *Proceedings of the Twelfth Canadian Symposium on Remote Sensing*, v. 4., pp. 2069-2072.

Boardman, J. W., 1993. Automating spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concept. In *Summaries of the Fourth Annual JPL Airborne Geosciences Workshop, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, 25-29 October 1993*, 93-26, 11-14.

Boardman, J. W., Kruse, F. A., and Green, R. O., 1995. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. In *Summaries of the Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication 95-1*, v. 1, pp. 23-26.

Clark, R. N., Swayze, G. A., Gallagher, A., Gorelick, N., and Kruse, F. A., 1991. Mapping with imaging spectrometer data using the complete band shape leastsquares algorithm simultaneously fit to multiple spectral features from multiple materials. In *Proceedings of the Third Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) workshop, JPL Publication 91-28*, pp. 2-3.

Craig, M. D., 1990. Unsupervised unmixing of remotely sensed images. In *Proceedings Fifth Australasian Remote Sensing Conference, Perth, Western Australia, 8-12 October 1990* (published by 5th Australian Remote Sensing Conference Incorporated, Perth), pp. 324-330.

Flink, P., T. Lindell, et al. (2001). Statistical analysis of hyperspectral data from two Swedish lakes. *Science of the Total Environment* 268(1-3): 155-169.

Galvao, L. S., W. Pereira, et al. (2003). Spectral reflectance characterization of shallow lakes from the Brazilian Pantanal wetlands with field and airborne hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing* 24(21): 4093-4112.

Green, A.A, Berman, M., Switzer, P., Craig, M.D., 1988. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 26, pp. 65-74.

Hakvoort Hans, Johan de Haan, Rob Jordans, Robert Vos, Steef Peters, & Machteld Rijkeboer. Towards airborne remote sensing of water quality in The Netherlands—validation and error analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 57 (2002) 171-183.

Kallio, K., T. Kutser, et al. 2001. Retrieval of water quality from airborne imaging spectrometry of various lake types in different seasons. *Science of the Total Environment* 268(1-3): 59-77.

Ostlund, C., P. Flink, et al. 2001. Mapping of the water quality of Lake Erken, Sweden, from Imaging Spectrometry and Landsat Thematic Mapper. *Science of the Total Environment* 268(1-3): 139-154.

TNTMIPS 2005. Introduction to Hyperspectral Imaging. p.24. Microimages, Inc. Lincoln, Nebraska, USA.

Richards, J.A., and Jia, X., 1999. Remote Sensing Digital Image Analysis, an Introduction. Third Edition. Springer-Verlag: Berlin.

Sandidge Juanita C. and Ronald J. Holyer, 1998. Coastal Bathymetry from Hyperspectral Observations of Water Radiance. Remote Sensing of Environment 65: 341–352.

Schlapfer D., Keller J., Schaepman M., Itten K.I., 1995. Imaging spectrometry of tropospheric ozone: methodology of channel selection. Presented at the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '95, IEEE International, July 10-14, Florence, Italy, Paper not published in the proceedings due to shortterm acceptance.

Vos R.J., J.H.M. Hakvoort, R.W.J. Jordans , B.W. Ibelings, 2003. Multiplatform optical monitoring of eutrophication in temporally and spatially variable lakes. The Science of the Total Environment 312 221–243.

Yuhas, R.H., Goetz, A. F. H., and Boardman, J. W., 1992. Discrimination among semiarid landscape endmembers using the spectral angle mapper (SAM) algorithm. In Summaries of the Third Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, JPL Publication 92-14, vol. 1, pp. 147-149.

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΜΩΝ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Νούτσου Β.¹, Αργιαλάς Δ.¹, Μιχάλης Π.², Αλβέρτος Ν.³

¹Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο vnoutsou@gmail.com, argialas@central.ntua.gr

²University College London, pmike@ge.ucl.ac.uk

³Εργαστήριο Φυσικής, Γενικό Τμήμα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, alvertos@aua.gr

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν νέες μέθοδοι για την ανίχνευση ακμών, και ιδιαίτερα αυτές που στηρίζονται στον μετασχηματισμός κυματιδίων. Στην παρούσα εργασία, δύο μέθοδοι που βασίζονται στο μετασχηματισμό κυματιδίων διερευνήθηκαν και υλοποιήθηκαν για την εξαγωγή ακμών σε δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης. Στη πρώτη μέθοδο χρησιμοποιείται το δισηρθογώνιο μητρικό κυματίδιο και ο πολλαπλασιασμός κλιμάκων ενώ η δεύτερη ένας νέος τύπος κυματιδίου το "contourlet". Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο μετασχηματισμός κυματιδίων οριζόμενος όπως παραπάνω παράγει ακριβή αποτελέσματα στην ανίχνευση ακμών σε εικόνες υψηλής ανάλυσης σε αστικές περιοχές.

EDGE DETECTION OF MANMADE OBJECTS USING WAVELETS IN HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES

Noutsou V.¹, Argialas D.¹, Michalis P.², Alvertos N.³

¹Remote Sensing Laboratory, School of Rural and Surveying Engineering, National Technical University of Athens, vnoutsou@gmail.com, argialas@central.ntua.gr

²University College London, pmike@ge.ucl.ac.uk

³Laboratory of Physics, Department of Science, Agricultural University of Athens, alvertos@aua.gr

Abstract

In recent years considerable interest was developed in new algorithms addressing the problem of edge detection, especially for high resolution satellite images. They are based on the wavelet transform. In this paper, two methods based on wavelets have been introduced and implemented for extracting edges. The first method was based on the biorthogonal mother wavelet and the scale multiplication scheme while the second method was based on a new wavelet named "contourlet". The results have shown that the wavelet transform using the biorthogonal wavelet produced accurate edge detection results on high resolution satellite images of urban areas. Moreover, the contourlet gave very good results, in detecting roads, some of their types, and other linear features.

Λέξεις κλειδιά: τηλεπισκόπηση, contourlet, ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων, πολλαπλασιασμός κλιμάκων, δρόμοι, κτίρια.

Key words: remote sensing, contourlet, multiresolution analysis, scale multiplication, roads, buildings.

1. Εισαγωγή

Οι δορυφορικές εικόνες μεγάλης χωρικής ανάλυσης με διακριτική ικανότητα καλύτερη του

μέτρου επέτρεψαν την χρήση της τηλεπισκόπησης στην αποτύπωση μεγάλων κλιμάκων ακόμα και σε αστικές περιοχές. Στις εφαρμογές αυτές ο προσδιορισμός των ακμών με ακρίβεια είναι σημαντικός καθώς αποτελούν τα όρια γεωχωρικών αντικειμένων όπως οδικό δίκτυο, κτίρια, αστική βλάστηση κτλ.

Στο παρελθόν, το πρόβλημα της ανίχνευσης ακμών στις αστικές περιοχές αντιμετωπιζόταν συνήθως με τη χρήση του αλγορίθμου Canny (Karantzalos and Argialas 2003, Mavrantza and Argialas, 2003) και του μετασχηματισμού Hough (Argialas and Krishnamoorthy, 1992). Τα τελευταία χρόνια υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για χρήση νέων μετασχηματισμών που χειρίζονται καλύτερα το πρόβλημα της ανίχνευσης ακμών. Οι μέθοδοι αυτοί στηρίζονται στην ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων, στην ανάλυση χρόνου-συχνοτήτων, στον αλγόριθμο πυραμίδων και στον μετασχηματισμό κυματιδίων (Gonzales et al., 2004).

Η ανάλυση κυματιδίων καθώς αποτελεί ανάλυση στο πεδίο του χρόνου (χώρου) και ταυτόχρονα στο πεδίο των συχνοτήτων παρουσιάζει πλεονέκτημα έναντι του μετασχηματισμού Fourier. Υπάρχουν πολλές μορφές κυματιδίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με την εφαρμογή, κάτι που δεν είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί εξ αρχής. Επιπλέον, υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι χρήσης της ανάλυσης κυματιδίων για εξαγωγή ακμών.

Δύο μέθοδοι εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσης εργασίας βασιζόμενες στην ανάλυση κυματιδίων, για ανίχνευση ακμών σε αστικές και ημιαστικές περιοχές, από εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης. Η πρώτη μέθοδος βασίστηκε στον πολλαπλασιασμό κλιμάκων που προτάθηκε από τους Zang και Bao (2002) και η δεύτερη στα "contourlets", κυματίδια "νέας γενιάς" τα οποία έχουν τη δυνατότητα προσδιορισμού της καμπυλότητας σε όλες τις κατευθύνσεις σε δισδιάστατο χώρο-εικόνες (Do, 2001).

Ακολουθεί το θεωρητικό υπόβαθρο του μετασχηματισμού κυματιδίων και contourlet, περιγραφή μεθόδων που στηρίζονται στους παραπάνω μετασχηματισμούς για ανίχνευση ακμών, παρουσίαση της εφαρμογής συγκεκριμένων μεθόδων σε δορυφορική εικόνα IKONOS και τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας καθώς και τα συμπεράσματα και τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής των μεθόδων αυτών.

2. Ανάλυση Κυματιδίων

Ο μετασχηματισμός Fourier αποτελούσε τον βασικό μετασχηματισμό στην ανάλυση εικόνας από τα τέλη της δεκαετίας του '50. Η ανάλυση Fourier είχε ένα σημαντικό μειονέκτημα, καθώς εφαρμόζεται μόνο στο πεδίο των συχνοτήτων, ενώ η θέση στο χώρο-χρόνο όπου συγκεκριμένες συχνότητες εμφανίζονται δεν είναι δυνατόν να αποτυπωθεί. Για την ενσωμάτωση και κάποιες πληροφορίας σχετικά με τη θέση χρησιμοποιήθηκε ο Short Time Fourier transform (Castelman, 1995) όπου η εικόνα χωρίζεται σε τμήματα (windows) προκαθορισμένου μεγέθους, δίνοντας χωρική ακρίβεια ανάλογη με το μέγεθος του παραθύρου που χρησιμοποιείται. Το μειονέκτημα είναι ότι το μέγεθος του παραθύρου είναι σταθερό για όλες τις συχνότητες. Η ανάλυση κυματιδίων επιτρέπει τη χρήση διαφορετικού μεγέθους παραθύρου προσδιορίζοντας με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ακρίβεια, άλλοτε της θέσης και άλλοτε της συχνότητας, χρησιμοποιώντας μεγάλα διαστήματα στις χαμηλές συχνότητες και μικρά στις υψηλές συχνότητες.

Η ανάλυση κυματιδίων αρχικά σχεδιάστηκε ως συνεχής ανάλυση και κατόπιν επεκτάθηκε σε διακριτό μετασχηματισμό σε περισσότερες διαστάσεις. Ο **Συνεχής Μετασχηματισμός Κυματιδίων** (Continuous Wavelet Transform / CWT) εκφράζεται ως:

$$\gamma(s,t) = \int f(t)\psi_{s,t}^*(t)dt \quad (1)$$

Η εξίσωση (1) δείχνει πως μία συνάρτηση $f(t)$ αποσυντίθεται σε ένα σύνολο από συναρτήσεις βάσης (basis functions) $\psi_{s,t}(t)$ που ονομάζονται κυματίδια. Οι μεταβλητές s και

τ , κλίμακα και μετάθεση, είναι οι νέες διαστάσεις μετά τον μετασχηματισμό. Ο αντίστροφος μετασχηματισμός κυματιδίων (εξίσωση 2) ανασυνθέτει την συνάρτηση χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις βάσης και τους συντελεστές που προέκυψαν από τον μετασχηματισμό (1).

$$\psi_{s,t}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (2)$$

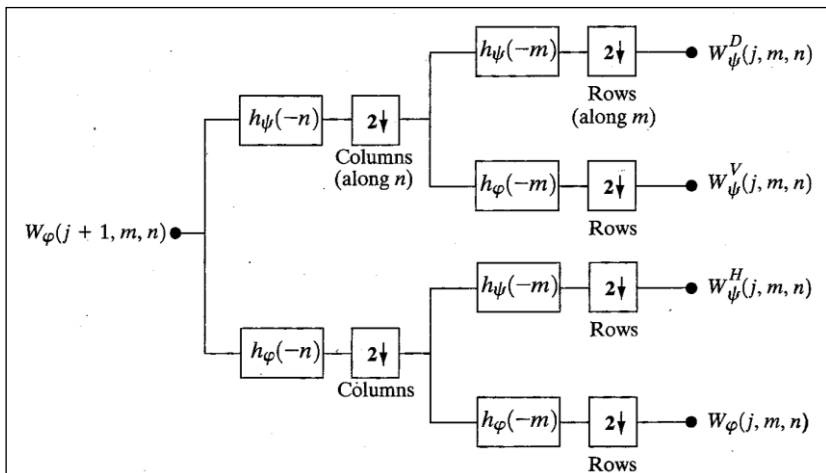
Η θεωρία του μετασχηματισμού κυματιδίων καθορίζει ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο ένα κυματίδιο σχεδιάζεται προκειμένου να εκπληρωθούν κάποια ειδικά κριτήρια. Δεν απαιτείται να καθοριστούν οι βασικές συναρτήσεις εκ των προτέρων. Τα κυματίδια έχουν περιορισμένη διάρκεια και μέση τιμή μηδέν και επομένως είναι ακανόνιστα και ασύμμετρα (Mallat, 1998).

Όπως φαίνεται από την εξίσωση (1) για πρώτου βαθμού μετασχηματισμό κυματιδίων η συνάρτηση $f(t)$ είναι δύο διαστάσεων. Αντίστοιχα για μετασχηματισμούς μεγαλύτερου βαθμού η συνάρτηση $f(t)$ αυξάνεται κατά μια διάσταση.

Για την επεξεργασία των ψηφιακών εικόνων χρησιμοποιείται ο **Διακριτός Μετασχηματισμός Κυματιδίων** (Discrete Wavelet transform / DWT). Ένας αποδοτικός τρόπος να εφαρμοστεί ο DWT με την χρήση φίλτρων αναπτύχθηκε από τον Mallat (1998) (Gonzales et al, 2004). Ο αλγόριθμος του Mallat είναι στην πραγματικότητα ένα κλασικό πλαίσιο γνωστό ως δισδιάστατος κωδικοποιητής υποζωνών.

Μία επαναληπτική υπολογιστική προσέγγιση του DWT παρουσιάζεται στην εικόνα 1. Τα $W\varphi(j, m, n)$ και $\{W\psi(j,m,n) \text{ for } H,V,D\}$ δεδομένα εξόδου στην Εικόνα 1 αποτελούν τους συντελεστές του DWT στην κλίμακα j . Τα πλαίσια που περιέχουν τα διανύσματα κλίμακας και κυματιδίων αποτελούν την χαμηλόσυχη και υψηλόσυχη αποδόμηση. Τα πλαίσια που περιλαμβάνουν τον αριθμό 2 και ένα βέλος προς τα κάτω αντιπροσωπεύουν υποδειγματοληψία.

Μία εικόνα φιλτράρεται στις στήλες και στις γραμμές με διαφορετικούς συνδυασμούς των διανυσμάτων κλίμακας και κυματιδίων και παράγονται τέσσερις συνιστώσες χαμηλότερης ανάλυσης. Οι συντελεστές $W\varphi$ δημιουργούνται μέσω δύο χαμηλοδιαπερατών φίλτρων και γι'αυτό αποκαλούνται συντελεστές προσέγγισης. Οι $\{W\psi(j,m,n)$ για τα $H,V,D\}$ αποτελούν τους οριζώντιους, κάθετους και διαγώνιους συντελεστές, αντίστοιχα. Αυτή είναι η παρουσίαση της πρώτης επανάληψης (Εικόνα 1). Η δεύτερη επανάληψη θα θεωρηθεί ως δεδομένα εισόδου τους συντελεστές προσέγγισης $W\varphi$.



Εικόνα 2. Γρήγορος Μετασχηματισμός Κυματιδίων (πηγή: Gonzales et al., 2004)

3. Κυματίδια και ανίχνευση ακμών

Στις εικόνες, οι ακμές εμφανίζονται ως σημεία όπου παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές στη φωτεινότητα χωρίζοντας τα διαφορετικά αντικείμενα μεταξύ τους. Οι άνθρωποι μπορούν εύκολα να διακρίνουν τα όρια των διαφορετικών αντικειμένων σε μια εικόνα χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους πληροφοριών όπως τη φωτεινότητα, την υφή, το χρώμα καθώς και την αποκτηθείσα εμπειρία. Εντούτοις αυτή η ανθρώπινη διαδικασία κατανόησης είναι δύσκολο να αυτοματοποιηθεί. Σύμφωνα με τους Marr and Hildreth (1980), πολλαπλές κλίμακες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την ποικιλία των ακμών και κατόπιν να συνθέσουν ένα ενιαίο χάρτη ακμών. Η ανάλυση κυματιδίων ως ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανίχνευση ακμών.

Τεχνικές ανίχνευση ακμών που βασίζονται στην ανάλυση κυματιδίων έχουν παρουσιαστεί από το 1992. Οι Mallat και Zhong (1992) πρότειναν την χρήση μίας ελαστικής συνάρτησης (spline) δευτέρου βαθμού ως μητρικό κυματίδιο το οποίο προσεγγίζει την πρώτη παράγωγο της Γκαουσιανής, και τον προσδιορισμό των ακμών υπολογίζοντας τα τοπικά μέγιστα του μετασχηματισμού κυματιδίων. Απέδειξαν ότι η μέθοδος είναι αντίστοιχη του Canny ανιχνευτή ακμών. Βασισμένοι σε αυτό το μοντέλο οι Zang και Bao (2002) πρότειναν ένα σχήμα ανίχνευσης ακμών με πολλαπλασιασμό κλιμάκων (η μέθοδος παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην συνέχεια).

Ο Ducotet και οι συνεργάτες του (2004) πρότειναν μοντελοποίηση των ακμών βάσει των χαρακτηριστικών της ανάλυσης κυματιδίων όπου τα σημεία ακμών χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τις ομοιότητές τους με πρότυπες ακμές. Ο Sun και οι συνεργάτες του (2004) πρότειναν έναν αλγόριθμο βασισμένο σε στατιστικές μεθόδους για να επεξεργαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης κυματιδίων και να χαρακτηρίσουν τις ακμές. Οι Shih και Tseng (2005) πρότειναν μία μέθοδο ανίχνευσης ακμών η οποία πραγματοποιείται σε δύο στάδια προσδιορισμό των πιθανών σημείων ακμών και κατόπιν χάραξη των ακμών. Μια διαδικασία βελτιστοποίησης, που χρησιμοποιεί τα τρία κριτήρια του Canny, προτάθηκε από τον Hsieh και τους συνεργάτες του (1997) για τη δημιουργία νέων φίλτρων- κυματιδίων.

Επιπλέον, η ανάλυση κυματιδίων έχει χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές ανάλυσης εικόνας κυρίως για συμπίεση, απομάκρυνση θορύβου και συγχώνευση εικόνων. Επίσης η χρησιμότητα της εξετάστηκε στην κατάτμηση και στην ταξινόμηση (Liaris et al., 1997).

4. Πολλαπλασιασμός Κλιμάκων

Στο σχήμα ανίχνευσης ακμών με πολλαπλασιασμό κλιμάκων που προτάθηκε από τους Zang και Bao (2002), χρησιμοποιούνται δύο διαδοχικά υποκανάλια του διακριτού μετασχηματισμού κυματιδίων (DWT) τα οποία πολλαπλασιάζονται ως συνάρτηση γινομένου (product function) και οι ακμές προσδιορίζονται ως τα τοπικά μέγιστα στο γινόμενο μετά από κατωφλίωση. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι ο πολλαπλασιασμός κλιμάκων εντείνει τις δομές της εικόνας και μειώνει τον θόρυβο. Επιπλέον, δημιουργείται ένας ολοκληρωμένος χάρτης ακμών αποφεύγοντας την διαδικασία της εκ των υστέρων σύνθεσης, όπως συμβαίνει με άλλους ανιχνευτές ακμών πολλαπλών κλιμάκων όπου ο χάρτης ακμών δημιουργείται σε διαφορετικές κλίμακες και κατόπιν αυτές συνενώνονται. Έχει αποδειχθεί (Zhang και Bao, 2002) ότι επιτυγχάνεται βελτίωση στην ακρίβεια της θέσης εντοπισμού σε σχέση με την χρήση της κάθε κλίμακας ξεχωριστά.

Το κυματίδιο που χρησιμοποιείται στο σχήμα πολλαπλασιασμού κλιμάκων (εξίσωση 1) είναι αυτό που προτάθηκε από τους Mallat και Zhong (1992). Η συνάρτηση κλίμακας προσεγγίζει την Γκαουσιανή και ο Διακριτός Μετασχηματισμός Κυματιδίων (DWT) είναι ισοδύναμος του Canny ανιχνευτή ακμών (Mallat and Zhong, 1992).

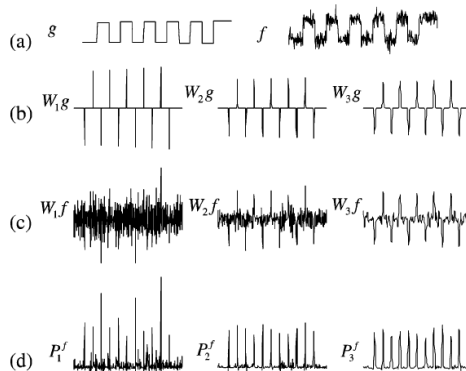
$$\varphi(x) = \begin{cases} 0 & |x| \geq 1 \\ \varphi(-x) & 0 \leq x \leq 1 \\ -8x^3 - 8x^2 + 4/3 & -0.5 \leq x \leq 0 \\ 8(x+1)^3/3 & -1 \leq x \leq -0.5 \end{cases}$$

$$\psi(x) = \begin{cases} 0 & |x| \geq 1 \\ -\psi(-x) & 0 \leq x \leq 1 \\ -24x^2 + 16x & -0.5 \leq x \leq 0 \\ 8(x+1)^2 & -1 \leq x \leq -0.5 \end{cases}$$

Εξ. 1

Οι ακμές σε ένα σήμα τείνουν να διατηρούνται καθώς αλλάζει η κλίμακα, επομένως πολλαπλασιάζοντας τα αποτελέσματα του Διακριτού Μετασχηματισμού Κυμματιδίων (DWT) από γειτονικές κλίμακες οι ακμές θα γίνουν πιο έντονες, ενώ θα μειωθεί ο θόρυβος ο οποίος ελαττώνεται σημαντικά με την αλλαγή κλίμακας.

Στην Εικόνα 2(a), παρουσιάζεται ένα σήμα g και μία εκδοχή του με προσθήκη θορύβου $f=g+\varepsilon$ και στις Εικόνες 2(b) και 2(c) ο DWT στις πρώτες τρεις κλίμακες για τα δύο σήματα. Είναι φανερό ότι στη μικρότερη κλίμακα οι συντελεστές κυμματιδίων W_1f σχεδόν κυριαρχούνται από τον θόρυβο, ενώ στις επόμενες ο θόρυβος μειώνεται γρήγορα. Φαίνεται επίσης ότι στις μικρές κλίμακες η θέση των ακμών εντοπίζεται καλύτερα. Στις μεγάλες κλίμακες η αναλογία σήματος θορύβου βελτιώνεται και οι ακμές μπορούν να εντοπιστούν πιο σωστά αλλά με μείωση της ακρίβειας προσδιορισμού της θέσης. Στην Εικόνα 2(d), παρουσιάζεται το γινόμενο κλιμάκων P_{fj} , $j=1-3$. Είναι εμφανές ότι οι ακμές είναι περισσότερο ευδιάκριτες στο γινόμενο P_{fj} παρά στους συντελεστές W_{fj} . (Zhang and Bao, 2002)



Εικόνα 3. (a) Σήμα g και μία εκδοχή του με θόρυβο f , (b), (c) Διακριτός Μετασχηματισμός Κυμματιδίων των σημάτων g και f , αντίστοιχα, στις τρεις πρώτες κλίμακες, (d) τα αποτελέσματα του πολλαπλασιασμού κλιμάκων στο σήμα f . (πηγή: Zhang and Bao, 2002)

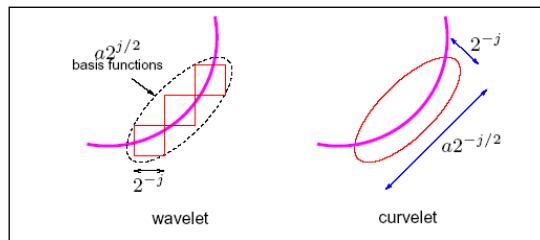
Οι ακμές εντοπίζονται ως τα τοπικά μέγιστα στο γινόμενο P_{fj} . Ο πολλαπλασιασμός κλιμάκων θα βελτιώσει την απόδοση της ανίχνευσης (κυρίως όσον αφορά την ακρίβεια θέσης) και θα μειώσει την επιρροή γειτονικών ακμών (Zhang and Bao, 2002).

5. Contourlets

Τα κυματίδια υιοθετήθηκαν αρχικά στην επεξεργασία σημάτων λόγω της καλής απόδοσης και αναπαράστασης των σημάτων ως τμηματικά ομαλές καμπύλες σε μια διάσταση. Όμως, οι

εικόνες αποτελούν ουσιαστικά δισδιάστατα σήματα, τα οποία είναι ομαλά μακριά από τις καμπύλες ασυνέχειες. Επιπλέον, ο μετασχηματισμός κυματιδίων εφαρμόζεται μόνο σε τρεις κατευθύνσεις (οριζόντιος, κάθετος και διαγώνιος). Κατά συνέπεια, τα κυματίδια δίνουν καλά αποτελέσματα στην απομόνωση των ασυνεχειών στα σημεία ακμών, αλλά δεν θα ανιχνεύσουν την καμπυλότητα κατά μήκος των γραμμών.

Πρόσφατα, ένας νέος μετασχηματισμός, που ονομάστηκε curvelet (καμπυλιδίο), παρουσιάστηκε με κύρια χαρακτηριστικά την υψηλή κατευθυντικότητα και την ανισοτροπία. Οι βάσεις συναρτήσεων curvelet μπορούν να θεωρηθούν ως μία τοπική ομαδοποίηση βασικών κυματιδιακών συναρτήσεων σε γραμμικές δομές έτσι ώστε να μπορούν να εντοπίσουν την ομαλή καμπύλωτη ασυνέχεια πιο αποτελεσματικά.



Εικόνα 4. Μη γραμμική προσέγγιση ομαλών καμπυλών (source: Do, 2001)

Η αρχική κατασκευή του μετασχηματισμού curvelet αφορούσε συναρτήσεις προσδιοριζόμενες στο συνεχή χώρο \mathbf{R}^2 , αποτελώντας ένα συνεχή μετασχηματισμό. Η ανάπτυξη των διακριτών μετασχηματισμών για ψηφιακές εικόνες που υπόσχονται όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των curvelets στον συνεχή χώρο ήταν μια πρόκληση. Όμως ο μετασχηματισμός curvelet καθορίστηκε στην περιοχική συχνότητας, και δεν είναι δυνατόν τα curvelets να αποδώσουν τη χωρική πληροφορία. (Do and Vetterli, 2003).

Η πρόκληση στη ανίχνευση της γεωμετρίας και της κατευθυντικότητας των ακμών στις εικόνες προέρχεται από την ίδια την διακριτή φύση των εικόνων οι οποίες καθορίζονται ως ορθογώνια πλέγματα. Για παράδειγμα, οι κατευθύνσεις σε ένα ορθογώνιο πλέγμα, πέρα από οριζόντιο και την κατακόρυφο κατεύθυνση, εμφανίζονται πολύ διαφορετικές. Λόγω της διακριτής φύσης των εικόνων, η έννοια των ομαλών καμπυλών σε ένα ορθογώνιο πλέγμα δεν είναι προφανής.

Για την κατασκευή των contourlets, χρησιμοποιείται αρχικά ένας μετασχηματισμός κυματιδιακής μορφής για την ανίχνευση ακμών (σημεία) και έπειτα ένας τοπικός μετασχηματισμός κατεύθυνσης για την ανίχνευση τμημάτων καμπυλών. Αυτή η προσέγγιση είναι παρόμοια με τον δημοφιλή μετασχηματισμό Hough για την ανίχνευση γραμμών. Έτσι, μια δομή τραπεζών διπλών φίλτρων κατασκευάστηκε στήν οποία, πρώτα, χρησιμοποιείται η Λαπλασιανή πυραμίδα (LP) για να εντοπίσει τα σημεία ασυνέχειας, και έπειτα μια τράπεζα φίλτρων κατεύθυνσης (Directional Filter Bank- DFB) χρησιμοποιείται για να συνδέσει τα σημεία ασυνέχειες σε γραμμικές δομές. (Do, 2001).

6. Διαδικασία Εφαρμογής

Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε μία εικόνα IKONOS pan-sharpened της ημιαστικής περιοχής του Αγίου Στεφάνου Αττικής, για να εξεταστεί η απόδοση δύο μεθόδων που επιλέχθηκαν για την ανίχνευση ακμών. Επιλέχθηκε η ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων διότι βασίζεται στην ανάλυση κυματιδίων και δίνει καλά αποτελέσματα στις περιπτώσεις που υπάρχει θόρυβος και εξετάστηκε η απόδοσή της σε εικόνες υψηλής ανάλυσης όπου η λεπτομέρεια θεωρήθηκε ως θόρυβος, ο οποίος μειώνεται στα μεγάλα επίπεδα του μετασχηματισμού κυματιδίων. Ο contourlet μετασχηματισμός επιλέχθηκε διότι είναι κατάλληλος για επεξεργασία δισδιάστατων διακριτών σημάτων (ψηφιακές εικόνες), όπως

είναι και οι δορυφορικές εικόνες και επιπλέον χρησιμοποιεί περισσότερες κατευθύνσεις στο μετασχηματισμό και μπορεί να εντοπίσει καλύτερα τις καμπύλες ακμές.

6.1 Πολλαπλασιασμός Κλιμάκων

Αρχικά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκε μια παραλαγή της μεθοδολογίας που προτάθηκε από τους Jang και Bao (2002). Το δισορθογώνιο κυματίδιο `rbio3.1` χρησιμοποιήθηκε από τη βάση δεδομένων του λογισμικού MATLAB, καθώς είναι αντισυμμετρικό και μοιάζει με το κυματίδιο που προτάθηκε από τον Mallat και επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε διπλή κατωφλίωση και όχι απλή.

Ο πολλαπλασιασμός κλίμακας εξετάστηκε πρώτιστα σε τεχνητές εικόνες με θόρυβο (που περιέχουν ευθείες γραμμές διαφορετικών κατευθύνσεων και καμπύλες γραμμές) όπου ήταν ευκολότερο να αξιολογηθεί η απόδοση της μεθόδου και να συγκριθεί με άλλες. Έπειτα εφαρμόστηκε σε πραγματικές δορυφορικές εικόνες όπου χρησιμοποιήθηκαν εικόνες IKONOS από διαφορετικές περιοχές.

Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται η αρχική εικόνα που χρησιμοποιήθηκε. Τα επίπεδα 1-2 του μετασχηματισμού κυματιδίων χρησιμοποιήθηκαν στον πολλαπλασιασμό κλιμάκων, επειδή τα κτήρια και οι δρόμοι σε αυτήν την εικόνα δεν είναι αρκετά μεγάλα ώστε να επιτρέπουν τη χρήση υψηλότερων επιπέδων κλίμακας. Διαπιστώθηκε ότι οι ακμές των ανθρωπογενών αντικειμένων ανιχνεύθηκαν και επιπλέον, στους ελεύθερους χώρους όπου υπάρχουν μικρά δέντρα, οι ακμές των δέντρων δεν ανιχνεύθηκαν. Με άλλα λόγια ανιχνεύθηκαν ανθρωπογενή αντικείμενα χωρίς να προκληθεί σύγχυση από την λεπτομερή πληροφορία των δορυφορικών εικόνων μεγάλης διακριτικής ικανότητας. Τα αποτελέσματα ήταν ελαφρώς καλύτερα από αυτά του ανιχνευτή Canny, αλλά θα μπορούσαν να βελτιωθούν περαιτέρω, με την επιλογή ενός καλύτερου μητρικού κυματιδίου.



Εικόνα 5. Αρχική εικόνα (IKONOS, SpaceImaging)



Εικόνα 6. Ακμές που έχουν ανιχνευτεί επί RGB εικόνας



Εικόνα 7. Canny ανίχνευση



Εικόνα 8. Ανίχνευση ακμών με πολλαπλασιασμό κλιμάκων

6.2 Contourlets

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκε ένα σχήμα ανίχνευσης ακμών, βασισμένο στην εργαλειοθήκη contourlet. Οι συντελεστές contourlet αποτελούν πίνακες που δεν αντιστοιχούν στις διαστάσεις της εικόνας, έτσι δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τοπικά κριτήρια στους πίνακες των συντελεστών. Κατά συνέπεια, οι ακμές ανιχνεύθηκαν στην αναδομημένη εικόνα όπου οι συντελεστές προσέγγισης μειώθηκαν σε μηδέν δεδομένου ότι δεν περιέχουν σημαντικές πληροφορίες για τις ακμές. Παρατηρήθηκε ότι χρησιμοποιώντας μόνο τους συντελεστές των χαμηλότερων κλιμάκων, τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά και προκειμένου να ανιχνευθούν μεγάλα αντικείμενα απαιτούνται και οι συντελεστές υψηλότερων επιπέδων. Γι'αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα επίπεδα.

Κατόπιν εφαρμόστηκε κατωφλίωση στην αναδομημένη εικόνα για να διατηρηθούν μόνο οι σημαντικότερες τιμές. Τέλος, για την παραγωγή του τελικού χάρτη ακμών χρησιμοποιήθηκε ένας μορφολογικός καθαρισμός για την μείωση των ακμών.

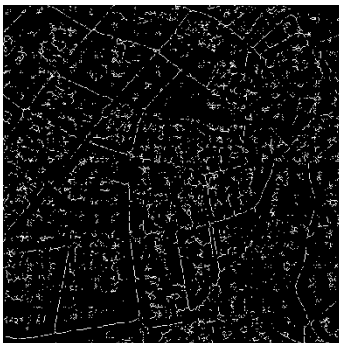
Στις ακόλουθες εικόνες (σχήματα 9-12) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής των contourlets σε μια προαστιακή περιοχή προκειμένου να ανιχνευθεί το δευτερεύον οδικό δίκτυο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι σχεδόν όλοι οι δρόμοι ανιχνεύθηκαν και το οδικό δίκτυο διατηρήθηκε (σχήμα 12) μετά από τον 'καθαρισμό' της εικόνας.



Εικόνα 9. IKONOS Pansharpened, 321 composite (SpaceImaging)



Εικόνα 10. Αναδομημένη εικόνα μετά την αφαίρεση συντελεστών



Εικόνα 11. Χάρτης ακμών



Εικόνα 12. Χάρτης ακμών μετά από εφαρμογή μορφολογικών τελεστών στην εικόνα 11

Στην αναδομημένη εικόνα οι υψηλές θετικές και αρνητικές τιμές αποτελούν σημεία ακμών. Έτσι, μπορούν να δημιουργηθούν δύο εικόνες ακμών, μια για τις θετικές τιμές και μια για τις αρνητικές, με τη χρήση διαφορετικών ορίων. Ο τελικός χάρτης ακρών θα προκύψει από τη σύνθεση των άλλων δύο χαρτών.

Στην περίπτωση της ανίχνευσης του οδικού δικτύου, η δημιουργία δύο χαρτών ακμών, αποδείχθηκε πολύ χρήσιμη στην ανίχνευση διαφορετικού είδους δρόμων. Οι κύριοι δρόμοι (άσφαλτος) εμφανίζονται σκοτεινότεροι από τους δευτερεύοντες δρόμους, κυρίως στην υπέρυθρο κανάλι. Χρησιμοποιώντας κατά συνέπεια το κατάλληλο κανάλι ή τον κατάλληλο συνδυασμό καναλιών, το κύριο οδικό δίκτυο μπορεί να καθοριστεί από τις αρνητικές τιμές και το δευτερεύον αγροτικό δίκτυο από τις θετικές.

Στις ακόλουθες εικόνες (σχήματα 13-14) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου στην ανίχνευση του κύριου οδικού δικτύου. Δεδομένου ότι αυτοί οι δρόμοι είναι αρκετά μεγάλοι σε πλάτος, οι λεπτομέρειες του χαμηλότερου επιπέδου στο μετασχηματισμό contourlet δεν χρησιμοποιήθηκαν επειδή περιέχουν λεπτομέρειες που δυσχεραίνουν τη σωστή ανίχνευσή τους. Μπορεί εύκολα να φανεί ότι τα καμπύλα σημεία των δρόμων ανιχνεύονται καλά. Μερικά προβλήματα εμφανίζονται μόνο στους πολύ μεγάλους δρόμους.



Εικόνα 13. IKONOS, band 4
(SpaceImaging)



Εικόνα 14. Χάρτης ακμών μετά από εφαρμογή μορφολογικών τελεστών

7. Συμπεράσματα

Τα δύο κύρια πλεονεκτήματα της ανάλυσης κυματιδίων είναι ότι αποτελεί μετασχηματισμό που στηρίζεται στην ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων διατηρώντας την χωρική πληροφορία. Μια εικόνα μπορεί να αναλυθεί σε συνιστώσες που περιέχουν τις πληροφορίες των διαφορετικών συχνότητων ή με άλλα λόγια πληροφορίες των διαφορετικών κλιμάκων χωρίς απώλεια των θέσεων των ακμών. Επιπλέον η μέθοδος είναι πολύ ευέλικτη καθώς επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών μητρικών κυματιδίων και την δημιουργία νέων, περισσότερο κατάλληλων για συγκεκριμένες εφαρμογές.

Η ανάλυση κυματιδίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανίχνευση ακμών σε εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης όπου η έννοια της κλίμακας είναι πολύ σημαντική. Ο πολλαπλασιασμός κλιμάκων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση των ορίων των κτιρίων και των δρόμων αποφεύγοντας την ανίχνευση μικρών αντικειμένων όπως μικρά δέντρα, αυτοκίνητα στο δρόμο κτλ. Η μέθοδος μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση άλλων κυματιδίων αλλά και με τη χρήση στατιστικών μεθόδων για τον χαρακτηρισμό των ακμών.

Όσον αφορά στα contourlets, η χρήση τους στη ανάλυση εικόνων είναι πολλά υποσχόμενη καθώς λαμβάνει υπόψη την κλίση των ακμών στην ανίχνευση. Τα contourlets δίνουν καλά αποτελέσματα στην ανίχνευση γραμμικών χαρακτηριστικών από δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης. Ανιχνεύουν ικανοποιητικά τους δρόμους και δίνουν τη δυνατότητα

διαχωρισμού τους σε δύο κατηγορίες (κύριοι δρόμοι από δευτερεύοντες). Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, λαμβάνοντας υπόψη ότι μαζί με τον προσδιορισμό της ακμής γίνεται και ποιοτικός προσδιορισμός της. Τα αποτελέσματα μπορούν να βελτιωθούν με τη χρήση μορφολογικών τελεστών για να απομονώσουν το οδικό δίκτυο από άλλες ακμές.

Συμπερασματικά η ανάλυση κυματιδίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποικιλοτρόπως με χρήση διαφορετικών κυματιδίων αλλά και με τον προσδιορισμό νέων. Επιπρόσθετα οι πληροφορίες των διαφορετικών κλιμάκων και η χρήση των στατιστικών ή άλλων μεθόδων μπορούν να οδηγήσουν στην βελτίωση των αποτελεσμάτων της ανίχνευσης. Κατά συνέπεια, οι δυνατότητες της ανάλυσης κυματιδίων στην ανίχνευση ακμών, είναι απεριόριστες και είναι πραγματικά σημαντική η απόδοσή τους στις δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης, όπου οι κλασσικές μέθοδοι δεν αποδίδουν ανάλογα.

Ευχαριστίες

Το έργο αυτό συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (75%) και από Εθνικούς πόρους (25%) – Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Εκπαίδευσης και Αρχικής Επαγγελματικής Κατάρτισης (ΕΠΕΑΕΚ) και ειδικότερα από το πρόγραμμα ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ.

Βιβλιογραφία

Argialas, D., and S. Krishnamoorthy, (1992). Detection of lines and circles in maps and engineering drawings. In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIX, part B, Commission III, 392-399, L. Fritz and J. Lucas Editors, XVII ISPRS Congress, Washington D.C. August 2-14, 1992.

Castelman R, 1995. Digital Image Processing, Prentice Hall, 2nd Edition, pp667.

Do, M. (2001). Directional Multiresolution Image Representations. PhD thesis submitted to Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL), pp208.

Do, M. and Vetterli, M. (2003). Contourlets, Beyond Wavelets, G. V. Welland ed., Academic Press, 1-27.

Do, M. and Vetterli, M. (2005) The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation, IEEE Transactions Image on Processing, 14(12): 2091-2106.

Ducottet, C. Fournel, T. Barat, C. (2004). Scale-adaptive detection and local characterization of edges based on wavelet transform, in Signal Processing, 84: 2115-2137.

Gonzales, R. Woods, R. Eddins, S. (2004). Digital Image Processing using Matlab, Pearson Education, pp.620.

Hsieh, J.W., Ko, M.T. Liao, H.Y.M. and Fan, K.C. (1997). A New Wavelet-Based Edge Detector via Constrained Optimization, Image and Vision Computing, 15: 511-527.

Karantzalos, K. and D. Argialas (2003), Evaluation of Selected Edge Detection Techniques in Remotely Sensing Images, in Image and Signal Processing for Remote Sensing VIII, S. Serpico (Editor) Proceedings of SPIE International Conference on Remote Sensing, Vol. 4885 (2003), 23-26 September 2002, Agia Pelagia, Crete, pp. 102-110.

Liapis, S., Alvertos, N. and Tziritas, G. (1997). Maximum Likelihood Texture Classification and Bayesian Texture Segmentation Using Discrete Wavelet Frames, International Conference on Digital Signal Processing, 2: 1107-1110.

Mallat, S. (1998). A Wavelet Tour of Signal Processing, Second edition, Academic Press, San Diego, pp637.

Mallat, S., and Zhong, S. (1992). Characterization of Signals from Multiscale Edges, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14(7): 710-732.

Mavrantza, O. D. and D. P. Argialas (2003), Quantitative evaluation of edge detection techniques in automated lineament mapping for a volcanic geotectonic environment, in Proceedings of the 2003 Tyrrhenian International Workshop on Remote Sensing, 15-18 September 2003, Elba Island, Italy, 629-638.

Zang, L., and Bao, P. (2002). Edge Detection by Scale Multiplication in Wavelet Domain, Pattern Recognition Letters, 23: 1774-1784.

Shih, M. Tsehng, D. (2005). A wavelet-based multiresolution edge detection and tracking, Image and Vision Computing, 23: 441-451.

Sun, J., Gu, D. Chen, Y. and Zhang, S. (2004). A Multiscale Edge Detection Algorithm Based on Wavelet Domain Vector Hidden Markov Tree Model, Pattern Recognition, Vol. 37, pp. 1315-1324.

Contourlet Toolbox (February, 2007): <http://www.ifp.uiuc.edu/~minhdo/software/> , www.mathworks.com/matlabcentral.

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΜΙΓΟΥΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
(ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΟΥΔΗ ΑΤΤΙΚΗΣ)
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΨΗΛΗΣ
ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ.**

Τζώτσος Ά., Αργιαλάς Δ.

*Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών,
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης*

Περίληψη

Υπάρχει η ανάγκη αυτοματοποίησης της διαδικασίας χαρτογράφησης της χρήσης γης αμιγούς αστικής περιοχής από δορυφορικές εικόνες υψηλής διακριτικής ικανότητας έτσι ώστε να γίνει η διαδικασία της φωτοερμηνείας πιο αντικειμενική και ταυτόχρονα πιο αποδοτική από πλευράς χρόνου. Ο στόχος της παρούσας δράσης ήταν η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας για την ταξινόμηση χρήσεων γης πυκνής αστικής περιοχής με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων IKONOS και υπομετρικών δεδομένων υψηλής ακρίβειας. Η μεθοδολογία που πραγματοποιήθηκε περιελάμβανε πολλές διαδικασίες κατάτμησης εικόνας. Τα δύο σετ δεδομένων κατάτμήθηκαν χωριστά καθώς και σε συνδυασμό μεταξύ τους. Χρησιμοποιήθηκαν διαδικασίες κατάτμησης τόσο από μεγάλες κλίμακες προς τις μικρές (top-down) όσο και από τις μικρές κλίμακες στις μεγάλες (bottom-up). Όλα τα αποτελέσματα των κατατμήσεων αξιολογήθηκαν και τα καλύτερα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν στην επόμενη φάση της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης: Στην ασαφή ταξινόμηση. Στην πρώτη φάση ταξινόμησης, χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά τα δεδομένα IKONOS. Η δεύτερη φάση ταξινόμησης επέκτεινε την πρώτη βάση γνώσης, με νέους κανόνες που αφορούσαν τη χρήση των υπομετρικών δεδομένων, καθώς και τη χρήση των αποτελεσμάτων κατάτμησης τους, για την βελτίωση του διαχωρισμού μεταξύ ορισμένων κατηγοριών. Τελικά στην τρίτη φάση υλοποιήθηκε μια βάση γνώσης με τεχνική μάσκα, με χρήση συναρτήσεων συμμετοχής και τη χρήση Εγγύτερου Γείτονα σε μεμονωμένες περιπτώσεις στο λεπτότερο επίπεδο γενικότητας των ορισμένων κατηγοριών. Αυτή η τελευταία διαδικασία κρίθηκε ως η πιο αποτελεσματική ως προς τη διαχωριστικότητα των σημασιολογικών αντικειμένων και των λιγότερων λαθών ταξινόμησης.

Το αποτέλεσμα αυτής της έρευνας, έδειξε πως, όταν πρόκειται για απεικονίσεις πυκνής και αμιγούς αστικής περιοχής, η ταξινόμηση των δορυφορικών δεδομένων IKONOS βελτιώνεται δραστικά με τη χρήση υπομετρικών δεδομένων υψηλής ακρίβειας και διακριτικής ικανότητας, εφόσον αυτά ληφθούν κατάλληλα υπόψη σε μια αντικειμενοστραφή ταξινόμηση. Το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας, είναι ικανοποιητικό και υπόσχεται περαιτέρω βελτιώσεις στο μέλλον με πιο σύνθετες και εμπλουτισμένες βάσεις γνώσης για την ταξινόμηση χρήσεων γης σε αστικές περιοχές.

**OBJECT-ORIENTED IMAGE ANALYSIS OF AN URBAN AREA USING VERY
HIGH RESOLUTION REMOTE SENSING DATA. CASE STUDY:
GOUDI, ATHENS, GREECE**

Tzotsos A., Argialas D.

*National Technical University of Athens, School of Rural and Surveying Engineering,
Remote Sensing Laboratory*

Abstract

There is a need to automate urban land use mapping from remotely sensed images such as IKONOS and QUICKBIRD so that to make the interpretation process more objective while delivering the information in a timely manner. The objective of this study was the development of an object oriented image analysis approach for land cover classification through IKONOS satellite and LIDAR airborne data in a dense urban area. The digital data used, included an IKONOS image for Goudi, Athens, Greece and a LIDAR Digital Surface Model (DSM) with 1m resolution. The implementation of the object oriented knowledge base was made in eCognition.

The developed methodology included several segmentations. The two datasets were segmented separately and in combinations. For selecting optimal segmentation parameters, a trial and error approach was used, and many combinations of scale and homogeneity parameters were evaluated. Both bottom-up and top-down techniques were tested. The best results of all segmentations were evaluated at the next step of object-oriented image analysis: the fuzzy classification. The first classification using the IKONOS image employed the nearest neighbor classifier and some refinements were made with class related features and fuzzy membership functions in order to demonstrate the difficulty of separating the asphalt roofs from roads without the DSM information. The second classification, expanded the previous knowledge base, with rules applied on the LIDAR DSM segmentation results so that to improve the separation between certain classes. The third classification developed a more complex knowledge base employing the redefinition of classes with proper membership functions. Finally, the fourth classification was based in a masking technique and it was implemented mostly with membership functions and some nearest neighbor classification refinements at the finest level of abstraction. This last attempt was the most successful in the sense of better object separation and less classification errors.

The result of this research showed that when dealing with dense urban scenes, the IKONOS classification results improve drastically with the presence of altitude information properly taking into account within the object oriented classification approach. The most difficult feature to detect throughout the process was the road network, and many tests were conducted to improve the result. The results of the study are promising and leave space for more complex future implementations for the urban classification problem.

Λέξεις κλειδιά: κατάτμηση εικόνας, ασαφής ταξινόμηση, LIDAR, IKONOS.

Key words: image segmentation, fuzzy classification, LIDAR, IKONOS.

1. Εισαγωγή

1.1 Ανασκόπηση επιστημονικού πεδίου

Ο αμιγής αστικός χώρος, παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για τον Φωτοερμηνευτή – Τοπογράφο Μηχανικό λόγω της πολυπλοκότητας και ανομοιογένειας που τον διακρίνει. Ο φωτοερμηνευτής όμως, έχει στα χέρια του ένα πολύ ευέλικτο εργαλείο να επιβλέψει και να αποτυπώσει την κατάσταση που υπάρχει στον αστικό χώρο, την τηλεπισκοπική απεικόνιση.

1.2 Λογισμικό

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση της ταξινόμησης του αστικού χώρου με συνδυασμό δεδομένων IKONOS και DEM ήταν το eCognition. Κύρια χαρακτηριστικά του λογισμικού αυτού είναι:

(α) Ο αλγόριθμος κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης (multiresolution segmentation).

(β) Η αντικειμενοστραφής αναπαράσταση της γνώσης με τη χρήση βάσεων γνώσης με τη μορφή ιεραρχιών.

(γ) Ο ασαφής ορισμός των κατηγοριών με βάση χαρακτηριστικά χρώματος, σχήματος, γειτνίασης υψής κ.α..

(δ) Η ασαφής ταξινόμηση των πρωτογενών αντικειμένων της κατάτμησης στις κατάλληλες κατηγορίες-τάξεις.

1.3 Στόχοι της έρευνας

Οι βασικοί στόχοι αυτής της έρευνας ήταν:

(α) Η διερεύνηση της χρήσης και της αποτελεσματικότητας των τεχνικών αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας για την περιοχή του αμιγούς αστικού χώρου,

(β) η εφαρμογή διαφόρων τεχνικών κατάτμησης και ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων που συνοδεύουν την σχετικά νέα αυτή τεχνολογία,

(γ) η διερεύνηση των νέων δυνατοτήτων που μπορεί να προσφέρει στην μέχρι τώρα χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας, η προσθήκη της υψομετρικής πληροφορίας υψηλής ακρίβειας

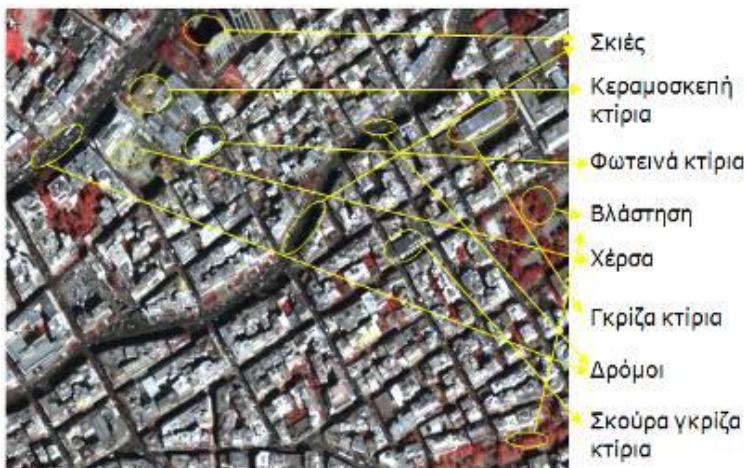
2. Ψηφιακά δεδομένα – Φωτοερμηνεία

Για την διεκπεραίωση των στόχων της έρευνας, ήταν διαθέσιμα ψηφιακά δεδομένα δυο ειδών για το Δήμο Γουδιού:

(α) μια ψηφιακή δορυφορική εικόνα IKONOS διακριτικής ικανότητας 1m στο παγχρωματικό κανάλι και 4m στα ορατά κανάλια και στο εγγύς υπέρυθρο.

(β) Ένα Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας από αερομεταφερόμενο σαρωτή Lidar. Τα δεδομένα είχαν διακριτική ικανότητα 1m και αφορούσαν περιοχή 40 οικοδομικών περίπου τετραγώνων.

Η πρώτη διαδικασία που διεκπεραιώθηκε μετά την παραλαβή των ψηφιακών δεδομένων, ήταν η φωτοερμηνεία τους και ο διαχωρισμός των κατηγοριών οι οποίες ήταν διακριτές και θα αποτελούσαν στόχο αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης στη συνέχεια της εργασίας (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Φωτοερμηνεία της εικόνας IKONOS και διαχωρισμός βασικών κατηγοριών προς ταξινόμηση.

3. Μεθοδολογία

3.1 Κατάτμηση δεδομένων

Επιλέχθηκε μια στρατηγική δοκιμών (trial and error) για τον προσδιορισμό της πιο σωστής και χρήσιμης κατάτμησης. Πραγματοποιήθηκε κατάτμηση σε 4 επίπεδα ανάλυσης.

3.1.1 Κατάτμηση επιπέδου 4

Για την κατάτμηση του τέταρτου επιπέδου, χρησιμοποιήθηκε συντελεστής κλίμακας ίσος με 25. Σκοπός ήταν το μέγεθος των πρωτογενών αντικειμένων να αντικατοπτρίζει το συμπαγές των κτηρίων. Γι' αυτό το λόγο το κριτήριο σχήματος αυξήθηκε στο 0.5 και το κριτήριο συμπαγούς σχήματος χρησιμοποιήθηκε με πολύ ισχυρό βάρος (0.7).

3.1.2 Κατάτμηση επιπέδου 1

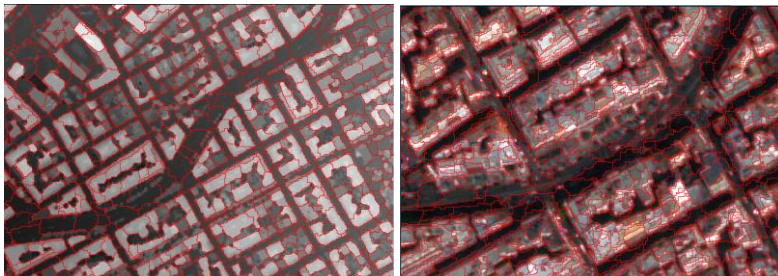
Μετά την δημιουργία μέσω του αλγορίθμου κατάτμησης του επιπέδου 4 με τη χρήση αποκλειστικά των υψομετρικών δεδομένων, κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα IKONOS και LIDAR σε συνδυασμό για την κατάτμηση των επιπέδων 1,2 και 3.

Το πρώτο και λεπτότερο επίπεδο κατάτμησης δημιουργήθηκε με αρχικό σκοπό να λειτουργήσει ως επίπεδο υψής. Επίσης, λόγω λεπτότητας είναι πολύ βολικό στον εντοπισμό με ακρίβεια του αστικού πρασίνου (Δερζέκος και Αργιαλάς 2002).

3.1.3 Κατάτμηση επιπέδου 2

Το δεύτερο επίπεδο κατάτμησης είχε σαν σκοπό να είναι το επίπεδο της λεπτομερέστερης ταξινόμησης ακριβώς επειδή θα ήταν το επίπεδο στο οποίο θα μπορούσαν να απεικονιστούν αντικείμενα όλων των κατηγοριών. Όλες οι λεπτομέρειες των σημασιολογικών αντικειμένων θα έπρεπε να έχουν τη δυνατότητα να φανούν σε μια πετυχημένη ταξινόμηση.

Για την κατάτμηση του δεύτερου επιπέδου, χρησιμοποιήθηκε συντελεστής κλίμακας ίσος με 20. Το κριτήριο τόνου χρησιμοποιήθηκε στο 0.7 και το κριτήριο ομαλότητας σε βάρος 0.3. Λόγω μικρού συντελεστή κλίμακας και βάρους του κριτηρίου τόνου η εικόνα κατατμήθηκε σε στοιχειώδεις (primitive) επιφάνειες που είναι ικανοποιητικά διαχωρίσιμες και από την εικόνα (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας κατάτμησης του επιπέδου 4 (αριστερά) και του επιπέδου 2 (δεξιά)

3.1.4 Κατάτμηση επιπέδου 3

Στο επόμενο επίπεδο κατάτμησης, λόγω σημαντικής αύξησης στο μέγεθος των αντικειμένων, στόχος ήταν ο προσδιορισμός πετυχημένων ορίων κατάτμησης για λιγότερες κατηγορίες που αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα αντικείμενα. Χρησιμοποιήθηκε, ιδιαίτερα για τον καλύτερο προσδιορισμό των ορίων των κτηρίων περισσότερο το κριτήριο σχήματος των αντικειμένων (0.5).

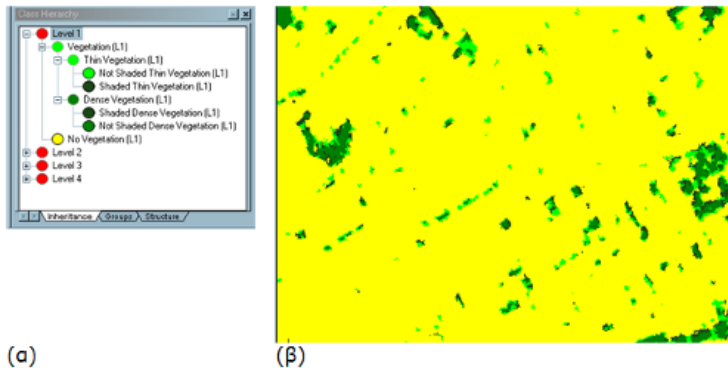
3.2 Ταξινόμηση

Μετά τη διαδικασία της κατάτμησης, ακολούθησε η διαδικασία ταξινόμησης των αντίστοιχων επιπέδων στις κατηγορίες που μπορούν να αναπαρασταθούν στην ανάλυση κάθε επιπέδου.

3.2.1 Ταξινόμηση πρώτου επιπέδου

Στόχος της ταξινόμησης αυτού του επιπέδου, ήταν ο προσδιορισμός και εντοπισμός του αστικού πρασίνου. Ταυτόχρονα, έγινε προσπάθεια για το διαχωρισμό της βλάστησης σε σκιασμένη και μη σκιασμένη.

Οι κατηγορίες που ορίστηκαν κατά τη συμπλήρωση της βάσης γνώσης του επιπέδου 1 ήταν: Οι γενικές κατηγορίες Vegetation (Βλάστηση) και not Vegetation (Μη βλάστηση). Ο διαχωρισμός σε αυτές τις δυο κατηγορίες έγινε με βάση ένα δείκτη βλάστησης, τον MSAVI. Τέλος, οι δύο κατηγορίες Dense και Thin Vegetation, χωρίστηκαν αντίστοιχα σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν τα αντικείμενα που ανήκουν σε αυτές είναι σκιασμένα ή όχι (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. (α) Η ιεραρχία κληροδότησης του επιπέδου 1, (β) η ταξινόμηση πρώτου επιπέδου

3.2.2 Ταξινόμηση τέταρτου επιπέδου

Για την ταξινόμηση του επιπέδου 4, χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω κατηγορίες: Κτήρια (Buildings) και Λοιπά αντικείμενα (Others). Οι δυο κατηγορίες διαχωρίστηκαν με την ιδιότητα Mean difference to neighbors (Σχήμα 4).

3.2.3 Ταξινόμηση δεύτερου επιπέδου

Το δεύτερο επίπεδο, είχε ως αρχικό σκοπό την ταξινόμηση όλων των κατηγοριών που είχαν προκύψει από τη φωτοερμηνεία της εικόνας IKONOS. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε για την ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου, αφορούσε μια στρατηγική κάλυψης κατηγοριών με μάσκες. Η λογική που ακολουθείται είναι: Ξεκινώντας από μια ενιαία κατηγορία που συμβολίζει όλη την εικόνα (αφηρημένη κατηγορία / abstract class), αρχίζει ο διαχωρισμός κάθε κατηγορίας του προηγούμενου επιπέδου σε ακριβώς δύο νέες κατηγορίες που αφορούν δυο αντίθετα χαρακτηριστικά.

Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε στην παρούσα έρευνα ως εξής:

Αρχικά η εικόνα θεωρήθηκε ως μια κατηγορία (Level2). Η αόριστη αυτή κατηγορία που περιλαμβάνει όλα τα αντικείμενα χωρίστηκε σε

Σκιές (Shades) και

Μη σκιές (not Shades)

Στη συνέχεια η κατηγορία Shades (και αντίστοιχα η κατηγορία not Shades) χωρίζεται σε

Shaded vegetation (αντίστοιχα Vegetation) και

Shaded not Vegetation (αντίστοιχα not Vegetation)

Ακολούθως η κατηγορία not Vegetation χωρίζεται σε 3 κατηγορίες:

High Objects: Περιοχές που έχουν κατηγορία Buildings από πάνω τους (ιδιότητα existence of super object) και παρουσιάζονται ψηλότερες από τις γειτονικές (ιδιότητα mean difference DEM value to neighbors)

Low Objects: Περιοχές που έχουν κατηγορία Others από πάνω τους στο επίπεδο 4 (ιδιότητα existence of) και παρουσιάζονται χαμηλότερες από τις γειτονικές (ιδιότητα mean difference DEM value to neighbors)

Other from DEM: Συμπληρωματική κατηγορία στις άλλες δυο

Στο Σχήμα 5 εξηγείται διεξοδικά πώς προκύπτει το πού ανήκει ένα αντικείμενο με βάση την υψομετρική του πληροφορία. Με τον ίδιο τρόπο δενδριτικής δομής, ορίστηκαν και οι υπόλοιπες κατηγορίες της βάσης γνώσης και παρουσιάζονται αναλυτικά στο Σχήμα 6 μαζί με τις πιο χαρακτηριστικές ιδιότητές τους.

Μετά τη συμπλήρωση της ιεραρχίας σε τέσσερα συνολικά επίπεδα δενδριτικής δομής, πραγματοποιήθηκε ασαφής ταξινόμηση στο δεύτερο επίπεδο κατάτμησης της εικόνας. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 7.



(α)



(β)

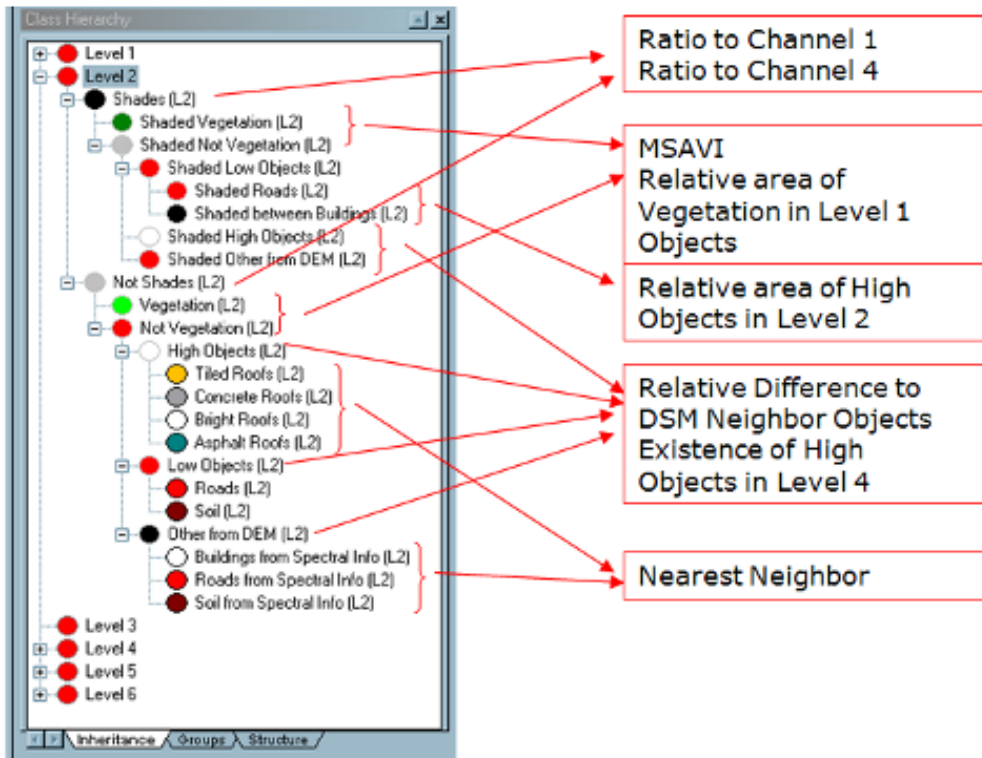
Σχήμα 5. (α) Η απεικόνιση του feature view του eCognition για το χαρακτηριστικό Mean difference to neighbors για το DSM στο επίπεδο 2. Με μπλε απεικονίζονται τα αντικείμενα που έχουν θετική τιμή στο χαρακτηριστικό (β) Η ταξινόμηση του επιπέδου 4 σε αντικείμενα Κτηρίων- Buildings (άσπρο χρώμα) και Υπόλοιπα-Others (μαύρο χρώμα).

Η ταξινόμηση γίνεται με τις 3 παρακάτω περιπτώσεις:

Όποιο αντικείμενο βρίσκεται ταυτόχρονα στα μπλε αριστερά και στα άσπρα δεξιά θεωρείται High Object (αντίστοιχα Shaded High Object).

Όποιο αντικείμενο βρίσκεται ταυτόχρονα στα γκρι αριστερά και στα μαύρα δεξιά θεωρείται Low Object (αντίστοιχα Shaded Low Objects)

Τα αντικείμενα που εμφανίζονται σε συνδυασμό μπλε αριστερά-μαύρου δεξιά ή γκρι αριστερά-άσπρου δεξιά θεωρούνται Other (αντίστοιχα Shaded Other)



Σχήμα 6. Η δενδρική μορφή της βάσης γνώσης όπως εμφανίζεται στο περιβάλλον του eCognition μαζί με ορισμένα σχόλια που αφορούν τις ιδιότητες που οδήγησαν στον ικανοποιητικό διαχωρισμό των κατηγοριών



Σχήμα 7. Η ταξινόμηση του επιπέδου 2α και η ιεραρχία κληροδότησης του δευτέρου επιπέδου

4. Αξιολόγηση και συζήτηση αποτελεσμάτων

Μετά το πέρας των διαδικασιών ταξινόμησης, το επόμενο βήμα που ακολούθησε ήταν η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ώστε να γίνει αντιληπτό αν και πόσο επιτυχή ήταν τα αποτελέσματα.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος αφορούσε την ποιοτική σύγκριση και σχολιασμό των αποτελεσμάτων από την πλευρά του φωτοερμηνευτή και κατ' επέκταση του ανθρώπινου ματιού που σαφώς και εξακολουθεί να είναι η τελειότερη φωτοερμηνευτική μηχανή μέχρι και σήμερα. Η αντικειμενικοποίηση της αξιολόγησης, έγινε προσπάθεια να υλοποιηθεί μέσα από ένα δεύτερο στατιστικό στάδιο. Με βάση αποτελέσματα φωτοερμηνείας πάνω στην αρχική εικόνα IKONOS και από δεδομένα επίγειου ελέγχου, δημιουργήθηκε μια μάσκα δεδομένων ελέγχου (TTA Mask) με την οποία πραγματοποιήθηκε στατιστικός έλεγχος και προέκυψε ο πίνακας σύγχυσης του Σχήματος 8. Τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά και η ακρίβεια τους ήταν της τάξης του 87%.

User \ Referenc...	Sh...	Ve...	Hig...	Ro...	Soil...	Sum
Confusion M...						
Shades (L2)	5134	0	0	460	0	5594
Vegetation (L2)	0	3048	0	0	196	3234
High Objects (L2)	0	0	13136	0	131	13267
Roads (L2)	0	0	0	3386	0	3386
Soil (L2)	0	0	591	102	498	1181
unclassified	0	0	1031	1033	0	2064
Sum	5134	3048	14758	4581	805	
Accuracy						
Producer	1	1	0.89	0.68	0.606	
User	0.918	0.942	0.99	1	0.413	
Hidden	0.957	0.97	0.937	0.909	0.491	
Short	0.918	0.942	0.882	0.68	0.326	
KIA Per Class	1	1	0.796	0.637	0.589	
Totals						
Overall Accu...	0.877					
KIA	0.823					

Σχήμα 8. Πίνακας συσχέτισης των ομαδοποιημένων κατηγοριών της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου

Παρατηρείται ότι η σταθερότητα της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου, είχε τη μεγαλύτερη στατιστική επιτυχία σε σχέση με τις υπόλοιπες ταξινομήσεις (οι οποίες όμως περιείχαν περισσότερες κατηγορίες και πιο πολύπλοκες ιδιότητες). Και σε αυτή την εφαρμογή αποδείχθηκε η μεγάλη σημασία του δείκτη MSAVI και του εγγύς υπέρυθρου καναλιού του δορυφόρου IKONOS για τον εντοπισμό και την μέτρηση του πρασίνου στον αστικό χώρο. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι ο δορυφόρος καταγράφει υψηλές τιμές στο υπέρυθρο κανάλι ακόμα και στις σκιασμένες περιοχές και δίνει έτσι τη δυνατότητα για ανίχνευση ορισμένης ποσότητας αστικού πρασίνου ακόμα και σε λιγότερο φωτεινά σημεία της εικόνας.

5. Συμπεράσματα και προοπτικές

Η εφαρμογή αντικειμενοστραφών τεχνικών κρίνεται απαραίτητη ως εργαλείο αντικειμενικοποίησης και αυτοματοποίησης διαδικασιών αναγνώρισης σημασιολογικών αντικειμένων, κατηγοριών χρήσης γης και καταγραφής με γρήγορο και ακριβή τρόπο της πραγματικότητας.

Όσον αφορά, τις διάφορες τεχνικές σχεδιασμού βάσεων γνώσης και ταξινόμησης, φάνηκε πως πιο αποτελεσματικές είναι οι λύσεις στις οποίες γίνεται προσπάθεια να ανεξαρτητοποιούνται οι θεματικές κατηγορίες μεταξύ τους κατά το δυνατό περισσότερο. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με δένδρικές δομές βάσεων γνώσης. Σημαντικό επίσης είναι το να μπορεί μια βάση να παραμένει λιτή και ευέλικτη με τη χρήση καθαρών κανόνων και λίγων αποτελεσματικών ιδιοτήτων για το διαχωρισμό των κατηγοριών. Επίσης και οι ευρετικοί κανόνες παίζουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι μιας επιτυχούς και αποτελεσματικής βάσης γνώσης.

Ευχαριστίες

Το έργο αυτό συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (75%) και από Εθνικούς πόρους (25%) – Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Εκπαίδευσης και Αρχικής Επαγγελματικής Κατάρτισης (ΕΠΕΑΕΚ) και ειδικότερα από το πρόγραμμα ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ.

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν την NAMA Geoinformatics για τα δεδομένα του σαρωτή LIDAR και πιο συγκεκριμένα τον κ. Νίκο Σπανίδη για την ευγενική του προσφορά.

Βιβλιογραφία

Argialas Demetre, Derzekos Panos, 2002. Mapping Urban Green from IKONOS Data by an Object-Oriented Knowledge-base and Fuzzy Logic. Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology II, Manfred Ehlers, Editor, Proceedings of SPIE Vol. 4886 (2003)

Barr S., M. Barnsley 2000. Reducing structural clutter in land cover classifications of high spatial resolution remotely-sensed images for urban land use mapping. Computers & Geosciences **26** (2000) 433±449.

DEFININENS AG, 2000. eCognition User Guide. <http://www.definiens.com>

Hofmann P., 2001. Detecting Informal Settlements From Ikonos Image Data Using Methods Of Object Oriented Image Analysis – An Example From Cape Town (South Africa). JÜRGENS, Carsten (2001) (Editor): Remote Sensing of Urban Areas. Regensburg. ISBN 3-88246-222-1.

Hofman P. , 2001. Detecting informal settlements from Ikonos image data using methods of object oriented image analysis.

Moller-Jensen, Lasse 1990. Knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in Landsat-TM imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 56, pp. 899-904. 1990.

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΝΑΞΟ.

Χάρου Ε.¹, Στεφούλη Μ.², Χελιώτης Ι.²

¹ *Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών – ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος"*

² *Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών*

Περίληψη

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος λήψης δεδομένων με χρήση του HYMAP υπερφασματικού σαρωτή από το Γερμανικό Κέντρο Αεροδιαστημικής (DLR), πραγματοποιήθηκε η κάλυψη με δύο πτήσεις, επιλεγμένης ζώνης με διεύθυνση Ανατολή-Δύση στο κεντρικό τμήμα της Νήσου Νάξου. Στην εργασία που ακολουθεί γίνεται επεξεργασία της εικόνας του αερομεταφερόμενου υπερφασματικού δέκτη HYMAP για την εντοπισμό ορυκτών και την χαρτογράφηση πετρωμάτων στη νήσο Νάξο. Για την μείωση του αριθμού των καναλιών εφαρμόζεται ο Minimum Noise Fraction μετασχηματισμός. Δημιουργείται φασματική βιβλιοθήκη από αναγνωρίσιμα πετρώματα η οποία χρησιμοποιείται για την εφαρμογή των αλγορίθμων ταξινόμησης Spectral Angle Mapper και Matched Filtering. Τέλος χαρακτηριστικά φάσματα από την USGS φασματική βιβλιοθήκη εξετάζονται για τον εντοπισμό ορυκτών. Τα αποτελέσματα αξιολογούνται με την βοήθεια Γεωλογικού χάρτη και πρόσθετων πληροφοριών. Πιστοποιείται η δυνατότητα χαρτογράφησης διαφορετικών τύπων πετρωμάτων και προσδιορισμού ορυκτών στις ακολουθίες μαρμαροφόρων-δολομιτικών και παρεμβαλλόμενων μαρμαρυγιακών σχιστολιθικών, αμφιβολιτικών πετρωμάτων.

GEOLOGICAL FORMATION IDENTIFICATION USING HYPERSPECTRAL IMAGERY OF NAXOS ISLAND, GREECE

Charou E.¹, Stefouli M.², Cheliotis I.²

¹ *Inst. of Informatics and Telecommunications, N.C.S.R. "Demokritos"*

² *Institute of Geology and Mineral Exploration.*

Abstract

In 2005, flight campaign conducted by the German Aerospace Center (DLR) recorded 2 transects across the island of Naxos using the airborne hyperspectral scanner HYMAP. A pilot area has been selected in order to assess the geologic mapping and mineral identification capabilities of the HYMAP data. The pilot area covers all the major litho-tectonic units of interest, which is a metamorphic dome with the transition of metamorphic zonations from the outer meta-sedimentary greenschist envelope to the gneissic amphibolite facies and migmatitic core. Data have been converted from radiance to reflectance and noise filtered based on Minimum Noise Fraction. A spectral library with spectra of recognizable rock types was created. The Spectral Angle Mapper and Matched Filtering algorithms were tested for mineral identification. Finally characteristic spectra from USGS spectral library were used to identify minerals in the image. Results are discussed in comparison with existing geological map and additional information. Mapping lithologic units and mineral identification of alternating marble-dolomite sequences and interlayered schists bearing muscovite and biotite has been accomplished using the airborne hyperspectral HYMAP sensor.

Λέξεις κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, Υπερφασματικά, HYMAP, Νάξος.

Key words: Remote sensing, Hyperspectral, HYMAP, Naxos.

1. Introduction

Hyperspectral analysis has been applied to mapping vegetation types (Lewis et al 2001), in water studies (Καραθανάση, κ.ά., 2005) and has proven particularly valuable in geological mapping (Van, der Meer 2007, Ganas et al, 2002; Echtler et al, 2002; Taylor et al 2001). This study investigates the use of HYMAP data for the identification of geological formations in Naxos island, Greece. Naxos is the largest island of the Cycladic group of Eastern Greece. These islands form a curved belt of metamorphic rocks, known as the Attic-Cycladic Massif (ACM) which may be traced northwards on to the Greek mainland (Attika). Its extent eastwards is regarded to be the Menderes Massif of Turkey. Naxos is dominated by an elliptically-shaped structural and thermal dome, which was formed during late Tertiary deformation and metamorphism, and which was subsequently intruded on its western edge by a granodiorite. The metamorphic complex is considered to comprise two sequences in tectonic contact (Bonneau et al. 1978). The lower sequence forms the high-grade migmatitic core of the complex, whilst the upper sequence forms the lower grade envelope to the core. The granodiorite body which outcrops on the west side of the island was intruded into the cooling pile of rocks at about 13 Ma ago (Wijbrans 1985), inducing a narrow (max. 1 km) thermal metamorphic aureole. Shortly after the intrusion of the granodiorite, nonmetamorphic clastic sediments were tectonically emplaced upon the granodiorite and the metamorphic complex. There is evidence for a pronounced north-northeast (~15°) stretching developed in the metapelitic rocks of Naxos. Almost all linear mesoscopic and megascopic fabric elements of the rocks trend in this direction e.g. fold axes and intersection lineations, mineral stretching lineations, the elongation direction defined by boudinage and the long axis of the migmatite dome itself. The dome rock suit consists of interbedded mica-schists and gneisses, marbles (ranging in composition from pure calcite to pure dolomite rocks), amphibolites and migmatites as well as basic and ultrabasic small bodies. They are classified into low grade (mica-schists and marbles) and high grade (amphibolites, marbles, and migmatites). Emery (metamorphic bauxite) deposits are found within marble horizons. Micas, quartz, plagioclase, chlorite, epidote are the main minerals in mica-schists, amphiboles and pyroxenes (hornblende, auger) and plagioclase are the main minerals in amphibolites. Tremolite, chlorite, actinolite are found at the periphery of serpentine and basic bodies. Granites consist of two micas, acid plagioclase and quartz. The selected part of the acquired Hymap image (Fig. 1) has been used in order to cover various major litho-tectonic units. Starting from the granodiorite which occupies the NW part of the image area and going to SE, there is part of the dome with metamorphic rock sequences from the outer meta-sedimentary greenschist envelope to the gneissic amphibolite facies and migmatitic core as shown in Figure 2. In the current work identification of the various lithologies along with the mineral identification of alternating marble-dolomite, two mica and amphibolitic schists using hyperspectral imagery is attempted. Results are discussed in comparison with detailed geological mapping and additional information.



Fig. 1. The HYMAP transect across the island of Naxos. 1: the pilot project area

2. Data description

In August 2005, flight campaign conducted by the German Aerospace Centre (DLR) recorded 2 transects across the island of Naxos using the airborne hyperspectral scanner HYMAP. The airborne scanner was configured to acquire data in 128 bands covering the range 445nm to 2447nm with the spectral resolution averaging 12-18nm. The data was

flown at an elevation that gave approximately 6 m spatial resolution. The image was acquired in a clear summer day in order to minimise contribution of the clouds and vegetation. From the original data cube, 10 HYMAP spectral channels with high noise were identified as bad bands and removed from the data set. Consequently, subsequent analyses were restricted to the remaining 118 bands. The data was provided without any georeferencing. A small part of the HYMAP scene was selected as pilot study area. All processing was carried using the TNTLITE free software package.

A freely available Landsat image was used for data fusion and comparison with Hymap imagery. The corresponding geologic map of the edition was converted from analogue to digital and used in order to acquire information and compare with the results obtained from the processing of data.

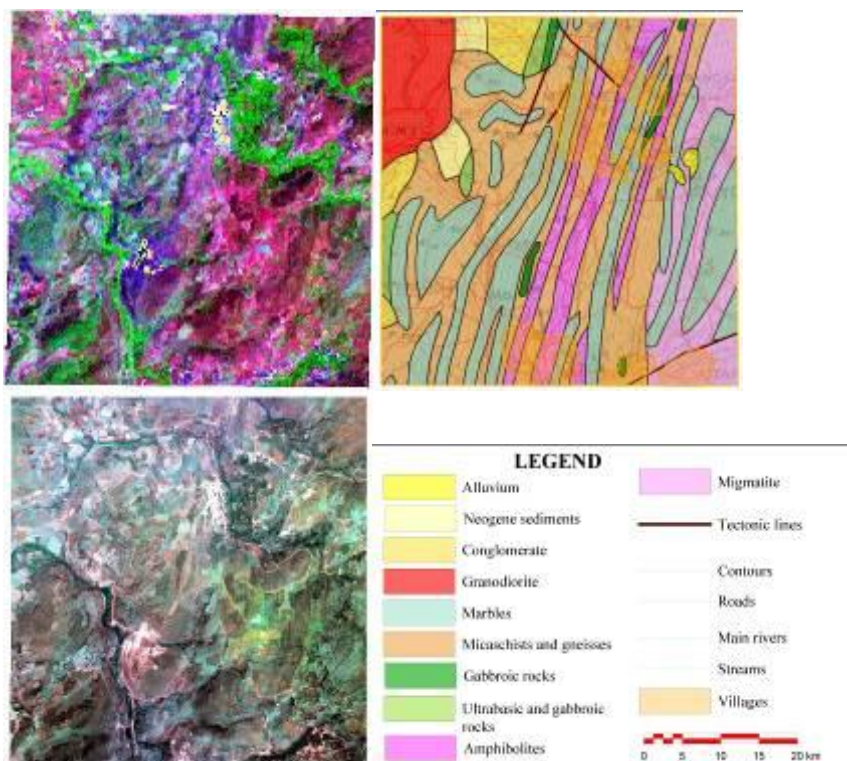


Fig. 2. The Landsat image (upper left), the HYMAP (down left) and the corresponding Geological map of the pilot project area (Jansen, 1973). Visual interpretation of both the Landsat ETM and HYMAP images makes possible the identification of the various lithological horizons, while the improved spatial resolution of the HYMAP data give better results.

3. Methodology

Methodology includes 3 main paths of actions; A) Data Reduction B) Creation of a library with spectra of recognizable rock types for the classification of the image and C) Acquisition of characteristic minerals spectra using the USGS spectral library.

3.1 Pre-processing

Atmospheric correction and additive offset calibration methods were applied to at sensor radiance values in order to convert them in reflectance and make comparisons between image spectra and laboratory reflectance spectra. There are generally 3 approaches available for atmospheric correction of hyperspectral imagery 1) image based methods such as log residuals, equal area normalization etc. 2) empirical methods, such as Empirical Line Method, which require ground measurements and 3) model-based correction methods which require special software such as ACORN, FLAASH etc. In our study the Equal Area Normalization method was used. According to this calibration method, the radiance values in each image spectrum are first scaled so that the sum of the values for each image cell is constant over the entire scene. This procedure shifts all image spectra to nearly the same relative brightness, removing differences in overall brightness between materials as well as illumination differences caused by topography. An average spectrum for the entire scene is then calculated from the normalized spectra. Finally, each normalized image spectrum is divided by the average spectrum. The resulting spectral values represent reflectance relative to the average spectrum, and in ideal cases should be comparable to true reflectance spectra. (Fig. 3)

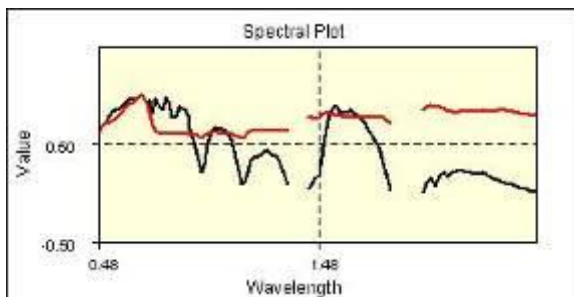


Fig 3 Raw radiance spectrum (black line) vs. calibrated to reflectance (red line) spectrum.

3.2 Data Dimensionality Reduction

Theoretically, using images with more bands should increase automatic classification accuracy. However, this is not always the case. Adjacent hyperspectral image bands are visually and numerically similar, and therefore contain much redundant information. Dimensionality reduction can be achieved in two different ways (Young, 1986). The first approach is to select a small subset of features which could contribute to class separability or classification criteria. This dimensionality reduction process is referred to as feature selection or band selection (Petridis, 2003, Charou, 2004). The other approach is to use all the data from original feature space and map the effective features and useful information to a lower-dimensional subspace. This method is referred to as feature extraction. The Principal Components (PCA) and the Minimum Noise Fraction (MNF) transforms are the standard methods for feature extraction. in hyperspectral imagery. The MNF is based on the Maximum Noise Fraction transformation described by (Green et al., 1988) Maximum Noise Fraction calculates an orthogonal set of components from a multivariate image, to maximise signal to noise ratio, instead of maximising variance as in the case of principal components analysis. The output MNF data is a series of uncorrelated bands in terms of increasing signal-to-noise (i.e. the first component contains the maximum noise). A variant of this method is employed in ENVI and TNTmips software but is called Minimum Noise Fraction and is given the same acronym MNF. Using the MNF a set of 10 components was produced. Various colour combinations using the MNF components were visually assessed. The (3= R, 2=G, 4=B, 1=I) combination gave satisfying results in identify marble formations (Fig 4). The boundaries of these formations are not well defined. This problem is solved when this picture is assessed together with the Matched Filtering result (Fig 5b).

3.3 Creation of a library with spectra of recognizable rock types.



Fig. 4 RGBI display of the first 4 MNF components (3= R, 2=G, 4=B, 1=I). Arrows show marble formations

An image derived spectral library was created using image spectra from relatively pure occurrences of 4 of the common rocks in the Naxos scene: granodiorite, migmatite, marble and basic rocks. Using various algorithms the similarity of each pixel spectrum of the research area and the selected rock type spectrum is calculated and a value is assigned to the pixel. A new image is created and the discrimination of the rock types is examined visually. Several mapping techniques were evaluated. The Spectral Angle Mapper (SAM) (Kruse et al 1993) algorithm treats target spectra and image spectra as vectors in n-dimensional spectral space. Each spectrum defines a point in spectral space, and this point can also be treated as the end of a vector that begins at the origin of the coordinate system. The angle between a pair of vectors is a measure of the similarity of the spectra; smaller spectral angles (dark tones) indicate greater similarity. This method is insensitive to differences in average brightness between spectra that may be due to topographic or sensor gain effects, because these factors

change the length of the spectral vector, but not its orientation. The algorithm gave satisfactory results in discriminating granites, migmatites and basic/ultrabasic rocks while failed in discriminating marbles. The granodiorite boundaries can be depicted with relative success on the HYMAP image but they are diffused where they are covered by soil. Both amphibolite and diabase horizons appear with dark tones and this may be due to the fact that there are common minerals between them and the granite, such as biotite, hornblende etc. The migmatites have common minerals with amphibolites and granites so dark tones appear over the last two rock types. Migmatite is relatively well defined in the NE part of the image where marble horizons are intercalated within the migmatites then the boundaries are diffused. The basic rocks are shown with dark tones in (Fig. 5a). These rock types are usually covered by soil as they are easily eroded. This makes their distinction not easy, so apart from two areas at the west and northern border of the map, other areas corresponding to Neogene sediments / melange and soils are also picked up.

For the discrimination of marbles the Matched Filtering Algorithm (MF) (Farrand and Harsanyi, 1994; Harsanyi and Chang, 1994), gave better results than SAM. The MF algorithm uses a Constrained Energy Minimization technique to assess the spectral composition of each image cell. Each image spectrum is assumed to be a linear mixture of a target spectrum and multiple unknown spectral signatures. The process identifies what proportion of each composite image spectrum could be produced by the target spectrum (end member). Brightest areas indicate a confident identification of the target material. The algorithm shows satisfactory degree of success for identifying marble zones which extend over micaschists, amphibolite and migmatite zones (Fig 5b). The individual marble horizons are shown only on certain places. Most probably this is related to the purity of minerals like calcite / dolomite which are the main constituents of the Naxos marbles as well as the soil and vegetation coverage. However, marble and not marble areas are sometimes confused on the resulted by this algorithm image. This problem is solved when this picture is assessed together with the MNF color composite (Fig. 4). On the image in (Fig. 5b), marbles are shown with white tones.

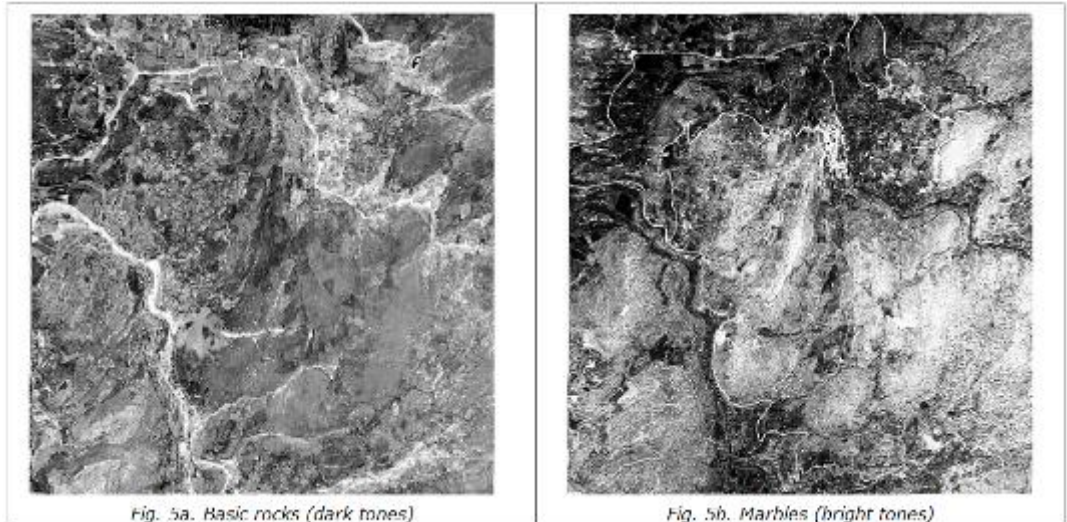


Fig. 5a. Basic rocks (dark tones)

Fig. 5b. Marbles (bright tones)

3.4 Acquisition of characteristic minerals spectra from the USGS library.

Reflectance spectra of the materials in the USGS Spectral Library were used to locate and classify image cells with similar spectra. We used the SAM classification method as in **the previous section but we selected USGS's library reflectance spectra instead of archived image spectra** as end members. A series of material maps were produced showing the distribution of image cells matching the target spectrum. The similarity of each pixel spectrum is compared to the selected mineral spectrum of USGS and a value is assigned to the pixel. A new image is created and the discrimination of the mineral is examined visually. Four minerals namely Muscovite, Amphibole, Biotite and Hornblende gave satisfactory results. Muscovite (Fig 6a) gave dark tones (high similarity) which dye slightly the zone of micaschists between the granite (NW of the image) and the amphibolites zone (center, SE). However, it verifies the presence of the lower grade zone, though its boundaries are diffused to both sides. Amphibole (Fig 6b) appears in the amphibolite and migmatite zones as well as in the granite showing **similar «behavior» to hornblende. However it has better resolution of boundaries** in soil covered areas and micashcist zone though with slightly less dark shades in amphibolite zone. Migmatite is not discernible relatively to amphibolite. Biotite shows a very similar image to that of hornblende and amphibole. Its distribution is within both granite and amphibolite zone and outside the lower grade mica (sericite) schist zone. Hornblende is projected on the granite, on the amphibolitic zone and the migmatites. The later is not clearly differentiated from amphibolites but the former are relatively darker. The lower grade metamorphic rocks, where muscovite is evidenced, are not dark shaded. Strike is well defined due to linear extent of amphibolitic intercalations



Fig6a Muscovite, dark tones

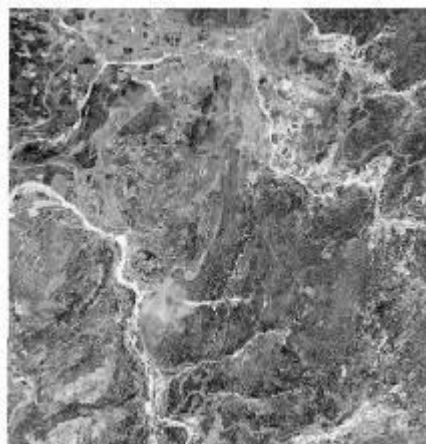


Fig6b. Amphibole: dark tones.

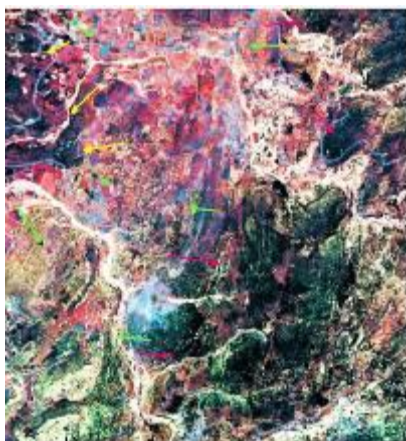


Figure 7a. Color Composite (R=Biotite, G=Quartz, B=Muscovite, I=Hornblende) Yellow arrows show the extend of the clean surface granodiorite. Red colors show apart from the low grade metamorphic zone, the soil covered ground. Dark colors show amphibolites. Green arrows show the low grade metamorphic rocks, while the purple arrow show the amphibolites.

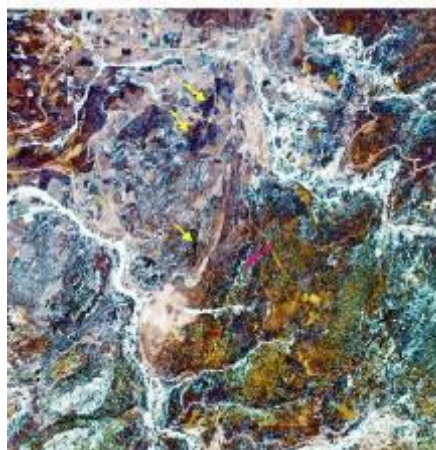


Fig 7b. This color combination (RGB. Epidote, Amphibole, Chlorite) shows the Basic rock occurrences. (yellow arrows) Purple arrows shows an amphibolitic horizon.

4. Conclusions

Early results of the HYMAP image analysis of Naxos scene show that the combined high spatial and spectral resolution of the data could be used to produce images of the composition and abundance of surface minerals thus making improvements of geological interpretation. Processing techniques that have been applied include integrated image

processing / GIS vector data techniques. Combination of different resolution data using data fusion techniques proved to be effective as far as the interpretation of geologic features are concerned because complementary information for the same target is combined. The image derived mineral abundance maps could be integrated with other data sets and they could compliment field mapping by conventional techniques. Nevertheless, the human involvement in hyperspectral image analysis is still very high. The important decisions are still being made by a human operator concerning initial data quality assessment, data processing strategy, algorithms to apply, and features to extract.

Acknowledgement

The authors would like to thank the DLR for making the hyperspectral HYMAP image data available

References

Καραθανάση Β., Ρόκος Δ., Αργιολάς Δ., Αναστασιάδης Μ., Τσακίρη Μ., Κουμαντάκης Ι., Κατέβας Ν., Καραγεώργης Α., 2005, «Υπερφασματικοί δέκτες και νερό: πρόγραμμα ΙΡΙΣ», HELECO '05, Αθήνα 3-5 Φεβρ. 2005

Bachmann T. Donato, G. Lamela IEEE Trans. Geosci. & Rem. Sens. Vol. 40 No 10 pp 2313-2330

Bonneau M, Geysant J, Lepvrier C (1978) Tectonique Alpine dans le massif d'Attique-Cyclades (Grece): plis couches kilométriques dans l'île de Naxos. Consequences. Rev Geogr Phys Geol Dyn 20: 109-122

Charou E., S. Petridis, M. Stefouli, O. D. Mavrantza, S. J. Perantonis Innovative feature selection used in multispectral imagery classification for water quality monitoring In XXth ISPRS Congress, Istanbul Turkey, pp. 1354-1358 July 2004 .

Echtler, H., Segl, K., Dickerhof, C., Chabrilat, S., and Kaufmann, H. (2002), Mineral identification and isograde mapping on the island of Naxos (Greece) using DAIS 7915 hyperspectral data. Proceedings of SPIE Remote Sensing for Environm. Monitoring, Greece, 23-27 September 2002, Vol. 4886, M. Ehlers (Ed.), SPIE, Bellingham, WA, pp.115-122.

Farrand, W.H., and J.C. Harsanyi, 1994, "Mapping Distributed Geological and Botanical Targets through Constrained Energy Minimization," in Proc. Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, San Antonio, TX, 9-12 May 1994, pp. 1-419 - 1-429.

Ganas, A., and Ferrier, G., 2002, Mapping of Diagnostic Clay Minerals in Epithermal Gold Deposits of Milos Island (Greece) using Hyperspectral Data from the DAIS Airborne Radiometer, Mineral Wealth, 122, 37 - 46.

Harsanyi, J.C., and C.I. Chang, 1994, "Hyperspectral Image Classification and Dimensionality Reduction: an Orthogonal Subspace Projection Approach," IEEE Trans. Geosci. & Rem. Sens., vol. 32, pp. 779-785.

Jansen J.B.H. 1973. Geological Map of Greece: Naxos Island, scale 1/50000. IGME, Athens.

Kruse, F.A., A.B. Lefkoff, J.W. Boardman, K.B. Heidebrecht, A.T. Shapiro, P.J. Barloon, and A.F.H. Goetz, 1993, "The Spectral Image Processing System (SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data," Rem. Sens. Envir., vol. 44, pp. 145-163.

Lewis, M., 2001. Discriminating vegetation with hyperspectral imagery – what is possible? IEEE 2001 TGARSS, University of NSW, Sydney, Australia.

Petridis S., E Charou and S J. Perantonis "Non redundant feature selection of multiband remotely sensed images for land cover classification" In Tyrrhenian International Workshop on remote sensing Elba, Italy pp. 657-666, September 2003.

Green A. A., Berman, M., Switzer, P. and Graig, M.D. - A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. IEEE Trans. Geosci. & Rem. Sens (1988), pp 65-74.

Taylor G. R. and D. Vucovic "Mine Site Mapping with Hyperspectral Imagery" IEEE Trans. Geosci. & Rem. Sens 2001

Van der Meer, 5th EARSeL SIG IS workshop, April 2007, Bruges, Belgium
http://5thearselsigis.vgt.vito.be/documents/Workshop_conclusions_5thearselsigis.pdf

Young, T.Y. and K.S. Fu. Handbook of Pattern Recognitions and Image Processing. College of Engineering, University of Miami,. Coral Gables, Florida, 1986.

Wijbrans JR (1985) Geochronology of metamorphic terrains by the Ar 4- age spectrum method. PhD Thesis, Australian National University.

ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΦΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ: ΤΟ ΕΡΓΟ REALDEMS

Χρυσουλάκης Ν.¹, Φείδας Χ.², Βελιανίτης Δ.³

¹Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας, Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών,

²Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας,

³PLANO A.E.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα του έργου REALDEMS, στα πλαίσια του οποίου παρήχθησαν ψηφιακά μοντέλα εδάφους και θεματικοί χάρτες κάλυψης γης για τις περιοχές της Κρήτης και της Λέσβου. Τα προϊόντα αυτά παρήχθησαν με χρήση δορυφορικής τεχνολογίας και συγκεκριμένα με τηλεπισκοπικά δεδομένα του ραδιομέτρου ASTER (Advance Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer), δεδομένα του παγκόσμιου συστήματος προσδιορισμού θέσης, καθώς και επιτόπιων παρατηρήσεων. Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους προέκυψαν με εφαρμογή φωτογραμμετρικών μεθόδων σε στερεοζεύγη εικόνων ASTER. Η ακρίβεια των ψηφιακών μοντέλων εδάφους που παρήχθησαν ήταν της τάξης των 15 – 20 m. Οι θεματικοί χάρτες κάλυψης του εδάφους παρήχθησαν με εφαρμογή μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε πολυφασματικά δεδομένα ASTER. Επιτόπιες παρατηρήσεις καθόρισαν τις φασματικές υπογραφές σε δεδομένες περιοχές εκπαίδευσης για την πραγματοποίηση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια του έργου για το χαρακτηρισμό λεκανών απορροής στις παραπάνω περιοχές με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Συνεπώς, αναμένεται να αποτελέσουν πολύτιμο εργαλείο για την υποστήριξη της διαχείρισης των υδάτινων πόρων στις περιοχές εφαρμογής.

COMBINED USE OF REMOTE SENSING AND GIS TO SUPPORT INTEGRATED WATER MANAGEMENT: THE REALDEMS PROJECT.

Chrysoulakis N.¹, Feidas H.², Velianitis D.³

¹Foundation for Research and Technology – Hellas,
Institute of Applied and Computational Mathematics

²Aristotle University of Thessaloniki, Department of Geology, Division of Meteorology - Climatology

³PLANO S.A.

Abstract

In this study, the methodology and results of the project REALDEMS (REmote sensing Application for Land cover and DEMs Service) are presented. This project aimed at providing accurate DEM and land cover databases for Greek islands, capable of being used in local studies. ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) images were used in combination with Global Positioning System (GPS) data and field observations. A digital stereo correlation approach was applied to produce DEM from ASTER stereo pairs, whereas supervised classification techniques were applied for land cover mapping. Three main stages were planned in REALDEMS: In the first stage, ASTER images were pre-processed and the field measurements and observations were performed. The second stage included all remote sensing analysis tasks, whereas the third stage was related to GIS analysis and validation of results, in terms of application of the produced DEM and land

cover for watershed characterization. This type of application had been selected because of the great importance of water resources for Greek islands. Thus, REALDEMS also aimed at introducing satellite remote sensing data and methodologies in support of local level watershed management providing also valuable information to hydrological modelling.

Λέξεις κλειδιά: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, Χάρτης Κάλυψης Γης, Υδρολογικές Εφαρμογές.

Key words: Digital Elevation Model, Land Cover Map, Hydrological Applications.

1. Εισαγωγή

Η ορθολογική εκμετάλλευση και η ενιαία διαχείριση των υδατικών πόρων επιβάλλει την αντιμετώπιση του νερού συνολικά ως φυσικού πόρου και ως φυσικού αγαθού. Για το λόγο αυτό θεσπίστηκε πλαίσιο κοινοτικής δράσης στο πεδίο της πολιτικής υδάτων (Οδηγία 2000/60/ΕΚ). Η οδηγία αυτή καθιερώνει την διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού και ορίζει ότι εντός της λεκάνης θα εξασφαλίζεται έτσι η διοικητική διάρθρωση ώστε να διασφαλίζει τη συνολική διαχείριση των υδάτων που ανήκουν στο ίδιο οικολογικό και υδρογεωλογικό σύστημα, είτε τα ύδατα αυτά είναι παρόντα ως υπόγεια, είτε ως επιφανειακά ύδατα. Συνεπώς, η οδηγία απαιτεί ολοκληρωμένο υδατικό σχεδιασμό ανά ποτάμια λεκάνη.

Η δημιουργία βάσεων δεδομένων που είναι απαραίτητες για την εφαρμογή της Οδηγίας απαιτεί τη χρήση σύγχρονων τεχνικών για την εκτίμηση χωρικών κατανομών φυσικών παραμέτρων καθώς και εργαστηριακών αναλύσεων για τον εντοπισμό χημικών ουσιών σε νερό και έδαφος. Στην πρώτη κατεύθυνση έρχεται να συμβάλει το έργο REALDEMS (REmote sensing Application for Land cover and Digital Elevation Models Service), το οποίο εκπονήθηκε με χρηματοδότηση της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας από το Ίδρυμα Τεχνολογίας, το Jet Propulsion Laboratory της NASA, το Πανεπιστήμιο Αιγαίου και την εταιρεία PLANO Α.Ε. Στόχος του έργου ήταν να εισάγει και να διαχύσει στην ελληνική επιστημονική κοινότητα τεχνολογία σχετική με την εφαρμογή σύγχρονων δορυφορικών τεχνικών για την παραγωγή ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DEM: Digital Elevation Model) και θεματικών χαρτών κάλυψης γης σε τοπικό επίπεδο για την υποστήριξη τόσο του χαρακτηρισμού λεκανών απορροής, όσο και της εφαρμογής υδρολογικών μοντέλων, εφόσον για το χαρακτηρισμό, απαιτείται η γνώση της τοπογραφίας (DEM) και της κάλυψης του εδάφους (land cover), ενώ και τα δύο αυτά προϊόντα αποτελούν δεδομένα εισαγωγής για τα υδρολογικά μοντέλα (Chrysoulakis et al., 2003; 2004; Nikolakopoulos et al., 2006).

Το ραδιόμετρο ASTER (Advance Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer), καλύπτει μία ευρεία φασματική περιοχή από το ορατό μέχρι το θερμικό υπέρυθρο με 14 φασματικές ζώνες υψηλής χωρικής διακριτικής και ραδιομετρικής ικανότητας (Abrams, 2000). Το υποσύστημα ορατού - εγγύς υπέρυθρου του ASTER, το οποίο αποτελείται από 3 φασματικές ζώνες που κατοπτεύουν στο ναδίρ και μία επιπλέον η οποία κατοπτεύει προς τα πίσω, παρέχει στερεοσκοπική κάλυψη κατά μήκος της τροχιάς (along track). Στην διανυσματική απεικόνιση (push broom), την οποία χρησιμοποιεί το σύστημα ASTER, κάθε γραμμή της εικόνας έχει το δικό της προοπτικό σημείο. Η θέση και ο προσανατολισμός της πλατφόρμας λήψης μπορεί να προσδιοριστεί και να περιγραφεί από 6 παραμέτρους, που όλες επηρεάζουν τη γεωμετρία της εικόνας. Οι παράμετροι αυτές είναι οι καρτεσιανές συντεταγμένες της θέσης της πλατφόρμας και οι τρεις γωνίες στροφής της. Πέραν των ανωτέρω παραγόντων, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την γεωμετρία της εικόνας, όπως η ταχύτητα της πλατφόρμας και το ανάγλυφο του εδάφους. Κατά κανόνα οι διάφορες πηγές γεωμετρικών παραμορφώσεων των εικόνων μπορούν να συνοψιστούν στις παραμορφώσεις που οφείλονται στον παρατηρητή και στις παραμορφώσεις που οφείλονται στο αντικείμενο παρατήρησης (Toutin, 2004). Οι παραμορφώσεις αυτές απαιτούν μαθηματικά μοντέλα για την διόρθωσή τους τα οποία περιγράφουν τη σχέση του συστήματος αναφοράς της εικόνας με το γεωδαιτικό σύστημα. Υπάρχουν διαφόρων ειδών μοντέλα και αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό (Toutin, 2001), όμως τα πιο

ακριβή είναι τα φυσικά μοντέλα, τα οποία προσομοιώνουν την τροχιά του δορυφόρου, τη γεωμετρία και την απόδοση των οπτικών συστημάτων του, λαμβάνοντας υπόψη τις επικρατούσες συνθήκες κατά τη διάρκεια λήψης ενός στερεοζεύγους. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να καθοριστεί με ακρίβεια ο εσωτερικός και ο εξωτερικός προσανατολισμός για την επίλυση των εξισώσεων του αερο-τριγωνισμού, να υπολογιστεί η επίδραση που έχουν στη στερεοσκοπική παράλλαξη οι προαναφερθέντες παράμετροι μέσω της προσομοίωσης του φυσικού μοντέλου και να γίνει μετασχηματισμός σε κατάλληλο σύστημα αναφοράς στο οποίο η στερεοσκοπική παράλλαξη θα είναι συνάρτηση μόνο της επίδρασης του αναγλύφου, συνεπώς θα μπορεί να υπολογιστεί από αυτήν το υψόμετρο για κάθε εικονοστοιχείο (Toutin, 2001).

Για την παραγωγή DEM από εικόνες ASTER χρησιμοποιούνται δεδομένα Επιπέδου 1 (Fujisada, 1998). Κάθε στερεοζεύγος περιλαμβάνει εικόνες που έχουν ληφθεί στα φασματικά κανάλια του εγγύς υπερύθρου με κατακόρυφη και με προς τα πίσω λήψη τα οποία παρέχουν με τον τρόπο αυτό στερεοσκοπική κάλυψη. Η ακρίβεια των τελικών προϊόντων εξαρτάται από τις παραμορφώσεις της εικόνας, την ακρίβεια του εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού, την αξιοπιστία της διαδικασίας συσχέτισης και την ακρίβεια και την πυκνότητα των επίγειων σημείου ελέγχου και την αναλογία βάση προς ύψος του υποσυστήματος ορατού – εγγύς υπερύθρου του ASTER (Lang and Welch, 1999). Για την κατά μήκος της τροχιάς κατόπτρευση του συστήματος ASTER υπάρχει μια σταθερή αναλογία βάση προς ύψος και η διαφορική παράλλαξη που υπολογίζεται με τη διαδικασία της στερεοταύτισης, είναι ανάλογη του υψομέτρου. Οι τεχνικές στερεοταύτισης καθορίζουν την αντιστοιχία μεταξύ δύο περιοχών της εικόνας εξετάζοντας την ομοιότητα των ψηφιακών τιμών τους. Οι πιο γνωστές μέθοδοι αυτής της κατηγορίας είναι ο αλγόριθμος διασυσχετισμού (cross correlation) και ο αλγόριθμος συσχετισμού ελαχίστων τετραγώνων (least square correlation). Οι αλγόριθμοι αυτοί χρησιμοποιούν παράθυρα συσχέτισης που αποτελούνται από ομάδες εικονοστοιχείων (π.χ. τετράγωνα παράθυρα 3x3, 5x5 ή 7x7 εικονοστοιχείων) και τα χαρακτηριστικά των οποίων χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό ομοειδών αντικειμένων στην επιφάνεια της γης που μπορούν να διακριθούν και στις δύο εικόνες. Πρακτικά, υπολογίζεται ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του παραθύρου αναφοράς και κάθε παραθύρου αναζήτησης και εκείνο για το οποίο ο συντελεστής παρουσιάζει μέγιστο αντιστοιχείται στο παράθυρο αναφοράς (Toutin, 2001; Leica, 2002; PCI, 2003; Radhika et. al., 2007).

Η κάλυψη του εδάφους, όπως έχει δείχθει σε πολλές εργασίες, μπορεί να προκύψει από ανάλυση δορυφορικών καταγραφών με εφαρμογή μεθόδων φασματικής ταξινόμησης (Haack et al., 1987; Gong and Howarth, 1990; Bastin, L., 1997; Ridd and Liu 1998; Vogelmann et al., 1998; Stefanov et al., 2001; Chrysoulakis, 2003). Στις περισσότερες από τις παραπάνω εργασίες, επιχειρείται ταξινόμηση με βάση την ψηφιακή τιμή κάθε εικονοστοιχείου, ωστόσο, η τεχνική αυτή δεν είναι πάντα αξιόπιστη σε ανομοιογενείς επιφάνειες με μικρή χωρική διάσταση στοιχείων (Foody, 2000; Kontoes et al., 2000).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα του έργου REALDEMS και συγκεκριμένα τα DEM και οι θεματικοί χάρτες κάλυψης γης που δημιουργήθηκαν με βάση στερεοσκοπικά και πολυφασματικά δεδομένα του ραδιομέτρου ASTER για τις περιοχές της Κρήτης και της Λέσβου. Τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για το χαρακτηρισμό λεκανών απορροής στις παραπάνω περιοχές με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ).

2. Μεθοδολογία

Για τη δημιουργία των DEM από στερεοζεύγη εικόνων ASTER χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις φωτοσταθερών σημείων στο πεδίο (GCPs: Ground Control Points) με τη βοήθεια διαφορικού GPS (Global Positioning System) το οποίο διαθέτει το ΙΤΕ. Για τη συλλογή των GCPs αρχικά έγινε η επιλογή των περιοχών στις οποίες θα λαμβάνονταν οι μετρήσεις. Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οι περιοχές αυτές στις εικόνες ASTER και εντοπίστηκαν σε αυτές διακριτά και εμφανή σημεία. Τα σημεία αυτά θα έπρεπε να είναι προσεχτικά επιλεγμένα έτσι

ώστε αργότερα να μπορούν να προσδιοριστούν στην εικόνα με ακρίβεια ενός εικονοστοιχείου. Παραδείγματα τέτοιων σημείων είναι: Διασταυρώσεις δρόμων, φάροι, λιμενοβραχίονες, γέφυρες ποταμών, απότομες στροφές κ.α.

Η εξαγωγή του DEM βασίστηκε στην αρχή του υπολογισμού του υψόμετρου μέσω της στερεοσκοπικής παράλλαξης. Για τον έλεγχο αξιοπιστίας του παραγόμενου DEM χρησιμοποιήθηκαν τριγωνομετρικά σημεία. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Orthoengine της PCI Geomatics (PCI, 2003) το οποίο διαθέτει φυσικό μοντέλο για το σύστημα ASTER. Το μοντέλο αυτό που χρησιμοποιείται για την αντιστοίχιση - σύνδεση των εικονοστοιχείων των εικόνων με τα αντίστοιχα σημεία στο έδαφος (υπολογισμός εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού), είναι ένα αυστηρό τροχιακό μοντέλο για την εξισορρόπηση και διόρθωση παραμορφώσεων της εικόνας που οφείλονται στη γεωμετρία των αισθητήρων, στην τροχιά του δορυφόρου, και στις μεταβολές του ύψους, του σχήματος της γης, της στροφής και του ανάγλυφου. Το μοντέλο επιλύθηκε αριθμητικά για κάθε προβολικό κέντρο, κάθε σκηνής ASTER με τη χρήση οριακών συνθηκών που προέκυψαν από τα GCPs.

Σημαντικό τμήμα της διαδικασίας, μετά την συλλογή των GCPs ήταν η σαφής αναγνώριση του αντίστοιχου εικονοστοιχείου και ο προσδιορισμός των συντεταγμένων του. Κατά την προσθήκη των σημείων υπήρχε η δυνατότητα ταυτόχρονου υπολογισμού του μαθηματικού μοντέλου, οπότε μπορούσε να εκτιμηθεί η ποιότητα των σημείων που εισάγονταν κάθε φορά. Ο έλεγχος αυτός, πραγματοποιούνταν με βάση τα υπολειμματικά σφάλματα (residual errors). Τα υπολειμματικά σφάλματα αποδίδουν τη διαφορά μεταξύ της θέσης (εικονοσυντεταγμένες) που δηλώθηκε ένα συγκεκριμένο GCP σε μια συγκεκριμένη εικόνα, και της θέσης που υπολογίζει για αυτό το σημείο, το μοντέλο, μέσω της τεχνικής συνόρθωσης κατά δέσμες (bundle adjustment) την οποία χρησιμοποιεί. Η τεχνική αυτή αναζητεί την καλύτερη δυνατή θέση κάθε εικονοστοιχείου σε μια εικόνα, χρησιμοποιώντας όλα τα σημεία, καθώς και τα στοιχεία εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού. Το κριτήριο για την επίλυση αυτή είναι η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των υπολειμματικών σφαλμάτων. Όταν ο προσανατολισμός και η θέση του αισθητήρα έχουν αναγνωρισθεί, η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ακριβή διόρθωση της εικόνας από γνωστές παραμορφώσεις. Με την προσθήκη νέων GCPs, επανακαθορίζεται η λύση του μαθηματικού μοντέλου με αποτέλεσμα να προκύπτουν περισσότερο ακριβή αποτελέσματα.

Στη συνέχεια, μετά τον καθορισμό των παραμέτρων του φυσικού μοντέλου για κάθε σκηνή ASTER, ο υπολογισμός της στερεοσκοπικής παράλλαξης επιτελέστηκε στο χώρο των επιπολικών εικόνων. Οι επιπολικές εικόνες είναι στερεοζεύγη εικόνων που προκύπτουν με την επαναπροβολή του αρχικού στερεοζεύγους, ώστε οι δύο εικόνες να έχουν κοινό προσανατολισμό. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται επιπολικές εικόνες είναι για τη διευκόλυνση του αλγόριθμου στερεοαύτισης. Η επαναπροβολή αυτή πραγματοποιείται με τη συνθήκη κάθε σημείο στην επιφάνεια της γης το οποίο κατοπτεύεται και τα αντίστοιχα είδωλά του σε κάθε εικόνα του στερεοζεύγους να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (επιπολικό επίπεδο). Η ανίχνευση για ομοειδή αντικείμενα πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια παραθύρων συσχέτισης. Συνεπώς η στερεοσκοπική παράλλαξη υπολογίστηκε στο χώρο των επιπολικών εικόνων από τη διαφορά θέσης ομοειδών εικονοστοιχείων ως προς το κεντρικό, επομένως το υψόμετρο σε κάθε σημείο εξάχθηκε από την επικαλυπτόμενη περιοχή μεταξύ των επιπολικών εικόνων. Σε κάποιες περιπτώσεις υπήρχαν περιοχές των εικόνων στις οποίες απέτυχε η συσχέτιση. Ως τιμή ασυσχέτιστου εικονοστοιχείου (εικονοστοιχείο για το οποίο απέτυχε η διαδικασία συσχέτισης) δόθηκε η τιμή -9999. Η αποτυχία συσχέτισης ενδεχομένως να οφειλόταν, σε ατμοσφαιρικές παρεμβολές (σύννεφα), σκιές λόγω ανάγλυφου, υδάτινες μάζες (φράγματα, λίμνες), πυκνές αστικές περιοχές, λατομικές ζώνες και στην ακτογραμμή. Για τις περιοχές αυτές το υψόμετρο στο τελικό DEM υπολογίστηκε με χωρική παρεμβολή.

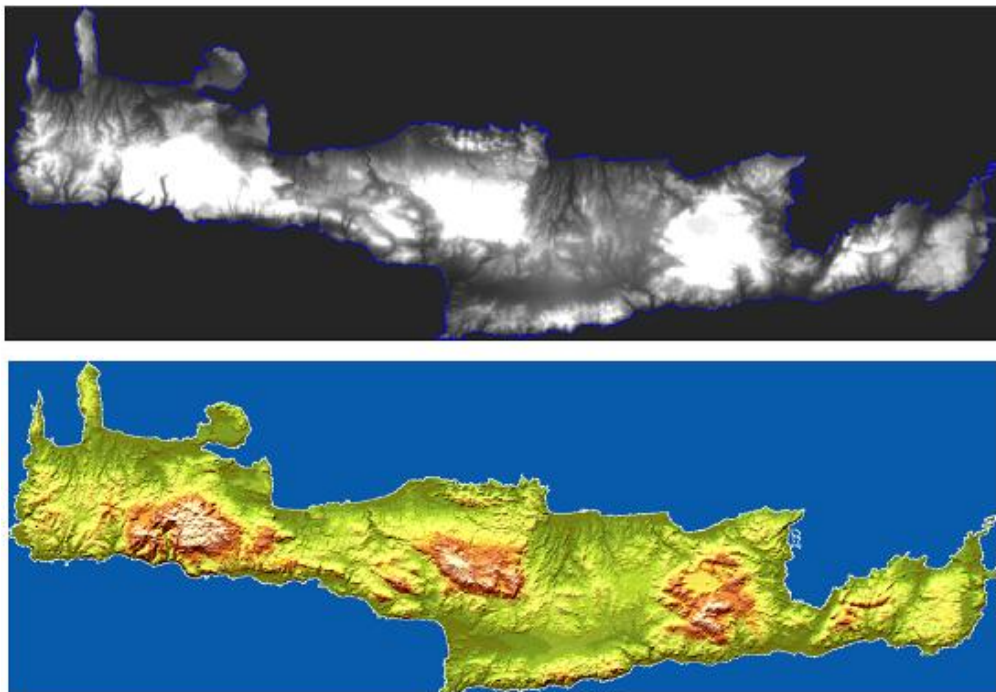
Για την αξιολόγηση των παραγόμενων DEM χρησιμοποιήθηκαν τριγωνομετρικά σημεία της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού από χάρτες 1:5000, καθώς και σημεία ελέγχου που συλλέχθηκαν στο πεδίο και δεν χρησιμοποιήθηκαν ως GCPs. Η αξιολόγηση στηρίχθηκε στην

σύγκριση των υψών των τριγωνομετρικών σημείων με τα ύψη των αντίστοιχων σημείων του DEM. Λόγω της μεθοδολογίας στερεοταύτισης (cross correlation) το σφάλμα ως προς το οριζόντιο επίπεδο ήταν της τάξης μεγέθους του ενός εικονοστοιχείου (15 m). Συνεπώς, για τη σύγκριση των υψών ήταν αναγκαίο εξαλειφθεί το οριζόντιο (planimetric) σφάλμα. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τη δημιουργία κυκλικών ζωνών επέκτασης (buffers) ακτίνας 15 m γύρω από κάθε τριγωνομετρικό σημείο. Σε κάθε ζώνη επέκτασης με τον τρόπο αυτό αντιστοιχήθηκε ένα πολύγωνο (κυκλικός δίσκος) ακτίνας 15 m. Παρήχθη ένα σύνολο ζωνών επέκτασης σε 1 - 1 αντιστοιχία με τα τριγωνομετρικά σημεία και υπολογίστηκε για καθένα η μέση τιμή του υψομέτρου των εικονοστοιχείων τα οποία περιλαμβάνονταν σε κάθε ζώνη επέκτασης. Κατόπιν, η τιμή αυτή συγκρίθηκε με την τιμή υψομέτρου του αντίστοιχου τριγωνομετρικού σημείου από το οποίο δημιουργήθηκε αρχικά το πολύγωνο ως ζώνη επέκτασης. Από τη σύγκριση αυτή προέκυψε το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE: Root Mean Square Error) το οποίο αποτελεί μέτρο της διαφοράς των δύο πηγών υψομέτρων.

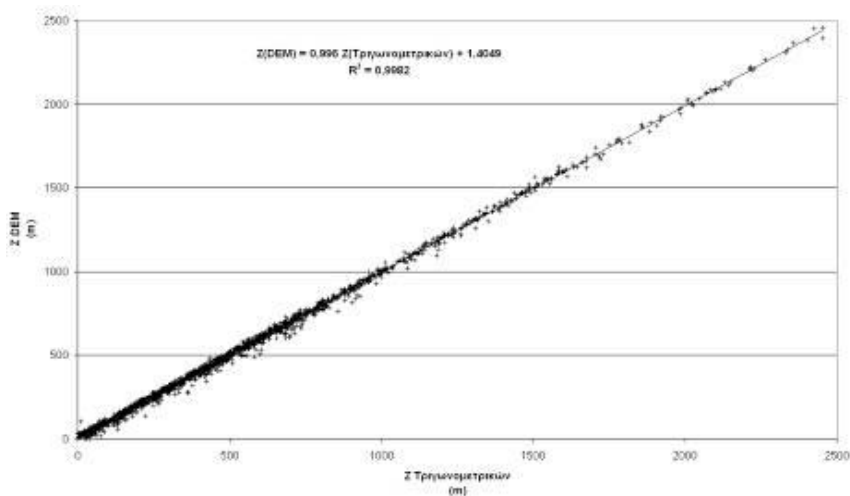
Το παραχθέν DEM κάθε επιμέρους σκηνής ASTER χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια, σε συνδυασμό με τα διαθέσιμα GCPs, για την ορθοαναγωγή των εικόνων των καναλιών του ορατού, του εγγύς υπερύθρου και του υπερύθρου μικρού μήκους κύματος της σκηνής (9 φασματικά κανάλια). Οι πολυφασματικές ορθοεικόνες που δημιουργήθηκαν από τις επιμέρους σκηνές, συνενώθηκαν κατόπιν σε μωσαϊκό ορθοεικόνων για τις περιοχές της Κρήτης και της Λέσβου και οι αντίστοιχοι χάρτες κάλυψης γης παρήχθησαν με φασματική ταξινόμηση στα μωσαϊκά αυτά. Λόγω των διαφορετικών συνθηκών λήψης (π.χ θέση του ήλιου, ημερομηνία λήψης, κατάσταση ατμόσφαιρας) των επιμέρους σκηνών ASTER υπήρχαν διαφορές στα φασματικά χαρακτηριστικά τους, με συνέπεια να πραγματοποιηθεί κανονικοποίηση των φασματικών χαρακτηριστικών των εικόνων πριν τη συνένωσή τους σε μωσαϊκό. Κατόπιν εφαρμόστηκε στα μωσαϊκά των εικόνων η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, με βάση την ικανότητα αναγνώρισης πεδίων και την a priori γνώση των στοιχείων ώστε ο αλγόριθμος ταξινόμησης να καθορίσει τα στατιστικά κριτήρια (φασματικές υπογραφές) για την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις κανόνες ταξινόμησης (Leica, 2002): ο κανόνας της ελάχιστης απόστασης, της απόστασης Mahalanobis, και ο κανόνας μέγιστης πιθανοφάνειας. Για κάθε ταξινόμηση αξιολογήθηκαν οι παραγόμενες υπογραφές με βάση τον πίνακα σύμπτωσης (Contingency Matrix) και επιλέχθηκε ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας επειδή έδωσε καλύτερα και σαφέστερα αποτελέσματα. Η επιλογή των περιοχών εκπαίδευσης για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση έγινε με βάση τη γνώση των δεδομένων της περιοχής (π.χ. υπάρχουσα βλάστηση) και των προς εξαγωγή τάξεων και καταγραφή των σημείων στο πεδίο με τη χρήση GPS. Για τον υπολογισμό της διαχωριστικότητας (separability) τάξεων με βάση τις φασματικές υπογραφές των περιοχών εκπαίδευσης, ελήφθησαν υπόψη αφενός η διακύμανση των υπογραφών στα 9 φασματικά κανάλια του ASTER και αφετέρου τα μέσα διανύσματα των υπογραφών.

3. Αποτελέσματα

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται το παραγόμενο DEM για την περιοχή της Κρήτης, ως αποτέλεσμα της συνένωσης των DEM που παρήχθησαν από τις 12 επιμέρους σκηνές ASTER. Στην ίδια εικόνα παρατίθεται επίσης μια ψευδόχρωμη κωδικοποίησή του DEM της Κρήτης με το λευκό και τα σκούρα χρώματα να αντιστοιχούν σε μεγάλα υψόμετρα. Η ακτογραμμή έχει προστεθεί και στις δύο περιπτώσεις για λόγους εποπτείας. Για το σύνολο των σκηνών ASTER της περιοχής της Κρήτης το RMSE βρέθηκε στην πλειοψηφία των περιπτώσεων κάτω των 20 m, γεγονός που αποδεικνύει την αξιοπιστία της μεθόδου και την καταλληλότητα των τελικών προϊόντων για εφαρμογές τοπικού χαρακτήρα, όπως ο χαρακτηρισμός λεκανών απορροής. Η πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των υψομέτρων των δύο αυτών πηγών για την Κρήτη συνολικά φαίνεται στην Εικόνα 2. Το μέγιστο υψόμετρο του παραχθέντος DEM είναι 2460 m, ο αριθμός των τριγωνομετρικών σημείων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 1854 και υπολογίστηκε RMSE = 18,7 m



Εικόνα 1. Αποτέλεσμα της συνένωσης των παραγομένων DEM από κάθε σκηνή ASTER για την περιοχή της Κρήτης (άνω). Ψευδόχρωμη κωδικοποίηση. Το λευκό και τα σκούρα χρώματα να αντιστοιχούν σε μεγάλα υψόμετρα (κάτω).



Εικόνα 2. Συσχέτιση μεταξύ των υψομέτρων των τριγωνομετρικών σημείων και των υψομέτρων που προκύπτουν από το παραχθέν DEM για της Κρήτης συνολικά.

Η φασματική ταξινόμηση για την εξαγωγή της κάλυψης γης για Κρήτη και Λέσβο πραγματοποιήθηκε με χρήση των μωσαϊκών ορθοεικόνων της κάθε περιοχής. Για την περίπτωση της Λέσβου το σχήμα ταξινόμησης περιλάμβανε 10 τάξεις (υδάτινες περιοχές, αλυκές, αστικό περιβάλλον, γυμνό έδαφος, καλλιέργειες, κωνοφόρα, πλατύφυλλα, θαμνότοποι, ελαιώνες, χορτολίβαδα), αριθμός που θεωρήθηκε αντιπροσωπευτικός αφενός για την αποφυγή ασήμαντων (περισσότερων) τάξεων (με μικρή φασματική κάλυψη) και αφετέρου για την αποφυγή δημιουργίας λιγότερων τάξεων στις οποίες θα χάνονταν σημαντικό τμήμα πληροφορίας. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται ο θεματικός χάρτης κάλυψης γης για την περιοχή της Λέσβου. Στην ταξινομημένη αυτή εικόνα οι 10 τάξεις μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές ως προς την ομοιογένεια για κάθε είδος που έχει καταγραφεί. Το ανατολικό τμήμα της Λέσβου καλύπτεται κυρίως από δασικές εκτάσεις και ελαιώνες, ενώ το δυτικό τμήμα έχει χαμηλή ή καθόλου βλάστηση. Το μεγαλύτερο μέρος του νησιού καλύπτεται από ελαιώνες. Σημαντική έκταση κωνοφόρου δάσους εμφανίζεται στην κεντρική νήσο, ενώ στα νότιο-ανατολικά καταλήγει σε δάσος πλατύφυλλων. Το βόρειο τμήμα της νήσου περιλαμβάνει όλα τα είδη κάλυψης σε σχετικά ίδιες εκτάσεις. Για την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε χάρτης κάλυψης γης σε κλίμακα 1:10000 που είχε παραχθεί από το Πανεπιστήμιο Αιγαίου με βάση δορυφορικές εικόνες πολύ υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας. Χρησιμοποιήθηκαν 167 τυχαία καταναμημένα σημεία ελέγχου στην εικόνα με μοναδικό κριτήριο η κάθε κατηγορία να περιλαμβάνει τουλάχιστον 5. Για να ελαχιστοποιηθούν κατά το δυνατόν τα σφάλματα λόγω μεγάλης διαφοράς στην κλίμακα των δύο χαρτών, επιλέχθηκε κάρναβος 3x3 εικονοστοιχείων γύρω από κάθε σημείο και αναγνωρίστηκε η τάξη με την απόλυτη πλειοψηφία. Με τα στοιχεία αυτά υπολογίζεται ο πίνακας σφαλμάτων (Πίνακας 1) ο οποίος περιγράφει τις εμφανίσεις εικονοστοιχείων που ανήκουν σε κάθε τάξη από τις δύο εικόνες και υπολογίζει την ακρίβεια του χρήστη. Όπως φαίνεται από τα στοιχεία, στις έξι από τις δέκα περιπτώσεις η ακρίβεια του χρήστη είναι μικρότερη από την ακρίβεια του παραγωγού. Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης κυμάνθηκε στο 61% που κρίνεται ικανοποιητικό για το είδος των διαθέσιμων δεδομένων.

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικός πίνακας ακρίβειας αποτελεσμάτων της ταξινόμησης.

Τάξεις	Εικονοστοιχείο α αναφοράς	Ταξινομημένα εικονοστοιχεία	Αριθμός ταυτίσεων	Ακρίβεια παραγωγού (%)	Ακρίβεια χρήστη (%)
Κωνοφόρα	31	23	21	67.74	91.30
Αλυκές	16	19	15	93.75	78.95
Άστικό περιβάλλον	3	8	3	100.00	37.50
Υδάτινο περιβάλλον	3	5	1	33.33	20.00
Θαμνότοποι	10	22	6	60.00	27.27
Γυμνό έδαφος	3	10	3	100.00	30.00
Πλατύφυλλα	9	16	7	77.78	43.75
Χορτολίβαδα	37	21	17	45.95	80.95
Ελαιώνας	39	23	17	43.59	73.91
Καλλιέργειες	16	20	12	75.00	60.00

4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την δημιουργία DEM, ορθοεικόνων και θεματικών χαρτών κάλυψης γης με βάση στερεοσκοπικά και πολυφασματικά δεδομένα του ραδιομέτρου ASTER για τις περιοχές της Κρήτης και της Λέσβου, στα πλαίσια του έργου REALDEMS. Παρουσιάστηκαν επίσης κάποια από τα προϊόντα του έργου, καθώς τα αποτελέσματα της αξιολόγησής τους. Τα DEM προέκυψαν με εφαρμογή

φωτογραμμετρικών μεθόδων σε στερεοζεύγη εικόνων ASTER που καλύπτουν τις περιοχές ενδιαφέροντος. Τα πλεονέκτημα της χρήσης στερεοζευγών ASTER είναι η σχεδόν ταυτόχρονη λήψη τους κατά μήκος της τροχιάς. Οι θεματικοί χάρτες κάλυψης γης παρήχθησαν με εφαρμογή μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε πολυφασματικά δεδομένα ASTER. Το πλεονέκτημα της μεθόδου έγκειται στο ότι η ορθοαναγωγή κάθε σκηνής ASTER πραγματοποιήθηκε με χρήση DEM το οποίο είχε παραχθεί από το αντίστοιχο στερεοζεύγος. Επιτόπιες παρατηρήσεις με τη βοήθεια GPS καθόρισαν τις φασματικές υπογραφές σε δεδομένες περιοχές εκπαίδευσης για την πραγματοποίηση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Συνοπτικά, τα προϊόντα του έργου, για τις περιοχές της Κρήτης και της Λέσβου είναι:

- DEM με $\pm 15 - 20$ m ακρίβεια σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο.
- Ορθοκανονικές πολυφασματικές εικόνες ASTER (9 κανάλια) με χωρική διακριτική ικανότητα 15 m και ακρίβεια ± 15 m.
- Θεματικοί χάρτες κάλυψης γης.

Τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια, στα πλαίσια του έργου για το χαρακτηρισμό λεκανών απορροής (κλίσεις και προσανατολισμοί των επιφανειών, όρια των λεκανών απορροής, όρια των υπολεκανών κάθε λεκάνης, υδρογραφικό δίκτυο, καμπυλότητα επιφανειών κλπ.) με εφαρμογή τεχνικών ΓΣΠ σε συγκεκριμένες περιοχές εφαρμογής σε Κρήτη και Λέσβο. Μελλοντικές δράσεις αφορούν στη χρήση τους σε εφαρμογές τοπικής κλίμακας όπως η ατμοσφαιρική διόρθωση δορυφορικών δεδομένων λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της τοπογραφίας, ο προσδιορισμός του ενεργειακού ισοζυγίου, ο προσδιορισμός των μεταβολών στις χρήσεις γης κλπ. Αναλυτική περιγραφή του έργου REALDEMS υπάρχει στο δικτυακό τόπο: <http://www.realdems.gr>.

Βιβλιογραφία

Abrams, M., 2000: ASTER: data products for the high spatial resolution imager on NASA's EOS-AM1 platform. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 847-861.

Bastin, L., 1997: Comparison of fuzzy c-means classification, linear mixture modeling and MLC probabilities as tools for unmixing coarse pixels. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 3629 – 3648.

Chrysoulakis, N., 2003: Estimation of the all-wave urban surface radiation balance by use of ASTER multispectral imagery and in situ spatial data, *Journal of Geophysical Research*, 108, D18, 4582, doi: 10.1029/2003JD003396.

Chrysoulakis, N., Diamandakis, M., and P. Prastacos, 2003: GIS Integration of ASTER stereo imagery for the support of Watershed Management. *Global Nest: The International Journal*, 5, 47 - 56.

Chrysoulakis, N., Abrams, M., Feidas, H. and Velianitis, D., 2004: Analysis of ASTER Multispectral Stereo Imagery to Produce DEM and Land Cover Databases for Greek Islands: The REALDEMS Project. In: Prastacos, P., Cortes, U. De Leon, J. L., Murillo, M. (Eds): *Proc. e-Environment*, pp. 411-424

Foody, G. M., 2000: Estimation of sub-pixel land cover composition in the presence of untrained classes. *Computers & Geosciences*, 26, 469 – 478.

Fujisada, H., 1998: ASTER Level 1 data processing algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, n. 4, p. 1101-1112.

Gong, P., and Howarth, P. J., 1990: The use of structural information for improving land-cover classification accuracies at the rural – urban fringe. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56, 67 – 73.

Haack, B., Bryant, N. and Adams, S., 1987: An assessment of Landsat MSS and TM data for urban and near-urban land-cover digital classification. *Remote Sensing of Environment*, 21, 201 – 213.

Kontoes, C. C., Raptis, V., Lautner, M., and Oberstadler, R., 2000: The potential of kernel classification techniques for land use mapping in urban areas using 5 m-spatial resolution IRS imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 3145–3151.

Lang, H., and Welch, R., 1999: ATBD-AST-08 Algorithm Theoretical Basis Document for ASTER Digital Elevation Models (Standard Product AST14). The Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Los Angeles, USA.

Leica, 2002: ERDAS Field Guide. Leica Geosystems. Atlanta, Georgia, USA.

Nikolakopoulos, K., Kamaratakis, E. and N. Chrysoulakis, 2006: SRTM vs ASTER Elevation Products. Comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 4819-4838.

PCI, 2003: OrthoEngine User Guide, PCI Geomatics, Ontario, Canada.

Radhika, V. N., Kartikeyan, B., Krishna, B. G., Chowdhury, S. and Srivastava, P. K., 2007. Robust Stereo Image Matching for Spaceborne Imagery. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 45, 2993 – 3000.

Ridd, M. K., and Liu, J., 1998: A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. *Remote Sensing of Environment*, 63, 95 – 100.

Stefanov, W. L., Ramsey, M. S. and Christensen, P. R., 2001: Monitoring urban land cover change: An expert system approach to land cover classification of semiarid to arid urban centers. *Remote Sensing of Environment*, 77, 173 – 185.

Toutin, Th., 2001: Elevation Modelling from Satellite VIR Data: A Review. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 1097 - 1125.

Toutin, Th, 2004: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and method. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 1893 - 1924.

Vogelmann, J. E., Sohl, T. and Howard, S. M., 1998: Regional characterization of land cover using multiple sources of data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64, 45 – 57.

ΧΑΡΤΕΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ: ΕΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΕΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Γαλανόπουλος Δ.¹, Σοϊλεμεζίδου Μ.², Παπούλης Α.³

¹ Υπουργείο Εσωτερικών Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης/Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, Αθήνα

² Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών/Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπληροφορικής, Αθήνα

³ Sanofi - Aventis Ελλάδα, Καλλιθέα

Περίληψη

Τα φαινόμενα κατολισθήσεων αποτελούν έναν από τους πλέον καταστροφικούς κινδύνους στο κόσμο, με επιπτώσεις όχι μόνο σε κτίρια, υποδομές ή άλλου είδους ανθρώπινη αναπτυξιακή δραστηριότητα, αλλά και στον ίδιο τον άνθρωπο προκαλώντας συχνά τραυματισμούς και θανάτους. Η μείωση ή και η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων όλων των φυσικών καταστροφών και ειδικότερα των κατολισθήσεων, αποτελούν όπως είναι γνωστό στόχο της παγκόσμιας κοινότητας. Η επίτευξη του στόχου απαιτεί την εφαρμογή μεθοδολογιών πρόληψης και αντιμετώπισης που βασίζονται στις σύγχρονες μεθόδους χαρτογράφησης και ιδιαίτερα στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (ΓΣΠ). Τα ΓΣΠ είναι πλέον αδιαμφισβήτητα εργαλεία χαρτογράφησης της επικινδυνότητας και του κινδύνου κατολισθήσεων.

Η διαπίστωση ότι οι αρμόδιοι στα θέματα διαχείρισης κινδύνου και στη λήψη αποφάσεων σε περιπτώσεις καταστάσεων έκτακτης ανάγκης δεν είναι συνήθως εξειδικευμένοι επιστήμονες και μηχανικοί, αναδεικνύει την ανάγκη σύνταξης επιχειρησιακών χαρτών που θα είναι χρηστικοί και αναγνώσιμοι από τη πλειοψηφία των στελεχών πολιτικής προστασίας. Στη παρούσα εργασία παρουσιάζουμε μια απλή μέθοδο καθορισμού ενός δείκτη, που εκφράζει την επιδεκτικότητα μιας περιοχής σε φαινόμενα κατολισθήσεων. Η μέθοδος υπολογισμού βασίζεται στη χρήση δεδομένων που αφορούν τη γεωλογία, τις κλίσεις του εδάφους και τη μέση ετήσια βροχόπτωση της περιοχής. Ο δείκτης υπολογίζεται για μεγάλες γεωγραφικές περιοχές που καθορίζονται με βάση τη διοικητική διαίρεση μιας χώρας (π.χ. Δήμοι, Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις, Περιφέρειες). Οι τιμές του δείκτη κατηγοριοποιούνται σε τρεις ζώνες χαμηλής, μεσαίας και υψηλής επιδεκτικότητας, αντίστοιχα. Η χωρική κατανομή του δείκτη παρουσιάζεται υπό τη μορφή «χάρτη επιφυλακής», όπου οι περιοχές χαμηλής, μεσαίας και υψηλής επιδεκτικότητας κατολισθήσεων, εμφανίζονται με διαφορετική χρωματική απεικόνιση.

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS: A USEFUL TOOL FOR RISK MANAGERS

Galanopoulos D.¹, Soilemezidou M.², Papoulis A.³

¹ Ministry of Interior, Public Administration & Decentralization, General Secretariat for Civil Protection

² National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geo-environment

³ Sanofi-Aventis, Greece

Abstract

Landslide phenomena comprise one of the most disastrous natural hazards in the world with impacts that are not limited on housing, lifeline systems or other human development but occasionally regarding injuries and loss of life. The minimization and either the elimination of the consequences of all natural disasters requires prevention methodologies based on modern cartography and GIS, which are undoubtedly useful tools for hazard mapping.

The fact that disaster managers and decision makers are not usually qualified scientists

and engineers reveals the need for producing operational maps easily understood by the majority of civil protection officers. We present a simple method for determining a landslide susceptibility index by using geological, slope gradient and mean annual rainfall data. The index is determined for large geographical areas, which correspond to particular administrative levels (e.g. municipalities, prefectures, regions) of a country. The index values are classified into three groups indicating low, moderate and high landslide susceptibility, respectively. The spatial distribution of the index is illustrated in the form of a vigilance map where areas of low, moderate and high landslide susceptibility are illustrated by different colours.

Λέξεις κλειδιά: χάρτης επιδεκτικότητας κατολίσθησης, χάρτης επιφυλακής.

Key words: landslide susceptibility map, vigilance map.

1. Εισαγωγή

Ο γενικός όρος κατολίσθηση σύμφωνα με τη διεθνή και την ελληνική βιβλιογραφία (Varnes, 1984; Cruden, 1991; Cruden and Varnes, 1996; Λέκκας, 2000; Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002; Αντωνίου, 2005) περιγράφει τη μετακίνηση εδαφικών ή βραχωδών μαζών λόγω διαταραχής της ισορροπίας των υλικών των πρανών. Ως γνωστό οι κατολισθήσεις έχουν συνήθως καταστροφικές επιπτώσεις στον άνθρωπο, στις ανθρώπινες κατασκευές (κατοικίες, κτίρια, υποδομές) και στο περιβάλλον γενικότερα.

Η διαδικασία διαχείρισης του κινδύνου κατολίσθησης (landslide risk) περιλαμβάνει ένα σύνολο ενεργειών και αποφάσεων που έχουν σκοπό τη μείωση ή ακόμη και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων ενός τέτοιου φαινομένου σε μια περιοχή. Στα πλαίσια των ενεργειών που αφορούν στη πρόληψη του κινδύνου περιλαμβάνεται η διαδικασία ανάλυσης του κινδύνου και ειδικότερα η εκτίμηση της επικινδυνότητας κατολίσθησης (landslide hazard assessment). Σύμφωνα με τους Varnes (1984) και Guzzetti et al (1999), η επικινδυνότητα κατολίσθησης (landslide hazard) ορίζεται ως η πιθανότητα να εκδηλωθεί σε συγκεκριμένο χρόνο κα τόπο ένα εν δυνάμει καταστροφικό φαινόμενο κατολίσθησης.

Τα τελευταία 30 χρόνια έγιναν σε παγκόσμιο επίπεδο (Cotecchia, 1978; Carrara, 1983; Brabb, 1984; Crozier, 1984; Hansen, 1984; Varnes, 1984; Crozier, 1986; van Westen, 1993, 1994) μεγάλες προσπάθειες για την ανάπτυξη μεθόδων που είχαν στόχο την εκτίμηση και τη χαρτογράφηση της επικινδυνότητας κατολίσθησης σε ζώνες ή αλλιώς τη ζωνοποίηση της επικινδυνότητας (hazard zonation). Στη χαρτογράφηση της επικινδυνότητας προκύπτουν περιορισμοί εννοιολογικού και επιχειρησιακού χαρακτήρα. Οι περιορισμοί αυτοί κατά τον Guzzetti et al (1999) μπορούν να ξεπεραστούν με την υιοθέτηση της άποψης ότι οι περισσότεροι χάρτες επικινδυνότητας κατολίσθησης μπορούν να χαρακτηριστούν χάρτες επιδεκτικότητας κατολίσθησης (landslide susceptibility maps).

Σύμφωνα με τους Soeters and van Westen (1996), η επιδεκτικότητα εκφράζει τη πιθανότητα εκδήλωσης μιας κατολίσθησης σε μια περιοχή εξαιτίας των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Οι συνθήκες που προκαλούν κατολίσθηση και συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με αστοχίες στα πρανή αποτελούν τους λεγόμενους παράγοντες αστάθειας (instability factors). Οι μέθοδοι για την ταξινόμηση των παραγόντων αστάθειας των πρανών και τον προσδιορισμό των διαφόρων επιπέδων επικινδυνότητας διακρίνονται σε ποιοτικές ή ποσοτικές και άμεσες ή έμμεσες όπως φαίνεται στο κατωτέρω Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση των μεθόδων ταξινόμησης των παραγόντων αστάθειας των πρυνών

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
μέθοδοι χαρτογράφησης γεωμορφολογικής επικινδυνότητας	Άμεσες - Ποιοτικές
μέθοδοι ανάλυσης καταλόγων κατολισθήσεων	Έμμεσες - Ποιοτικές
εμπειρικές μέθοδοι ή μέθοδοι δεικτών	Έμμεσες - Ποσοτικές
στατιστικές μέθοδοι	Έμμεσες - Ποσοτικές
γεωτεχνικές μέθοδοι	Έμμεσες - Ποσοτικές

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζουμε μια εμπειρική μέθοδο προσδιορισμού ενός δείκτη, που εκφράζει την επιδεκτικότητα μιας περιοχής σε φαινόμενα κατολισθήσης. Η γεωγραφική απεικόνιση του δείκτη γίνεται με χάρτες που τους ονομάζουμε «χάρτες επιφυλακής» (vigilance maps). Οι χάρτες αυτοί έχουν δύο πλεονεκτήματα. Η ανάγνωσή τους δεν απαιτεί εξειδικευμένη γνώση και η χρήση τους μπορεί να βοηθήσει στη λήψη μέτρων και αποφάσεων για την αντιμετώπιση του κινδύνου κατολισθήσης.

2. Μεθοδολογία

Η σύνταξη των χαρτών γίνεται ακολουθώντας μια απλή σχετικά μεθοδολογία η οποία περιλαμβάνει, ένα σύνολο από παραδοχές και προσεγγίσεις για τον υπολογισμό του δείκτη επιδεκτικότητας κατολισθήσης, τη μέθοδο υπολογισμού και τέλος τη χρήση ενός ΓΣΠ για τους υπολογισμούς και τη χαρτογράφηση του δείκτη. Η μέθοδος υπολογισμού που παρουσιάζουμε βασίζεται στις γενικές αρχές των εμπειρικών μεθόδων ή μεθόδων των δεικτών που ανέπτυξαν οι Anbalagan (1992), Anbalagan and Singh (1996) και Gupta and Anbalagan (1997). Η μεθοδολογία που χρησιμοποιούμε χωρίζεται σε πέντε στάδια τα οποία περιγράφονται με συνοπτικό τρόπο ως εξής.

Στο πρώτο στάδιο επιλέγεται η γεωγραφική περιοχή για την οποία πρόκειται να υπολογιστεί ο δείκτης επιδεκτικότητας κατολισθήσης. Η επιλογή πραγματοποιείται με βάση τη διοικητική διαίρεση της χώρας (π.χ. Δήμοι, Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις, Περιφέρειες). Η επιλογή αυτή καθορίζει συγχρόνως τη κλίμακα του «χάρτη επιφυλακής».

Στο δεύτερο στάδιο η επιλεγείσα περιοχή διαιρείται διαδοχικά σε ζώνες, ομαδοποιώντας τις τιμές τριών από τους κυριότερους παράγοντες αστάθειας που σχετίζονται άμεσα με τις επικρατούσες γεωλογικές, γεωμορφολογικές και υδρολογικές συνθήκες, αντίστοιχα.

Οι γεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής καθορίζονται από τις φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων. Σύμφωνα με το γεωτεχνικό χάρτη του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), τα πετρώματα στον Ελλαδικό χώρο ανάλογα με το πόσο επιρρεπή είναι σε κατολισθήσεις, εντάσσονται σε τρεις ζώνες επικινδυνότητας (χαμηλή, μέση και υψηλή).

Οι γεωμορφολογικές συνθήκες στον ελλαδικό χώρο ακολουθώντας τα διεθνή πρότυπα (Zerere, 2002) μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις ζώνες κλίσεων εδάφους, <5%, 5-15%, 15-30% και >30%, αντίστοιχα.

Οι υδρολογικές συνθήκες μιας περιοχής έχουν άμεση εξάρτηση από το ύψος της βροχόπτωσης, καθώς οι έντονες ή παρατεταμένες βροχοπτώσεις συμβάλλουν στον υπερκορεσμό του υδροφόρου ορίζοντα με αποτέλεσμα τη πρόκληση κατολισθήσης (Koukis et al., 1997; Nikolaou et al., 1997). Η μέση ετήσια βροχόπτωση στον ελλαδικό χώρο μπορεί να ομαδοποιηθεί σε πέντε ζώνες, <400mm, 400-600mm, 600-800mm, 800-1200mm και >1200mm, αντίστοιχα.

Μετά τη διαίρεση της περιοχής σε ζώνες υπολογίζεται το εμβαδόν της κάθε ζώνης με τη βοήθεια του ΓΣΠ ή άλλης προσεγγιστικής μεθόδου. Τα εμβαδά εκφράζονται σε ποσοστά επί τοις εκατό του συνολικού εμβαδού της περιοχής ενδιαφέροντος.

Στο τρίτο στάδιο υπολογίζονται τρεις παράμετροι, g , s και r , που εκφράζουν ποσοτικά τη συνεισφορά του είδους των γεωλογικών σχηματισμών, των κλίσεων του εδάφους και της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στην εκτίμηση του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίσθησης. Ο υπολογισμός των g , s και r γίνεται με τις μαθηματικές σχέσεις (1)-(3) ως ακολούθως:

$$g = \sum_{i=1}^3 i \cdot \frac{G_i}{100} \quad (1) \quad s = \sum_{j=1}^4 j \cdot \frac{S_j}{100} \quad (2) \quad r = \sum_{k=1}^5 k \cdot \frac{R_k}{100} \quad (3)$$

όπου, G_i τα ποσοστά των εμβαδών των ζωνών των γεωλογικών σχηματισμών, S_j τα εμβαδά των ζωνών κλίσεων εδάφους και R_k τα εμβαδά των ζωνών της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, αντίστοιχα. Οι συντελεστές i , j και k συμβολίζουν τους βαθμούς που αποδίδονται στις ζώνες κάθε παράγοντα αστάθειας και σύμφωνα με το Πίνακα 2 είναι ακέραιοι αριθμοί. Οι κλίμακες βαθμονόμησης των ζωνών ακολουθούν την αύξηση των παραμέτρων που εκφράζουν τους τρεις παράγοντες αστάθειας.

Πίνακας 2. Τρόπος βαθμονόμησης των ζωνών των τριών παραγόντων αστάθειας

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ					
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ		ΚΛΙΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΥΣ		ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	
ΖΩΝΗ	i (βαθμοί)	ΖΩΝΗ	j (βαθμοί)	ΖΩΝΗ	k (βαθμ)
ΧΑΜΗΛΗ	1	<5 (%)	1	<400 (mm)	1
ΜΕΣΗ	2	5-15 (%)	2	400-600 (mm)	2
ΥΨΗΛΗ	3	15-30 (%)	3	600-800 (mm)	3
		>30 (%)	4	800-1200 (mm)	4
				>1200 (mm)	5

Στο τέταρτο στάδιο υπολογίζεται ο δείκτης επιδεκτικότητας κατολίσθησης LSI (Landslide Susceptibility Index) με τη κατωτέρω μαθηματική σχέση (4).

$$LSI = w_g \cdot g + w_s \cdot s + w_r \cdot r \quad (4)$$

Σύμφωνα με την (4) ο δείκτης είναι άθροισμα τριών όρων, όπου κάθε όρος αποτελεί ένα γινόμενο δύο παραγόντων. Οι παράγοντες των γινομένων είναι οι παράμετροι g , s και r και οι συντελεστές βαρύτητας τους, w_g , w_s και w_r , αντίστοιχα. Η διαδικασία που περιλαμβάνει τα ανωτέρω τέσσερα στάδια μπορεί να επαναληφθεί για ένα οποιοδήποτε αριθμό αντίστοιχων γεωγραφικών περιοχών με αποτέλεσμα τον υπολογισμό ισάριθμων τιμών του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίσθησης.

Στο πέμπτο στάδιο γίνεται σύγκριση μεταξύ των τιμών του δείκτη προκειμένου να βρεθεί η μικρότερη, η οποία θεωρείται τιμή «υποβάθρου» και τελικά αφαιρείται από τη τιμή κάθε δείκτη με σκοπό τη δημιουργία μιας νέας κλίμακας με αρχή το μηδέν. Στο στάδιο αυτό οι τιμές του δείκτη κατηγοριοποιούνται σε τρεις ζώνες χαμηλής, μεσαίας και υψηλής επιδεκτικότητας, αντίστοιχα. Η χωρική κατανομή του δείκτη παρουσιάζεται υπό τη μορφή «χάρτη επιφυσικής», όπου οι περιοχές χαμηλής, μεσαίας και υψηλής επιδεκτικότητας κατολίσθησης, εμφανίζονται με τρεις διαφορετικές αποχρώσεις του γκριζου χρώματος.

3. Αποτελέσματα

Η μέθοδος που προτείνουμε εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίθησης όλων των νομαρχιακών αυτοδιοικήσεων της χώρας και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με υπάρχοντα στοιχεία του ΙΓΜΕ (Γεωτεχνικός Χάρτης της Ελλάδας, 1993) για οικισμούς που έχουν υποστεί καταστροφές από κατολισθητικά φαινόμενα. Στους Πίνακες 3, 4, 5 και 6 δίνονται ως παράδειγμα τα αποτελέσματα της μεθόδου για τη περίπτωση των τεσσάρων νομαρχιακών αυτοδιοικήσεων της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Ειδικότερα, στους Πίνακες 3, 4 και 5 παρουσιάζονται αναλυτικά τα εμβαδά των ζωνών επικινδυνότητας των γεωλογικών σχηματισμών, των κλίσεων εδάφους και της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, αντίστοιχα. Στο Πίνακα 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υπολογισμού των παραμέτρων g , s και r και του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίθησης LSI. Όπως φαίνεται στο Πίνακα 6, ο υπολογισμός του LSI έγινε θεωρώντας ισοβαρή τη συνεισφορά των τριών παραγόντων αστάθειας του Πίνακα 2 και ως εκ τούτου στη σχέση (4) ήταν $w_g = w_s = w_r = 1$.

Πίνακας 3. Εμβαδά ζωνών γεωλογικών σχηματισμών επιρρεπών σε κατολίθησης σε ποσοστό %

ΝΟΜΑΡΧΙΑΚΗ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗ	ΖΩΝΕΣ		
	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΣΗ	ΥΨΗΛΗ
ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	64,00	24,00	32,00
ΛΑΡΙΣΗΣ	37,00	50,00	13,00
ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	33,00	61,00	6,00
ΤΡΙΚΑΛΩΝ	52,00	34,00	14,00

Πίνακας 4. Εμβαδά ζωνών κλίσεων εδάφους σε ποσοστό %

ΝΟΜΑΡΧΙΑΚΗ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗ	ΖΩΝΕΣ			
	<5 (%)	5-15 (%)	15-30 (%)	>30 (%)
ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	58,90	14,50	23,70	2,90
ΛΑΡΙΣΗΣ	61,30	26,20	12,00	0,50
ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	46,80	36,20	16,40	0,60
ΤΡΙΚΑΛΩΝ	38,90	29,00	28,40	3,70

Πίνακας 5. Εμβαδά ζωνών μέσης ετήσιας βροχόπτωσης σε ποσοστό %

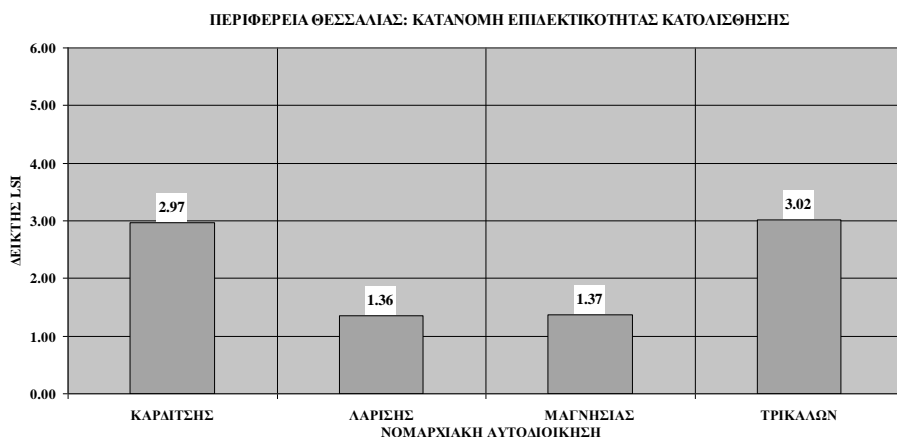
ΝΟΜΑΡΧΙΑΚΗ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗ	ΖΩΝΕΣ				
	<400 (mm)	400-600 (mm)	600-800 (mm)	800-1200 (mm)	>1200 (mm)
ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	0,00	27,10	15,20	20,00	37,70
ΛΑΡΙΣΗΣ	0,00	58,10	27,90	12,00	2,00
ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	6,30	58,70	21,00	13,50	0,50
ΤΡΙΚΑΛΩΝ	0,00	15,60	21,70	17,10	45,60

Πίνακας 6. Υπολογισμός δείκτη επιδεκτικότητας κατολίθησης (LSI)

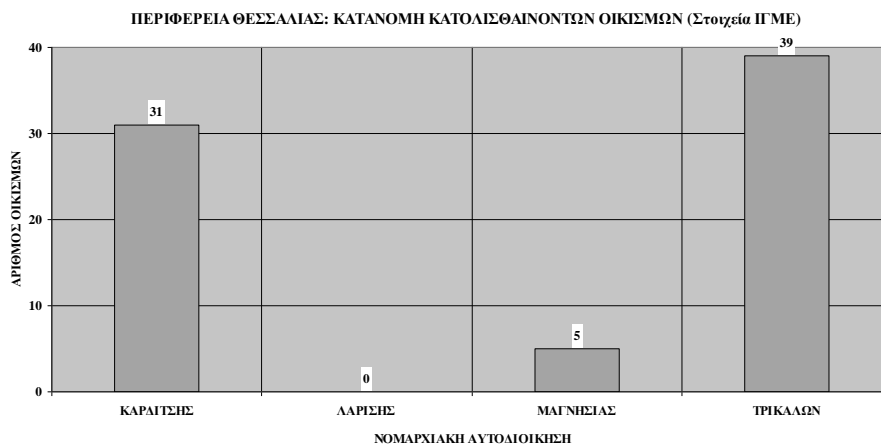
ΝΟΜΑΡΧΙΑΚΗ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΡΟΥΣ						LSI
	g	w_g	s	w_s	r	w_r	
ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	2,08	1,00	1,71	1,00	3,68	1,00	7,47
ΛΑΡΙΣΗΣ	1,76	1,00	1,52	1,00	2,58	1,00	5,86
ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	1,73	1,00	1,71	1,00	2,43	1,00	5,87
ΤΡΙΚΑΛΩΝ	1,62	1,00	1,97	1,00	3,93	1,00	7,52

Στα Σχήματα 1 και 2 παρουσιάζονται διαδοχικά η κατανομή του LSI και του αριθμού των οικισμών που έχουν υποστεί καταστροφές από κατολισθητικά φαινόμενα στις νομαρχιακές αυτοδιοικήσεις της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Οι τιμές του LSI στο Σχήμα 1 έχουν προκύψει μετά από αφαίρεση από τις αντίστοιχες τιμές του Πίνακα 6 μιας τιμής «υποβάθρου» που υπολογίστηκε για όλο τον ελλαδικό χώρο ότι είναι 4,50.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή του LSI για τη Περιφέρεια Θεσσαλίας όπου οι περιοχές χαμηλής (0-1,5), μεσαίας (1,5-3,0) και υψηλής (>3,0) επιδεκτικότητας κατολίσθησης, εμφανίζονται με τρεις διαφορετικές αποχρώσεις του γκριζου χρώματος.



Σχήμα 1. Κατανομή του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίσθησης στη Περιφέρεια Θεσσαλίας



Σχήμα 2. Κατανομή του αριθμού των κατολισθαινόντων οικισμών στη Περιφέρεια Θεσσαλίας

4. Συμπεράσματα

Η σύγκριση των Σχημάτων 1 και 2 οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για τη περίπτωση της Περιφέρειας Θεσσαλίας η κατανομή του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίσθησης LSI κατά νομαρχιακή αυτοδιοίκηση συσχετίζεται σε ποσοστό 100% με την αντίστοιχη κατανομή των κατολισθαινόντων οικισμών που προκύπτει από τα στοιχεία του ΙΓΜΕ (Γεωτεχνικός Χάρτης

της Ελλάδας, 1993). Προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για όλο τον ελλαδικό χώρο, η σύγκριση πραγματοποιήθηκε και για τις υπόλοιπες δώδεκα περιφέρειες της Ελλάδας. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης ομαδοποιήθηκαν ως προς βαθμό συσχέτισης των αποτελεσμάτων της μεθόδου με τα στοιχεία του ΙΓΜΕ και συνοψίζονται κατωτέρω στο Πίνακα 7.

Πίνακας 7. Βαθμός συσχέτισης των αποτελεσμάτων της μεθόδου με τα στοιχεία του ΙΓΜΕ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ	ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (ΠΟΣΟΣΤΟ %)
4 / 13	30,8	100
3 / 13	23,0	75
1/ 13	7,7	67
2/ 13	15,4	50
1 / 13	7,7	43
2 / 13	15,4	0
8 / 13	62,0	≥ 67

Από τα στοιχεία του πίνακα φαίνεται ότι για το 62% των περιφερειών της Ελλάδας ο βαθμός συσχέτισης των αποτελεσμάτων της μεθόδου με τα στοιχεία του ΙΓΜΕ είναι $\geq 67\%$. Η τελευταία παρατήρηση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εμπειρική μέθοδος που παρουσιάσαμε παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς την εκτίμηση της επιδεκτικότητας κατολίσθησης για γεωγραφικές περιοχές που καθορίζονται με βάση τη διοικητική διαίρεση μιας χώρας (π.χ. Δήμοι, Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις, Περιφέρειες).

Σε ότι αφορά το «χάρτη επιφυλακής» που προτάθηκε για τη γεωγραφική απεικόνιση της κατανομής του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίσθησης (Σχ.3) εξάγονται δύο συμπεράσματα. Το πρώτο είναι ότι ο χάρτης έχει πολύ απλή μορφή με αποτέλεσμα η ανάγνωσή του να μην απαιτεί εξειδικευμένη γνώση. Το δεύτερο είναι ότι η πληροφορία που παρέχει είναι επαρκής για τη διαφοροποίηση των γεωγραφικών περιοχών ως προς την επιδεκτικότητα κατολίσθησης με αποτέλεσμα η χρήση τους να μπορεί να βοηθήσει στη λήψη μέτρων και αποφάσεων για την αντιμετώπιση του κινδύνου κατολίσθησης από τις αρμόδιες αρχές.



Σχήμα3. Γεωγραφική κατανομή του δείκτη επιδεκτικότητας κατολίσθησης στη Περιφέρεια Θεσσαλίας σε κλίμακα 1:1.450.000.

Βιβλιογραφία

Αντωνίου, Α., 2005: Σημειώσεις του μαθήματος Εφαρμογές Τεχνικής Γεωλογίας στη Επιστήμη του Πολιτικού Μηχανικού. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Γεωτεχνικός Χάρτης της Ελλάδας, 1993: Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ)

Κούκης, Γ. και Ν. Σαμπατακάκης, 2002: Τεχνική Γεωλογία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Λέκκας, Ε., 2000: Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές. Εκδόσεις Access Pre-Press, Αθήνα.

Φερεντίνου, Μ., 2004: Εκτίμηση του κινδύνου των κατολισθήσεων με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα σε περιβάλλον γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Anbalagan, R., 1992: Terrain evaluation and landslide hazard zonation for environmental regeneration and land use planning in mountainous terrain, Proc. 6th Symp. on Landslides, Christchurch, New Zealand, 2, 861-868.

Anbalagan, R. and B. Singh, 1996: Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains – a case study from Kumaun Himalaya, India, Eng. Geol, 43, 237-246.

Brabb, E.E., 1984: Innovative approaches to landslide hazard mapping. 4th International Symposium on Landslides, Toronto, 1, 307-324.

Carrara, A., 1983: A multivariate model for landslide hazard evaluation. Mathematical Geology, 15, 403-426.

Cotecchia, V., 1978: Systematic reconnaissance mapping and registration of slope movements. Bul. of the Int. Ass. of Engineering Geology 17, 5-37.

Crozier, M.J., 1984: Field assessment of slope instability: in "Slope Instability". Eds D. Brunnsden, D.B., Prior. Wiley, New York, 103-142.

Crozier, M.J., 1986: Landslides: Causes, Consequences and Environment. Croom Helm Pub, London.

Cruden, D.M., 1991: A Simple definition of a landslide. Bul. of the Int. Ass. of Engineering Geology, 43, 27-29.

Cruden, D.M. and D.J. Varnes, 1996: Landslide types and processes: in "Landslides Investigation and Mitigation", Eds A.K. Turner and R.L. Schuster. Transportation Research Board Special, Report 247, National Academy Press, Washington, DC.

Ercanoglu, M., 2005: Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 5, 979-992.

Gupta, P. and R. Anbalagan. 1997: Slope stability of Tehri Dam reservoir Area, India, using landslide hazard zonation (LHZ) mapping. Quarterly J. of Eng.Geol., 30, 27-36.

Guzzetti, F., A. Carrara, M. Cardinali and P. Reichenbach, 1999: Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, Geomorphology, 31, 181-216.

Hansen, A., 1984: Landslide hazard analysis: in "Slope Instability". Eds D. Brunnsden, D.B., Prior. Wiley, Chichester, 523-602.

Koukis, G., D. Rozos and I. Hatzinakos, 1997: Relationship between rainfall and landslides in the formations of Achaia County, Greece, in "Engineering Geology and the Environment", Eds. Marinos, Koukis, Tsiambaos and Stournaras, Balkema, Rotterdam.

Nikolaou, N., G. Koukis and N. Lambrakis, 1997: Relationship between rainfall and

landslides in the formations of Achaia County, Greece, in "Engineering Geology and the Environment", Eds. Marinos, Koukis, Tsiambaos and Stournaras, Balkema, Rotterdam.

Soeters, R. and C. J., Van Westen, 1996: Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. in "Landslides. Investigation and Mitigation", Eds A.K., Turner and R.L. Schuster, Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C.

Varnes, D.J., 1984: Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, IAEG Commission on Landslides and Other Mass-Movements, UNESCO Press, Paris, France.

van Westen, C.J., 1993: Application of Geographical Information System to landslide hazard zonation. ITC Publication, 15, ITC, Enschede, The Netherlands

van Westen, C.J., 1994: GIS in landslide hazard zonation: a review with examples from the Colombian Andes. Eds. M.F., Price, D.I., Heywood, Taylor and Francis, London, 135-165.

Zerere, J.L., 2002: Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). Natural Hazards and Earth System Sciences, 2, 73-82.

ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ ΣΤΗΝ ΠΡΟΜΙΝΩΪΚΗ ΚΑΙ ΜΙΝΩΪΚΗ ΕΠΟΧΗ

Γρηγοριάδης Π.
Ανεξάρτητος Ερευνητής – Συγγραφέας

Περίληψη

Η Μινωϊκή Παγκοσμιοποίηση βασίσθηκε στην ανάπτυξη και την τεχνογνωσία της ναυπηγικής Τέχνης και στην επινόηση των Χαρτών και της Χαρτογραφίας από τον Δαίδαλο την εποχή του Μίνωα. Οι σωζόμενοι χάρτες της Προμινωϊκής και Μινωϊκής Εποχής στις μέρες μας είναι ο Μινωϊκός Λαβύρινθος σαν Συμπαντική απεικόνιση των Αστερισμών Δράκοντος, Μεγάλης Άρκτου καθέτως, και Μικρής Άρκτου και Βώτη οριζοντίως και σταυροειδώς, και οι Οκτώσχημες «Ασπίδες» τοιχογραφίες του Ανακτόρου της Κνωσού σαν πολυκεντρική προβολή της γήινης επιφάνειας όπως την είχανε πρωτοσυλλάβει οι χαρτογράφοι της τότε Εποχής κατά την διεύθυνση Βορράς-Νότος. Αντίστοιχοι χάρτες υπάρχουνε και στα Μυκηναϊκά Ανάκτορα αφού οι Μυκηναίοι αποτελέσανε τους συνεχιστές της Μινωϊκής Παγκοσμιοποίησης.

MAPS AND CARTOGRAPHY IN THE PRE-MINOAN AND MINOAN TIMES

Gregoriades P.
Independent Researcher – Author

Abstract

The Minoan Labyrinth is the oldest outline Universal Model, a map of the sky with the number seven (7) in the center of it. The "shape" of number seven (7) rises up from an isosceles Greek cross and the depiction of four big and very known constellations one on each edge of the cross: 1) Drago, 2) Ursa Major vertically, 3) the Pole Star (Ursa Minor) and 4) Bootes (Arcturus) horizontally. Based on this, the Minoans were the only ones who, in at least 3500BC but probably even earlier than that, were capable of extended sea travels, in time and distance. The oldest terrestrial depiction of the earth surface (land and sea) in the Minoan times, was given by fresco maps of the Knossos Palace, known as "Shields of shape eight", a multicenter projection from North to South and later in the Mycenaean Palace we also have this depiction and knowledge of cartography.

Λέξεις κλειδιά: Πυθαγόρειος Τετρακτύς, Λαβύρινθος, Γραμμοδεσία, Στίγμα.

Key words: Pythagorean Tetraktys, Labyrinth, Connecting lines, stigma.

1. Εισαγωγή

Η ναυσιπλοΐα, εκτός από πλοία απαιτεί και γνώσεις Αστρονομίας ώστε με την βοήθεια των Άστρον να χαράζεται η πορεία του σκάφους. Η Γνώση αυτή παρουσιάζεται να κατέχεται από το Μινωϊκό Ιερατείο μερικές χιλιάδες χρόνια προ Χριστού, γεγονός που ανέδειξε τους Μινωΐτες σε πρωτοπόρους αλλά και ποντοπόρους ναυτικούς, περιηγητές και χαρτογράφους. Γιατί είναι ανάγκη, όταν ένα Κράτος, όπως το Μινωϊκό, που αναδύθηκε και επιβλήθηκε σε ναυτοκράτορα, η χαρτογράφηση να αποτελεί ανάγκη αλληλένδετη με την Αστρονομία.

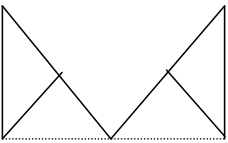
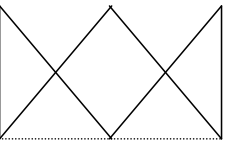
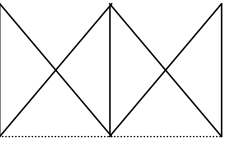
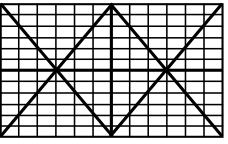
Όταν μιλάμε για Προμινωϊκή Εποχή αναφερόμαστε στην Μυθολογία, η οποία σαφώς είναι Ιστορία της βαθιάς Αρχαιότητας με ελλιπέστατα στοιχεία για μας αναδυόμενη στην αντίληψή μας μέσω Μύθων που επιζητούνε την ερμηνεία τους. Η Μυθολογία αναδεικνύεται κυρίως από τους «Ορφικούς Ύμνους», τα «Ομηρικά Έπη» και τις ανάλογες αναφορές του Πλάτωνα, του Ησίοδου και του Απολλοδώρου ως Μεμημένων, Μυστών – Διδασκάλων.

Είναι προφανές ότι το πρωταρχικό μέσον που άλλαξε και διαμόρφωσε την εικόνα του Γήινου Πολιτισμού επιταχύνοντας ιλιγγιωδώς την εξέλιξη της κάθε Εποχής υπήρξε το πλοίο (ή ναυς) με την ναυσιπλοΐα. Για την κατασκευή του πρώτου απαιτούνται Μαθηματικά, Επιστημονική Γνώση ναυπηγικής και πολυσχιδής για την ιστοφορία και τεχνική επεξεργασίας ξύλου και αντοχής υλικών. Για την δεύτερα απαιτείται γνώση Ιστοιολογίας και τέλος το κυριότερο όλων Αστρονομίας και χαρτογραφίας προκειμένου να μεταβούμε και να επανέλθουμε στον τόπο της εκκινήσεώς μας συνειδητά. Αυτή η χαρτογραφία αναδύεται σαν Γνώση Μυθολογική αναγόμενη στο «Δωδεκάθεο του Ολύμπου».

2. Προμινωϊκή Χαρτογραφία

Η Προ-Μινωϊκή Χαρτογραφία έχει σαν Δημιουργό της τον Ήφαιστο. Ως προς τον Ήφαιστο ο Όμηρος αναφέρει πως Εννέα (9) Έτη μαθήτευσε κοντά στην κόρη του Ωκεανού (Ω=18) Ευρυνόμη και την Θέτιδα («Ιλιάδα» Σ 394-397) όταν από τον Ουρανό επέπεσε στον Ωκεανό «χωρίς να ξέρει τίποτα κανένας άλλος από τους Θεούς και τους θνητούς ανθρώπους». Η αναφορά αυτή υποδηλώνει 1) Το άκρως απόρρητο των Ιερατικών Γνώσεων ακόμη και από τους ... Θεούς, 2) Ότι του Μίνωος προηγήθηκαν οι Σίντιες Ιερατείο της Λήμνου και των Θρακών οι οποίοι είχανε καθιερώσει την εννεαετία (9έτη) ο δε Όμηρος αποκαλώντας τον Μίνωα Εννέωρο («Οδύσσεια» ραψ. 19, στ. 178-179) έχουμε αναγνώριση του κύκλου των εννέα ετών το δε προσωνύμιο αυτό του αποδίδει την επιβολή στον τότε Κόσμο του Μινωϊκού Ημερολογίου και την γεωπολιτική και γεωστρατηγική του δύναμη οφειλόμενη α) στην δυνατότητα και Γνώση της ναυπηγικής Τέχνης, β) στην Γνώση και Χρήση Γραφής και Ηλιακού Ημερολογίου, γ) Γνώση και Χρήση των λοιπών Τεχνών και Επιστημών όπως των Μαθηματικών, της οικοδομικής, μεταλλουργίας, επεξεργασίας υλικών, δημιουργίας τεχνητών υλικών (οπτός πηλός) κ.ά. Σημειούται δε πως το σώμα της Πανδώρας κατά διαταγή του Διός κατασκεύασε ο Ήφαιστος από άργιλον και το εμπύχωσε ο εντολέας του, δ) στην Γνώση χαρτογραφίας και Χρήση Χαρτών βάσει Γεωδαιτικού Δικτύου στο οποίο «παγίδευσε» την Ήρα και από το οποίο την ελευθέρωσε ο Διόνυσος καθώς και η «παγίδευση» του Άρη και της Αφροδίτης όταν σαν απατημένος σύζυγος έμαθε τις ενόχους σχέσεις τους από τον Ήλιο («Οδύσσεια» Θ 306-312). Άλλωστε το γεγονός αυτό μνημονεύεται διαφορετρόπως και στην «Ιλιάδα» (Ξ. 388) «Εστιν τοι θάλαμος, τον τοι φίλος υιός έτευξεν Ήφαιστος» λέει η Ήρα στον Δία. Συμφώνως λοιπόν τα ανωτέρω ο Όμηρος ονομάζει τον Ήφαιστον γιού του Δία και κατασκευαστή θαλάμου δηλαδή «περικεκλεισμένου χώρου» αφού ο ίδιος είχε κατασκευάσει τον οίκον του από χαλκό («Ιλιάδα» Σ 370) περίφημο μεταξύ των Αθανάτων, ακατάλυτον και λαμπερόν όπως ορίζεται με τρία επίθετα από τον Όμηρο. Ο «περικεκλεισμένος χώρος» μας ορίζει τον Λαβύρινθο, τον πρώτο Συμπαντικό Χάρτη που ο Δαίδαλος σαν κοινός θνητός εφάρμοσε επί της Γήινης επιφανείας την θεική Γνώση τα όρια του οποίου καθορίζονται από τα Γράμματα που συνθέτουμε το Γράμμα Α.Λ.Φ.Α. (Πίνακας 1) και αναδύεται ο Μέγας Ρόμβος που ορίζει με τις γωνίες του τις τέσσερις Εποχές (Πίνακας 2) συμφώνως τα Ορφικά Κείμενα «τετραβάμοσι ποσσί χορευών (...) ρόμβου απειρεσίου δινεύμασιν οίμον».

Πίνακας 1. Καθορισμός των συντεταγμένων για χαρτογραφική απεικόνιση με 12x12=144 κανάβους

<p>I.</p>  <p>Α.Λ.Φ.Α</p>	<p>II.</p>  <p>Α.Λ.Φ.Α.</p>
<p>III.</p>  <p>Α.Λ.Φ.Α.</p>	<p>IV.</p>  <p>ΛΑΒΥΡΙΝΘΙΚΗ ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ</p>

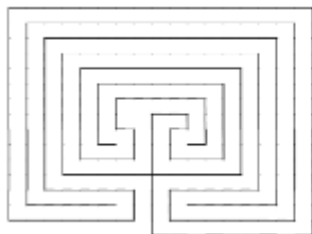
Ευριπίδη (Ηρακλέους 1327). Από τον Πλούταρχο αποκαλείται «ΜΙΘΟΞΗΡ» (Θησεύς XV Ισοκράτης Λόγοι 28). Υπήρξε αποτέλεσμα της τιμωρίας του επιόρκου Μίνωα από τον Ποσειδώνα και της συνεύρεσης της Πασιφάης με τον αναδυθέντα από την Θάλασσα Ιερό Ταύρο που δώρισε ο Θεός για θυσία από τον Μίνωα ο οποίος τον κατακράτησε στις αγέλες του. Ο Μινώταυρος λοιπόν «κλείσθηκε» στον Λαβύρινθο που κατασκεύασε ο Δαίδαλος και τρεφότανε με επτά (7) νέους και επτά (7) νεάνιδες τέκνα των Αθηναίων που στέλνανε κάθε εννέα (9) χρόνια στην Κρήτη σαν φόρο αίματος της υποτέλειάς τους στον επικυρίαρχο Μίνωα (α) Διόδωρος Σικελιώτης IV 61,3, β) Απολλόδωρος III 203, γ) Ευστάθιος Οδύσσεια 1688,34 και δ) Πλούταρχος Θησεύς XV). Είναι προφανές ότι η διήγηση αφορά το προ-Μινωϊκό ή πρωτο-Μινωϊκό Σεληνιακό Ημερολόγιο που έπρεπε να έχει συμβατότητα με το νεώτερο θεσπιζόμενο με βάση τον Αστερισμό του Ταύρου κατά την Εαρινή Ισημερία οπότε και θεσπίστηκε η καινοτομία της Αρχής του Έτους σε σημερινή ημερομηνία την 21-22 Μαρτίου. Όλος ο Μύθος συντίθεται από τον Συμβολισμό συγκαλύψεως της Αστρονομικής και Ημερολογιακής Γνώσης. 1) Ο Ταύρος Αστερισμός καθορισμού της Εαρινής Ισημερίας. 2) Αναδύεται από τον Συμπαντικό Ωκεανό (Θάλασσα). 3) Το Μινωϊκό Ιερατείο δεν θυσίασε τον Ταύρο (δεν άλλαξε το Ημερολογιακό υφιστάμενο Σύστημα). 4) Αλλά από αυτόν και την επιορκία του Μίνωα προέκυψε ένα νέο «μικτό» Ημερολόγιο (ΜινώΤαυρος). 5) Το Αρχικό Μινωϊκό Ημερολόγιο είχε σαν βάση το εννεαήμερο 9ημέρες x 4 «εβδομάδες» = 36 ημέρες ο Μήνας. Το νέο ημερολόγιο είχε το Επταήμερο (7 ημέρες). Τα δύο αυτά ημερολόγια είχανε και διαφορετική διάρκεια Έτους. Το πρώτο 360 ημέρες +5,25 Επαγόμενες το δεύτερο 364 Ημέρες + 1,25 Επαγόμενες και διαφορά όπως προαναφέρθηκε στις «εβδομάδες» το μεν πρώτο διάρκεια ΕΝΝΕΑ (9) ημερών το δε δεύτερο ΕΠΤΑ (7) ημερών εβδομάδα. Τα δύο αυτά γίνονται συμβατά μεταξύ τους στην Εννεαετία (9 έτη) διότι έχουμε τις σχέσεις των ακεραίων Αριθμητικών δεδομένων (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Συμβατότητα διαφόρων ημερολογίων κάθε εννέα έτη.

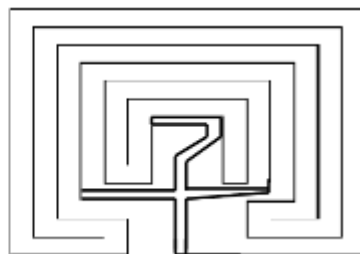
	Διάρκεια Έτους 364 ημέρες x 9 έτη = 3276 ημέρες
	3276 ημέρες
a)	$\frac{3276 \text{ ημέρες}}{7 \text{ ημέρες /εβδομάδα}} = 468 \text{ εβδομάδες}$
	3276 ημέρες
β)	$\frac{3276 \text{ ημέρες}}{9 \text{ ημέρες /εβδομάδα}} = 364 \text{ «εβδομάδες»}$
	Επαγόμενες 9 έτη x 1,25 ημέρες ετησίως = 11,25 ημέρες
	για αμφότερα στην 9ετία

Με τον Μύθο του Μινώταυρου σαφώς λοιπόν συγκεκριμενοποιείται ο Λαβύρινθος και κατ' επέκταση η εν συνεχεία εξελικτική μορφή του σαν το Σύμπαν που ο Αστερισμός του Ταύρου ζώντας και κινούμενος εντός αυτού, ενώ έχει διπλή φύση (ταυρωπός, ταυρόμορφος ανθρωπόμορφος), δηλαδή Ταύρος στο Σύμπαν και Άνθρωπος στην Γη, η Συμπαντική του φύση (Ταύρος) υπερισχύει της γήινης (Άνθρωπος) «τρώγοντας» κάθε εννέα (9) σημερινά έτη δεκατέσσερις νέους (7 νέες και 7 νέους) που εντασσόντουσαν για να σπουδάσουνε στο Μινωϊκό Ιερατείο τις απόρρητες Γνώσεις, ή χωρίζοντας το Έτος σε 14μερίες έχουμε $364 : (7+7) = 14 = 26$ δεκατετραήμερα.

Ο Λαβύρινθος λοιπόν φέρεται σαν το μυθεύμενο οικοδόμημα του Μίνωα, όπου ήτο εγκλεισμένος ο Μινώταυρος. Ο Όμηρος, ο Ησίοδος και ο Ηρόδοτος δεν κάνουνε μνεία του. Παραστάσεις του Λαβυρίνθου βρεθήκανε απεικονιζόμενες σε τετραγωνική και κυκλική μορφή πάνω στις όψεις νομισμάτων της Κνωσού, σε σφραγίσματα του Ζάκρου και σφραγίδες της Αγίας Τριάδος (Κρήτη) και άλλου καθώς και σε αγγεία. Ενδιαφέρον παρουσιάζει μια απεικόνιση σε τοιχοποιία οικίας (;) της Πομπηίας (Σχήμα 1). Το εν λόγω σχήμα παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα να υφίσταται περιμετρικά ένας διαδρομικός κάναβος πρόσθετος.



Σχήμα 1. Ο «Ιταλικός» Λαβύρινθος απεικόνιση από την Πομπηία.



Σχήμα 2. Ο Μινωικός Λαβύρινθος

4. Ο Λαβύρινθος

Είναι γνωστόν πως κάναβος καλείται το χαρτί τετραγωνισμένο συνήθως που χρησιμεύει στην πολυγωνομετρία για μεταφορά κορυφών πολυγωνικών οδούσεων, με ορθογώνια επίπεδα συντεταγμένων αυτών. προφανώς η λέξη κάναβος συνδυάζει και προέρχεται από μετρικό στοιχείο χρόνου, χωρητικότητας και μήκους (α) κάνα = 1 πούς αγγλικός, β) κάνα μαλτέζικη = 7 πόδες αγγλική) όπως έφτασε από τον Κάλαμο των Αρχαίων Ελλήνων και την Άκαινα (Άκαινα – καινα – κανα) των Πελασγών (Βλ. Π.Δ. Γρηγοριάδη «Ατλαντίς Συμπαντική Γήινη Εσπερία» σελίδες 41,103,126). Η απεικόνιση επί των νομισμάτων της Κνωσού του Μινωϊκού Λαβυρίνθου (Σχήμα 2) προεκτείνοντας οριζοντίως και καθέτως τις περιεχόμενες στο εξωτερικό γραμμικό του πλαίσιο γραμμές δημιουργούνται εκατόν σαράντα τέσσερις ($144 = 12 \times 12$) Κάναβοι ενώ το επιζωγραφισμένο στην τοιχοποιία της οικίας στην Πομπηία δημιουργεί διακοσίους πενήντα πέντε κανάβους ($255 = 17 \times 15$).

Εάν παρατηρήσουμε τους Πίνακες Γραμμικής Α' και Β' ευκόλως αντιλαμβανόμαστε Λαβυρινθικά τμήματα να απεικονίζονται στο συλλαβητάριο (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Σύμβολα Γραμμικής Γραφής Α' και Β'.

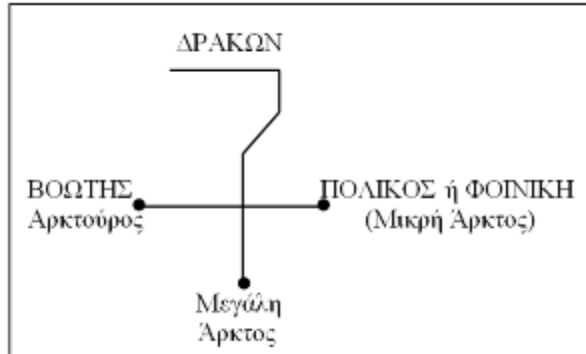
α/α	Σύμβολο		Παρατηρήσεις	Γραμμική
1		Ke	Τμήμα Λαβυρίνθου	Α'
2		Su	Τμήμα Λαβυρίνθου	Α'
3		Wi	Περίγραμμα ανεστραμμένου Λαβυρίνθου	Α'
4		Pi	Τετρακτύς	Α'

Είναι χαρακτηριστική η αναφορά της Λαβυρινθικής Τετρακτύος στους Ορφικούς Ύμνους (VIII Άστρον θυμίαμα, άρωμα «Ορφικά» σελίς 202): «... επταφασείς ζώνας εφορώμενοι, ηερόπλαγθοι, ουράνιοι, χθόνιοι τε, πυρίδρομοι, αιέν στειρείς» περιγράφοντας σαν «επταφωτισμένες ζώνες» την Λαβυρινθική Τετρακτύν στους «διαδρόμους» της οποίας κινούνται τα Άστρα αιωνίως (αιέν) πυρίδρομοι (με πύρινη διαδρομή).

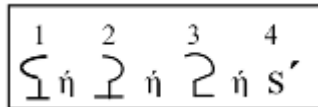
Η αναφορά του Αριθμού Ε.Π.Τ.Α. (Έξι-Πέντε-Τέσσερα-Άλφα) στην Συμπαντική Δομή μνημονεύεται και στην Λύρα του Απόλλωνα που τοποθέτησε Επτά Χορδές σαν «ανάμνηση» του Άσματος των Κύκλων για τους πόνους της εγκύου Λητούς που το επαναλάμβανε επτά φορές («(4) Ύμνος εις Δήλον» στίχοι 249-252 «Ορφικά» σελίς 413). Και εδώ το «Άσμα» αναφέρεται στην μετέπειτα Πυθαγόρεια θεωρία της Συμπαντικής Μουσικής.

Ο Αριθμός Ε.Π.Τ.Α. (7) λοιπόν είναι αυτός που διαμορφώθηκε από τα Σταθερά Συμπαντικά Σημεία του Στίγματος όπως παρουσιάζεται ο Πολικός Αστήρ του συμπλέγματος της Μικράς Άρκτου και τον Αστερισμό του Δράκοντος με τις αξονικές προεκτάσεις τεκμηριωμένες καθέτως που οριοθετούνε ο Βώτης με τον Αρκτούρο και η Μεγάλη Άρκτος. Γραμμοδοτούμενοι τοιουτοτρόπως αναδύουνε τον Αριθμό Ε.Π.Τ.Α. (Πίνακας 6).

Πίνακας 6. Γραμμοδεσία τεσσάρων αστερισμών δημιουργούνε τον αριθμό Ε.Π.Τ.Α.



Πίνακας 7. Απεικόνιση του Στίγματος



Επομένως το Στίγμα είναι το γραφικό σύμπλεγμα (Πίνακας 7) που στην νεώτερη Ελληνική Γλώσσα και Γραφή παρουσιάζεται σαν στ' και αντιστοιχεί στον αριθμό έξι (6). Σταδιακά και κατ' επέκταση εξελικτικά σαν Στίγμα καθιερώθηκε ο όρος στην χαρτογραφία και την ναυτιλία με τον οποίον καθορίζεται ο γεωγραφικός τόπος στον οποίον ένα θαλασσοδρομούν πλοίο βρίσκεται την συγκεκριμένη στιγμή που εξετάζεται η θέση του και αναδύεται από την τομή των συντεταγμένων του τόπου (γεωγραφικό πλάτος και μήκος) που προσδιορίζονται είτε λογιστικώς με την μέθοδο της αστρονομικής ναυτιλίας στην οποία υπάγεται ο Λαβύρινθος και η Λαβυρινθική Τετρακτύς σαν απεικόνιση Συμπαντική των θέσεων Άστρων και Αστερισμών σε συγκεκριμένες Ημερομηνίες, Φθινοπωρινής και Εαρινής Ισημερίας ή τα Ηλιοστάσια.

Σαν Στίγμα φαίνεται ότι οριζότανε πολύ αργότερα η Φοινίκη δηλαδή ο Πολικός Αστéρας ο οποίος πρωτοκαθορίσθηκε σαν Π-ολικός γεγονός που πιστοποιεί η απεικόνιση και επί του Μ.Η.Α. (βλ. Μινωϊκός Ημερολογιακός Άβακας Π.Δ. Γρηγοριάδη «Το Μινωϊκό Ημερολόγιο») αλλά και τα Αρχαία Κείμενα («Ορφικά»).

Αλλά η λέξη ΣΤΙΓΜΑ (Stigma) διασώθηκε και στις Λατινογενείς Γλώσσες όπως στην Αγγλική όπου σήμερα χρησιμοποιείται με την Ιερότητα του θρησκευτικού «Στίγματος» των ήλων του Ιησού.

Ο Λαβύρινθος λοιπόν σαν Λαβυρινθική Τετρακτύς αποτελεί πλήρεις συντεταγμένες με δεσπόζουσα θέση τον Πολικό Αστéρα γνωστό στην Αρχαιότητα όπως προαναφέρθηκε, που μετονομάσθηκε πολύ αργότερα σε Φοινίκη, προφανώς πηγάζοντος του ονόματος αυτού από την ναυτική χρήση προσανατολισμού των Φοινίκων, αν και χιλιάδες χρόνια πριν ήτο γνωστός όπως αποδεικνύεται από τις απεικονίσεις του Λαβυρίνου. Ο Λαβύρινθος σαν χαρτογραφική απεικόνιση του Ουράνιου Θόλου αποδίδει θέσεις αστρικές σε συγκεκριμένες ημερολογιακές επήσεις πορείες των Άστρων και Αστερισμών που διαμορφώσανε την σημερινή εξελικτική

ανοδική πορεία των λαών του Πλανήτη μας. Οι δύο αυτές Ημερομηνίες αφορούνε όπως προαναφέρθηκε τα δύο Ηλιοστάσια και κυρίως τις δύο Ισημερίες α) Φθινοπωρινή και β) Εαρινή οπότε και άρχιζε το Έτος συμφώνως τις διάφορες αναφορές και ενδείξεις που έχουνε φθάσει μέχρι τις ημέρες μας στην βαθειά Αρχαιότητα. Οι Ισημερίες όπως και τα Ηλιοστάσια, παρουσιάζουνε μεταξύ τους συμμετρία το δε σταθερό σημείο αναφοράς είναι ο Πολικός Αστέρας ή Φοινίκη αφού προσεγγίζει σταθερά σχεδόν τον ένα Πόλο (Βόρειο) επί «μονίμου» σχεδόν βάσεως στις μέρες μας από πολλών ήδη ετών. Υπό τις εν λόγω προϋποθέσεις και πραγματικότητα παρατίθενται κατωτέρω οι δύο Ισημερίες απεικονιζόμενες επί της Λαβυρινθικής Τετρακτύος και οι αστρικές θέσεις που τις καθορίζουνε. Από την απεικόνιση του Στίγματος και των λοιπών Αστέρων και Αστερισμών προκύπτει πως ο προσανατολισμός του Μινωϊκού Λαβυρίνθου είναι με βάση την Ανατολή, έχοντας στο δεξί μας χέρι τον Πολικό (Βορράς) και πίσω μας την Δύση άρα αριστερά μας τον Νότο!

5. «Μινωϊκή» Χαρτογραφία

Η ανάπτυξη της Χαρτογραφίας συμφώνως τα ανωτέρω στην «Μινωϊκή Εποχή» υπήρξε αναντίρρητη, προηγμένη και επιβεβλημένη για την επεκτατική πολιτική που ανέπτυξε αρχικά ο Μίνως και συνεχίσανε οι «Μινωίτες» πρωτεργάτες της Παγκοσμιοποίησης.

Μελετώντας λεπτομερέστερα τις «Οκτάσχημες Ασπίδες» της Κνωσού και με τις σύγχρονες Γνώσεις μας βλέπουμε ότι ο Δαίδαλος μετά τον Λαβύρινθο χαρτογραφικά θεωρεί τον Ισημερινό να διέρχεται ή να ορίζεται από το μεταξύ των παραλλήλων 35° και 36° (Θέση της Νήσου Κρήτης). Για τον λόγον αυτόν παρουσιάζεται και η σχηματική διαφορά μεταξύ του μεγέθους του άνω μέρους με το κατώτερο της πολυκεντρικής προβολής. Υπό αυτή την προϋπόθεση έπεται πως ο προσανατολισμός των χαρτογραφήσεων αυτών είναι κατά τον άξονα Βορράς-Νότος. Ακολούθως σε ορισμένα ευρήματα, όπως τις «οκτάσχημες πόρνες» που βρεθήκανε στις ανασκαφές της Κύθνου μέρη Ιερατικού κοσμήματος, κατ' εκτίμησή μας, παρουσιάζεται συμμετρική (και ισομερής) η πολυκεντρική προβολή. Τούτο υποδηλώνει πως για ερευνητέους λόγους εγκαταλείφθηκε ο παράλληλος 35° - 36° σαν άξονας της πολυκεντρικής προβολής μετατιθέμενος στον γνωστό μας Ισημερινό. Το γεγονός αυτό του Ισημερινού παρατηρείται επίσης και αναδύεται από τον Λαβύρινθο όταν διαμορφώσουμε τις προκύπτουσες Συντεταγμένες του.

6. Συμπεράσματα και κρίσεις

Ένας χάρτης σήμερα, μπορεί να αποτελεί ταυτοχρόνως καλλιτέχνημα, επιστημονική καταγραφή και πολιτικό στοιχείο, αλλά και τεκμηρίωση της επιφανειακής διαμόρφωσης της εδαφικής πραγματικότητας της συγκεκριμένης Εποχής. Ιδιαίτερα δε σε μιά Εποχή της βαθειάς Αρχαιότητας, όπου η Γνώση ήτανε αποκλειστικό προνόμιο της Ιερατικής κάστας, αποτελούσε επιπροσθέτως και ένα άκρως απόρρητο στοιχείο, φυλασσόμενο στα άδυτα των Μινωϊκών Ανακτόρων και μάλιστα στην Αίθουσα του Θρόνου. Ο κίνδυνος κλοπής των απορρήτων αυτών Γνώσεων οδήγησε το Ιερατείο όπως επιζωγραφίσει διακοσμητικά την Αίθουσα με τους συνταχθέντες Χάρτες της Εποχής, αντί να τους αναρτήσει επί διφθερών ή περγαμηνών όπως τους κατείχε ο εκάστοτε Κυβερνήτης πλοίου, κοινωνός ως Μεμυημένος, των Γνώσεων ναυσιπλοΐας (Βασιλική Τέχνη). Έτσι διασωθήκανε οι πρώτοι αυτοί, μοναδικής αξίας Παγκοσμίως, χάρτες που εξυηρητήσανε την ναυσιπλοΐα, την οικονομική, εμπορική ανάπτυξη της Μινωϊκής Κρήτης καθιστώντας την ναυτοκράτεια, κατ' επιλογή του Μίνωα, κριτήριο, σκοπός και αποικιοκρατική συνειδητή πολιτική, αναπτυξιακή και μη τυχαία, που ανέπτυξε και μια πολυπολιτισμική νοοτροπία και συνείδηση, σε μιά εποχή που πολλοί λαοί ζούσανε ακόμη σε πρωτόγονη κατάσταση!

Είναι γνωστό πως οι πρώτοι γεωγραφικοί χάρτες των νεωτέρων χρόνων, από τον Μεσαίωνα και εδώ με χαρτογραφικές παραστάσεις διαφόρων τόπων που εξυηρητήσανε εκτός των καθαρών γεωγραφικών και επικοινωνιακούς σκοπούς αφορούνε την περιοχή της Μεσογείου και σχεδιαστήκανε από τους Έλληνες με βάση Αστρονομικές προσδιορισμούς. Το Αιγαίον Πέλαγος, η πολυνησία του και η μικρή αυτοδυναμία των πλοίων της Αρχαιότητας, το

καταστήσανε αναπόφευκτο διαμεσολαβητή στις σχέσεις Ανατολής-Δύσης και σημείο συναντήσεως των διαφορετικών Πολιτισμών, με συνδυαστικό κρίκο τους Κρήτες Μινωίτες που ταξιδεύανε Δυτικά και εκτός των Ηρακλείων Σηλών συμφώνως τις διατυπωμένες απόψεις του αειμνήστου Μελετητή Πατρόκλου Καμπανάκη στην «Ατλαντίδα» και τα αναφερόμενα αποδεικτικά στοιχεία στο βιβλίο «Ατλαντίς Συμπαντική Γήϊνη Εσπερία» και Ανατολικά πέραν της Ερυθράς Θαλάσσης μέχρι την μακρυνή και άγνωστη Κίνα, συμφώνως τις απόψεις και τα στοιχεία που τις τεκμηριώνουν και παρατίθενται στο πόνημα «Η Μινωϊκή Καταγωγή της Κινεζικής Γραφής» αλλά κυρίως από τις ανευρεθείσες, προ δεκαετίας περίπου, τέσσερις μούμιες στην κοιλάδα Ταρίμ, κάτω από την άμμο της ερήμου Τεκλαμακάν της επαρχίας Σιγιάνγκ της Δυτικής Κίνας, από την εξέταση του DNA των οποίων αποδείχθηκε η Ευρωπαϊκή τους καταγωγή χρονολογούμενες περίπου το 1800π.Χ. μιάς δε εξ' αυτών χρονολογείται περί το 2800π.Χ. γεγονός που αποδεικνύει ότι πολύ πριν οι Μινωίτες είχαν μεταβεί ιδρύοντας ενδιαμέσως από Μεσοποταμίας και πέρα σταθμούς ανεφοδιασμού, διαχειμάσεως, επισκευών και ναυπηγήσεως πλοίων στην Κύπρο και την Ούρ της Μεσοποταμίας αρχικά, αλλά και άλλων ενδιαμέσων σταθμών, αναγκαστικά, που αναπτύξανε πολιτισμό ελληνογενή κατά βάση.

Στο ταξίδι τους αυτό, εκτός από τις ειδικές Απόρρητες Ιερατικές Γνώσεις, τους διευκόλυνε προφανώς η γεωγραφική διαμόρφωση του Πλανήτη στην αμέσως μετά τους Κατακλυσμούς Εποχή. Έτσι όσες περιοχές σήμερα αποτελούν ερήμους και στέπες βρεθήκανε κάτω από την στάθμη της θάλασσας διευκολύνοντας τοιούτοτρόπως τα μέγιστα στην επικοινωνία μεταξύ των λαών υπό την προϋπόθεση ότι αυτοί ήσαν γνώστες της ναυπηγικής και της ναυσιπλοΐας όπως οι Μινωίτες, καθώς ήδη έχει αναφερθεί.

Είναι προφανές πως οι γεωγραφικές γνώσεις προηγήθηκαν κατά πάρα πολλούς Αιώνες του Πτολεμαίου αλλά και αυτού του Αναξιμανδρου του Μιλησίου μαθητού του Θαλή, που ο Ερατοσθένης θεωρεί τον πρώτον σαν τον πρωτοπόρο χαρτογράφο της γήϊνης επιφανείας. Αυτό και πηγάζει από την μελέτη των Αρχαίων Κειμένων όπως σε πρώτη φάση οριοθετείται από τα «Ορφικά» και ιδίως τα «Αργοναυτικά» (έκδ. Ήλιος) όπου μνημονεύεται ότι:

- 1) «Αυτοί απετύπωσαν ομοίωμα από τον Ουρανόν» (στίχος 18).
- 2) «Προσήλθε και ο Αγκάιος, που κατήγετο από την Πλευρώνα ο οποίος εγνώριζε τις κινήσεις των άστρων εις τον ουρανόν και τις κυκλικές περιφορές των πλανητών αστέρων» (στίχοι 208-210).
- 3) «Επειτα ο Κένταυρος μου έδωσε με το χέρι του δώρον ένα δέρμα παρδάλεως, δια να το έχω ως αναμνηστικόν της φιλοξενίας» (στίχοι 450-453).

Εκ των ανωτέρω κειμένων προκύπτει ότι για την ναυσιπλοΐα ήτο αναγκαία και υφίστατο η γνώση και χρήση των αστερισμών (Ουράνιος χάρτης). Δηλαδή παρουσιάζεται ή να πραγματοποιείται νυκτερινή κωπηλασία ή να προσανατολίζονται κατά την νύκτα με τους Αστερισμούς, ή αμφότερα. Αρχαιότερη όμως αναφορά είναι αυτή του Μινωϊκού Λαβυρίνθου που αποτελεί τον αρχαιότερο Συμπαντικό χάρτη με συντεταγμένες $12 \times 12 = 144$ κανάβους που χιλιάδες χρόνια αργότερα παρουσίασε σαν δική του επινόηση ο Καρτέσιος!... Όλα αυτά τα στοιχεία τεκμηριώνουν και αναδύουν την ύπαρξη χαρτών. Ερμηνεύοντας δε τον «Μύθο» καταλήγουμε πως ο Μίτος ταυτίζεται με τον χάρτη του Αιγαίου και της λεκάνης της Μεσογείου, αφού ο Μίνως μετά το γεγονός αυτό, της παράδοσης από την Αριάδνη του «μίτου» που της έδωσε ο Δαίδαλος, στον Θησέα, καταδιώκει τον Δαίδαλο για να τον καταπονήσει και ο οποίος καταλήγει υπό την προστασία του βασιλιά της Σικελίας όπου όταν καταπλέει και αποβιβάζεται εκεί ο Μίνως, γνωρίζοντας πλέον το κρησφύγετο του Δαιδάλου, δολοφονείται από τον εκεί όψιμο προστάτη του χαρτογράφου Δαιδάλου για ευνόητους λόγους...

Πρόσθετα δε στοιχεία που μαρτυράνε, τεκμηριώνουν και αποδεικνύουν πως ήδη η χαρτογραφία είχε καθιερωθεί σαν κύρια Γνώση των Μινωϊτών είναι η αρχαιολογική σκαπάνη που έφερε στο φως τις πόλεις της Κρήτης οι οποίες είναι όλες ανοχύρωτες, διότι κανένας

εχθρός δεν μπορούσε να βρει το νησί εκ του λόγου ότι αγνοούσανε τους χάρτες και την λειτουργία τους που σ' αυτήν βασίσθηκε η προϊστορική Μινωϊκή κυριαρχία που τους οδήγησε στην Κίνα και εν συνεχεία στην Μικρονησία ανατολικά και στην Κεντρία Αμερική δυτικά. Άλλωστε η όλη εκστρατεία των Αργοναυτών και η αναφορά στο «χρυσόμαλλον δέρας» αναδύει επίσης την ύπαρξη χάρτου που αφορούσε την Γνώση χρυσοφόρων περιοχών του Πλανήτη στην Μυκηναϊκή Εποχή που διαδέχθηκε την Μινωϊκή, μερικές χιλιάδες χρόνια αργότερα και ήτο καταγεγραμμένος επί του δέρματος (δέρας) που αποτέλεσε ένα από τα υλικά καταγραφής, δεδομένου ότι ακόμη και σήμερα η Περγαμηνή (επεξεργασμένο δέρμα) αποτελεί υλικό για Γραφή.

Τέλος θα πρέπει να επισημανθούν και τα εξής πρόσθετα στοιχεία που τεκμηριώνουν ότι οι «οκτώσχημες» ή «οκτώσχημες ασπίδες» αποτελούν χάρτη πολυκεντρικής προβολής βορείου και νοτίου ημισφαιρίου:

α) Στο κέντρον παρατηρούμε άτρακτον ταυτιζομένη με τον Συμπαντικό και Γήινο Άξονα.

β) Εάν ήσαν «ασπίδες» οι απεικονίσεις αυτές θα είχαν την «λαβή» (άτρακτος) πλατύτερη στα άκρα της για στερέωση επί της «ασπίδος» και λεπτή στο μέσον για χειρολαβή. Το γεγονός λοιπόν ότι αποτελεί άτρακτον συνηγορεί στην άποψη ότι οι «απεικονίσεις» είναι χάρτες.

γ) Παρατηρώντας την άτρακτον υφίσταται διακεκομμένη διπλή «οριοθέτηση» περιμετρικά της ατράκτου και υπό μορφήν ελλείψεως.

δ) Είναι προφανές ότι αν ένας κοσμοκράτορας, όπως στην εποχή του ο Μίνως, ήθελε να αναρτήσει διακοσμητικές «ασπίδες» είχε όλη την δυνατότητα να τις κατασκευάσει από χρυσό, άργυρο ή ελεφαντόδοντο η όποιο άλλο υλικό πολύτιμο ήθελε. Τουναντίον η επιζωγράφιση αποδεικνύει ότι ΔΕΝ πρόκειται για «ασπίδες» αλλά για χάρτες, άκρως πολύτιμους ιδιαίτερα την εποχή εκείνη και για τον φόβο της κλοπής τους και αποφυγή διαρροής και κοινοποίησης των Γνώσεων χαρτογραφίας και απεικονίσεως των μερών της γήινης επιφάνειας, εφωϊώς πράττων, έδωσε εντολήν όπως γίνει η επιζωγράφισή τους στις τοιχοποιίες των εσωτάτων δωματίων του Ανακτόρου του για λόγους Ασφαλείας και διαφύλαξης της Απορρήτου Ιερατικής Γνώσεως.

ε) Στον Δίσκο της Φαιστού υπάρχει δερματοστιξία στο μάγουλο της απεικόνισης του ενός Ιερέως Δακτύλου ή Κουρήτα που υποδηλώνει προφανώς Ιερατική του ενασχόληση. Αντίστοιχες απεικονίσεις υπάρχουν και σε Ιερατικά κοσμήματα εκθέματα του Μουσείου Ηρακλείου.

στ) Στους χάρτες των Μυκηνών υφίσταται στο άνω μέρος απεικόνιση του Μινωϊκού ρόδακος μέτρον χρόνου και μήκους που αντιστοιχεί σε είκοσι λεπτά διάρκεια ροής κλεψύδρας και τέσσερα (4cm) περίπου εκατοστά του μέτρου μήκος όπως προκύπτει από τον Μινωϊκό Ημερολογιακό Άβακα που κατά πλάτος έχει δεκατέσσερις ρόδακες εν σειρά συνολικής εκτάσεως εξήντα εκατοστών του μέτρου. Εκτιμάται ότι υποδηλώνονται τουοτοτρόπως αφ' ενός μεν οι αποστάσεις (υπόμνημα κλίμακος) αφ' ετέρου ο χρόνος για την διάνυσή τους προφανώς σε ημέρες (1 ημέρα διανύονται περίπου 20 μίλλια κωπηλατώντας) με πλοία κατασκευής της Μινωϊκής Εποχής (πριν το 3200π.Χ.).

Βιβλιογραφία

Εγκυκλοπαίδεια Πυρσού

Εγκυκλοπαίδεια Ηλίου

Ομήρου «Οδύσσεια» και «Ιλιάδα»

Πλούταρχος «Θησεύς»

Ισοκράτους «Λόγοι» 28

Ευριπίδης «Ηρακλής»

Διοδώρου Σικελιώτη β. IV

Απολλοδώρου β. III

Ηρόδοτος β. Ζ'

Πασσά Ι.: Τα Ορφικά, έκδοση Ηλίου.

Δημοπούλου Ν., 2005: Το Αρχαιολογικό Μουσείο Ηρακλείου, έκδ. Ι. Λάτση, σελ. 332 - 333

Γρηγοριάδη Π.Δ., 1987: Οι οκτάσχημες ασπίδες, Μινωϊκοί Χάρτες. Μελέτη κατατεθημένη στην Εθνική Βιβλιοθήκη

Γρηγοριάδη Π.Δ., 2003 Η Ελληνική Καταγωγή της Άλφα-Βήτα

Γρηγοριάδη Π.Δ., 2004 Ατλαντίς Συμπαντική Γήϊνη Εσπερία σελίς 96-98

Γρηγοριάδη Π.Δ., 2006 Η Γέννηση των Αριθμών από τον Λαβύρινθο εκδ. Δρόμων Αθήνα

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΞΑΓΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥΣ ΧΑΡΤΕΣ, ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ/G.I.S. ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΙΘΩΝΙΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ.

Οικονομίδης Δ., Μουρατίδης Α., Αστάρας Θ., Ελπέκογλου Σ.

Εργαστήριο Εφαρμογών Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, ([οικονομι@geo.auth.gr](mailto: οικονoμι@geo.auth.gr))

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη η χρήση δορυφορικών δεδομένων για την παραγωγή Ψηφιακών Μοντέλων Αναγλύφου/DEM, από τα οποία λαμβάνονται δευτερογενείς πληροφορίες σχετικά με την τοπογραφία μιας περιοχής. Ως εκ τούτου, καθίσταται αναγκαίος ο έλεγχος αξιοπιστίας των παραπάνω πληροφοριών.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται μία συγκριτική μελέτη γεωμορφολογικών - μορφομετρικών χαρακτηριστικών, τα οποία εξάγονται από DEM προερχόμενα από ελεύθερα διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα (αποστολή SRTM) και από κλασικές πηγές, όπως είναι οι τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. 1:50.000.

Η παραπάνω συγκριτική μελέτη εφαρμόζεται στην περιοχή της Σιθωνίας Χαλκιδικής. Συγκεκριμένα, γίνεται σύγκριση του υδρογραφικού δικτύου, των κλίσεων και των προσανατολισμών των κλιτύων, από τις δύο προαναφερθείσες πηγές δεδομένων και εξάγονται συμπεράσματα..

COMPARING GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS DERIVED FROM SATELLITE DATA AND TOPOGRAPHICAL MAPS, WITH THE AID OF GIS. AN EXAMPLE FROM SITHONIA, HALKIDIKI AREA, GREECE.

Oikonomidis D., Mouratidis A., Astaras T., Elpekoglou S.

Laboratory of Remote Sensing and GIS Applications, Department of Physical and Environmental Geography, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki.

Abstract

In the last years, satellite data are more often used for producing Digital Elevation Models/DEM, from which, secondary information, related to the topography of an area, are extracted. Therefore, checking the reliability of the above data, becomes necessary.

In the present paper, a comparative study of geomorphological-morphometrical data is attempted. These data, were extracted from DEM, derived from free of charge satellite data (Satellite Radar Topography Mission/SRTM) and from conventional sources, such as topographical maps of Hellenic Army Geographical Service/HAGS, of 1/50.000 scale.

The above comparative study is applied in the Sithonia Peninsula of Halkidiki area. In particular, a comparison takes place between the drainage network, the slopes and the aspects derived from the above-mentioned data sources and certain conclusions are drawn.

Λέξεις κλειδιά: SRTM, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Σιθωνία.

Key words: SRTM, GIS, Sithonia.

1. Εισαγωγή-σκοπός της εργασίας

Τα τελευταία χρόνια, μεταξύ των γεωεπιστημών γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη η χρήση δορυφορικών δεδομένων για την παραγωγή Ψηφιακών Μοντέλων Αναγλύφου/DEM, από τα οποία λαμβάνονται δευτερογενείς πληροφορίες σχετικά με την τοπογραφία μιας περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται τα δεδομένα της αποστολής SRTM της NASA. Η αποστολή SRTM ήταν μια συνεργασία μεταξύ της NASA, της υπηρεσίας εικόνων και χαρτών των ΗΠΑ (NIMA/US National Imagery and Mapping), της Ιταλικής Διαστημικής Υπηρεσίας (Italian Space Agency/ASI) και του Γερμανικής Υπηρεσίας Αεροδιαστήματος (German Aerospace Agency/DLR). Η αποστολή SRTM αφιερώθηκε αποκλειστικά στη «διαστημική συμβολομετρία SAR μονής διέλευσης» (satellite-borne single-pass SAR interferometry). Ήταν μια αποστολή διάρκειας 11 ημερών (Φεβρουάριος 2000), στην οποία χρησιμοποιήθηκαν δύο ανεξάρτητες κεραίες, που κατέγραφαν εικόνες στις C και X φασματικές ζώνες. Τα δεδομένα από την αποστολή SRTM ήταν κατάλληλα, ώστε να κατασκευαστούν μεγάλη διακριτικής ικανότητας και ακρίβειας ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου (DEMs), με χωρική διακριτική ικανότητα (μέγεθος ψηφίδας) 30 μ. (με τη C-band) και σε ορισμένες περιπτώσεις με 10 μ. χωρική διακριτική ικανότητα (με την X-band). Η κατακόρυφη ακρίβεια ήταν καλύτερη από 10 μ. για τη C-band και 6 m για την X-band (Αστάρας, 2006).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα ελεύθερα διαθέσιμα δεδομένα της αποστολής SRTM, δηλαδή το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου/DEM της χερσονήσου Σιθωνίας Χαλκιδικής, με μέγεθος ψηφίδας τα 90 μ. περίπου.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιχειρείται μία συγκριτική μελέτη γεωμορφολογικών - μορφομετρικών χαρακτηριστικών τα οποία εξάγονται από DEM προερχόμενα από ελεύθερα διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα (αποστολή SRTM) και από κλασικές πηγές, όπως είναι οι τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. 1:50.000.

Συγκεκριμένα, γίνεται σύγκριση του υδρογραφικού δικτύου, των κλίσεων και των προσανατολισμών των κλιτύων, από τις δύο προαναφερθείσες πηγές δεδομένων και εξάγονται συμπεράσματα.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο έλεγχος της αξιοπιστίας των δεδομένων που παράγονται από τα προαναφερόμενα DEM της αποστολής SRTM, σε σύγκριση με τοπογραφικούς χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού/ΓΥΣ, κλίμακος 1/50.000. Το τελικό αποτέλεσμα αυτής της εργασίας ήταν η δημιουργία πινάκων όπου καταγράφονται με ποσοτικές μετρήσεις οι διαφορές της κλίσης, προσανατολισμού και υδρογραφικού δικτύου που προέρχονται από τις προαναφερθείσες πηγές δεδομένων.

2. Περιβάλλον της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι η χερσόνησος Σιθωνίας του νομού Χαλκιδικής (σχήμα 1). Η διεύθυνσή της είναι ΒΔ-ΝΑ, καλύπτει επιφάνεια 453,632 km².

Σύμφωνα με τον Μπαλαφούτη (1977), η περιοχή μελέτης κατατάσσεται στον Μεσογειακό τύπο κλίματος, Csa (ταξινόμηση Koeppen 1936), δηλαδή χαρακτηρίζεται από θερμά και ξηρά καλοκαίρια, καθώς και από ήπιους και υγρούς χειμώνες.

Τα υψόμετρα της περιοχής μελέτης κυμαίνονται από 0μ.-832μ., επομένως, βάσει της ταξινόμησης κατά Dikau (1989), η περιοχή μελέτης μπορεί να χαρακτηριστεί από πεδινή έως ημιορεινή.

Τέλος, η λιθολογία της περιοχής αποτελείται κυρίως από όξινα-ουδέτερα πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα, κρυσταλλικούς σχιστολίθους και μάργες (Ελπέκογλου 2006, ΓΓΜΕ 1978).

3. Δεδομένα και μέθοδος έρευνας

3.1 Δεδομένα

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα δεδομένα:

Α) Τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ). Φύλλα: «Καλαμίτσιον», «Νικήτας», και «Συκέα», κλίμακας 1/50.000.

Β) Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου της αποστολής SRTM (Jarvis et al. 2006), με μέγεθος ψηφίδας 90 μ. περίπου.

Από τους τοπογραφικούς χάρτες ψηφιοποιήθηκαν:

- Οι ισοϋψείς καμπύλες με ισοδιάσταση 20μ.
- Το υδρογραφικό δίκτυο.
- Η ακτογραμμή.

3.2 Μέθοδος έρευνας

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε σε προσωπικό υπολογιστή Computer Intel® Pentium® 4 CPU 3.40GHz 1.0 GB of RAM με τη χρήση του προγράμματος ArcGIS 9, συμπεριλαμβανομένων και των τριών εφαρμογών του, ArcMap, ArcCatalog & ArcToolbox.

Αρχικά, ψηφιοποιήθηκαν από τους τοπογραφικούς χάρτες οι ισοϋψείς καμπύλες της υπό μελέτην περιοχής, με ισοδιάσταση 20m οι οποίες περιλαμβάνουν υψόμετρα: 0m (ακτογραμμή) – 820m (υψηλότερη ισοϋψής) και οι οποίες παρουσιάζονται στο σχήμα 1.

Ακολούθως, ψηφιοποιήθηκε το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής (διαρκής και περιοδική ροή των ρεμάτων) και η ακτογραμμή της χερσονήσου Σιθωνίας (σχήμα 2α).

Στην συνέχεια, με τηνβοήθεια των παραπάνω επιπέδων πληροφοριών, δημιουργήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου/DEM, με μέγεθος ψηφίδας τα 20 μ. (σχήμα 3α).

Από το DEM που προέκυψε από τους τοπογραφικούς χάρτες, δημιουργήθηκαν οι χάρτες κλίσεων (σχήμα 4α) και προσανατολισμού των κλιτύων (σχήμα 5α).

Από το DEM του SRTM (σχήμα 3β), δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες κλίσεων (σχήμα 4β) και προσανατολισμού (σχήμα 5β), και με την βοήθεια κατάλληλων υποπρογραμμάτων και μενού του ArcGIS και συγκεκριμένα του ArcMap και ArcToolbox, παρήχθη το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης (σχήμα 2β).

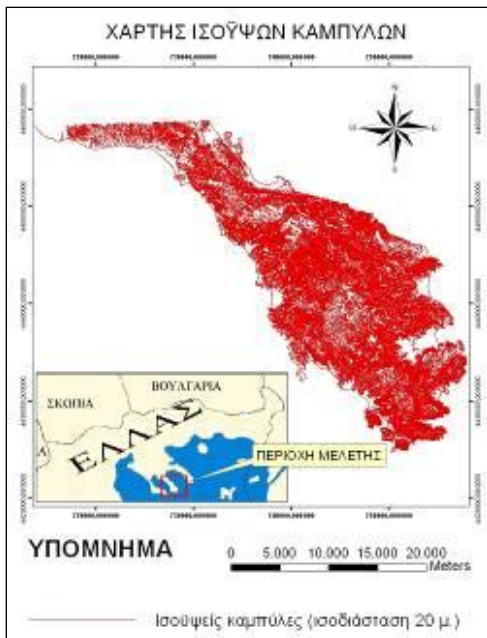
Όλα τα επίπεδα πληροφοριών καθώς και οι τοπογραφικοί χάρτες, είναι αυστηρά προσανατολισμένα σε ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα, ώστε να καθίσταται δυνατός ο συνδυασμός ορισμένων από αυτά, σύμφωνα με τις επιθυμίες του χρήστη. Στην περίπτωση μας, όλα τα παραπάνω επίπεδα πληροφοριών, γεωαναφέρθηκαν στο προβολικό σύστημα UTM (WGS84/34N).

Τέλος, μετρήθηκαν:

α) το μήκος κάθε τάξης ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου (αρίθμηση κατά Strahler 1952) που προέκυψαν τόσο από την ψηφιοποίηση των τοπογραφικών χαρτών όσο και από το DEM του SRTM (σχήμα 3 και πίνακας 1).

β) η έκταση που καταλαμβάνει κάθε κλάση κλίσεων (σχήμα 4 και πίνακας 2) και

γ) η έκταση που καταλαμβάνει κάθε κλάση προσανατολισμού των κλιτύων (σχήμα 5 και πίνακας 3).



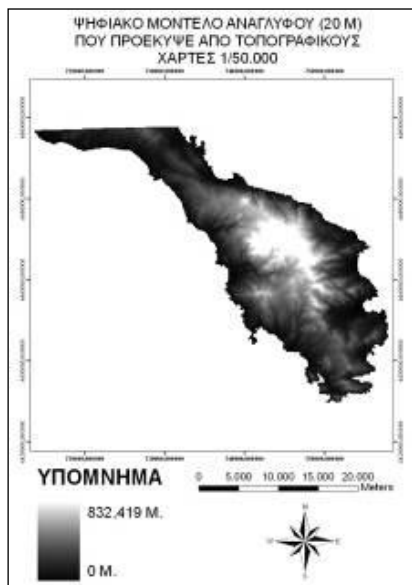
Σχήμα 1. Περιοχή μελέτης και ισοΨείς καμπύλες της περιοχής μελέτης που προέκυψαν από τοπογραφικούς χάρτες της ΓΥΣ, κλίμακος 1/50.000.



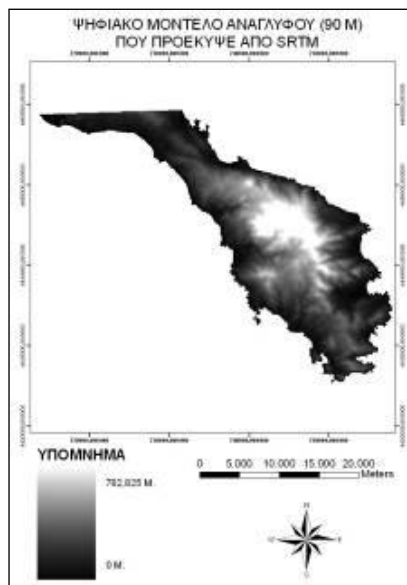
Σχήμα 2α: Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης, όπως αυτό προέκυψε από ψηφιοποίηση τοπογραφικών χαρτών της ΓΥΣ. Οι αριθμοί 2-6 αναπαριστούν την ταξινόμηση του δικτύου κατά Strahler.



Σχήμα 2β: Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης, όπως αυτό προέκυψε από το DEM του SRTM. Οι αριθμοί 2-6 αναπαριστούν την ταξινόμηση του δικτύου κατά Strahler.



Σχήμα 3α. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου/DEM που προέκυψε από ψηφιοποίηση τοπογραφικών χαρτών 1/50.000.



Σχήμα 3β. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου/DEM, που προέκυψε από SRTM.

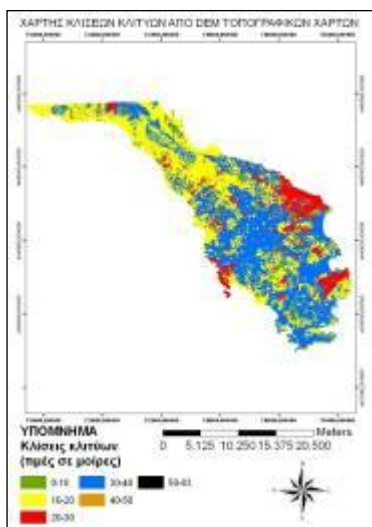
Από τους χάρτες 2α και 2β και αφού απομονώσαμε, με κατάλληλες εντολές του ArcMap, (Κουτσόπουλος και Ανδρουλακάκης 2003) τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου κάθε τάξης (αρίθμηση κατά Strahler 1952), μετρήσαμε το συνολικό μήκος των ρεμάτων για κάθε τάξη (πίνακας 1). Οι κλάδοι 1ης τάξης δεν ελήφθησαν υπόψιν διότι α) στους τοπογραφικούς χάρτες κλίμακος 1/50.000 της ΓΥΣ, υπάρχουν παραλείψεις στην καταγραφή κλάδων 1ης τάξης (Sotiriadis and Astaras 1977, Αστάρας και Οικονομίδης 2002) και β) το υδρογραφικό δίκτυο που προέκυψε από το DEM του SRTM, έδωσε έναν αριθμό ρεμάτων (κοιτών), 1ης τάξεως, πιθανώς κοντά στον αριθμό ρεμάτων 1ης τάξεως που απαντούν στην ύπαιθρο. Φαίνεται ότι οι «μή διακλαδιζόμενες επιμήκεις εκβαθύνσεις της επιφάνειας της Γης, οι οποίες δείχνουν μαρτυρία προϋπάρχουσας ή υπάρχουσας ροής ύδατος και περιορίζονται από πλευρές κλιτύος που κλείνουν προς τον άξονα της κοίτης» και οι οποίες ορίζονται από τον Melton 1957 (από Αστάρας 1980), ως κοίτες 1ης τάξεως, προκύπτουν από το DEM του SRTM. Βεβαίως για την επαλήθευση του παραπάνω συλλογισμού, απαιτείται λεπτομερής εργασία υπαίθρου.

Πίνακας 1. Μήκη ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου

	Μήκος ρεμάτων υδρογραφικού δικτύου τοπογραφικών χαρτών (μ)	Μήκος ρεμάτων υδρογραφικού δικτύου που προέκυψε από το DEM του SRTM (μ)
Κλάδοι ρεμάτων 2 ^{ης} τάξης	428017,74	770062,24
Κλάδοι ρεμάτων 3 ^{ης} τάξης	208947,78	284882,56
Κλάδοι ρεμάτων 4 ^{ης} τάξης	115781,07	139883,27
Κλάδοι ρεμάτων 5 ^{ης} τάξης	21172,09	60085,1

Από τον πίνακα 1 προκύπτει ότι το υδρογραφικό δίκτυο που προέκυψε από το DEM του SRTM, δίνει μεγαλύτερο μήκος ρεμάτων υδρογραφικού δικτύου για κάθε τάξη, σε σχέση με αυτό των τοπογραφικών χαρτών της ΓΥΣ.

Από τους χάρτες 3α και 3β (DEM από τοπογραφικούς χάρτες και SRTM αντίστοιχα), προκύπτει ότι το DEM του SRTM παρέχει μικρότερη τιμή μέγιστου υψομέτρου (782,83 μ.) σε σχέση με αυτό που προκύπτει από τους τοπογραφικούς χάρτες 1/50.000 (832,42 μ.)



Σχήμα 4α. Κλίσεις κλιτύων που προέκυψαν από το DEM τοπογραφικών χαρτών 1/50.000.



Σχήμα 4β. Κλίσεις κλιτύων που προέκυψαν από το DEM του SRTM.

Από τους χάρτες 4α και 4β, μετρήσαμε τις εκτάσεις κάθε μίας κλάσης κλίσεων και προέκυψε ο πίνακας 2.

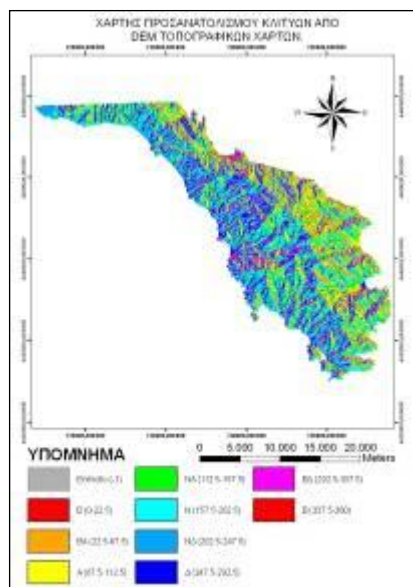
Πίνακας 2. Εκτάσεις κλάσεων κλιτύων.

	Έκταση κλάσης κλίσεων που προέκυψαν από DEM τοπογραφικών χαρτών (μ ²)	Έκταση κλάσης κλίσεων που προέκυψαν από DEM του SRTM (μ ²)
0°-10°	19.031.835,42	324.006.458,62
10°-20°	179.444.557,74	122.404.049,67
20°-30°	54.736.407,04	6.972.964,98
30°-40°	202.377.956,99	-
40°-50°	293.197	-
50°-63°	11.923,84	-

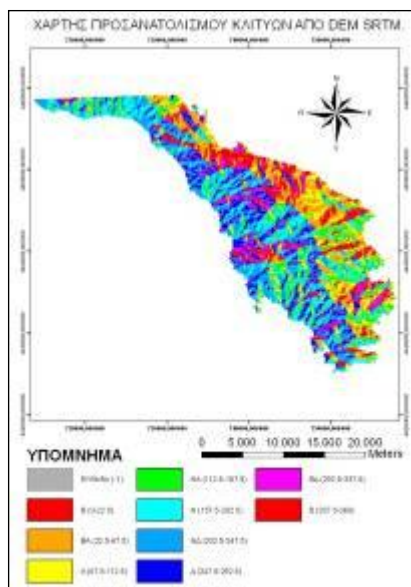
Από τον πίνακα 2 παρατηρούμε ότι:

α) Ο χάρτης κλίσεων 4β (που προέκυψε από το DEM του SRTM) περιορίζει το εύρος των κλίσεων που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, δεν δίνει κλίσεις μεγαλύτερες των 30°, ενώ από το DEM των τοπογραφικών προκύπτουν κλίσεις μέχρι 63° και

β) Στο διάστημα 0° - 10° ο χάρτης κλίσεων 4β δίνει μεγαλύτερες τιμές εμβαδού σε σχέση με αυτόν που προέκυψε από τοπογραφικούς χάρτες. Το αντίθετο συμβαίνει στα διαστήματα 10° - 20° και 20° - 30° .



Σχήμα 5α. Προσανατολισμοί κλιτύων που προέκυψαν από το DEM τοπογραφικών χαρτών 1/50.000.



Σχήμα 5β. Προσανατολισμοί κλιτύων που προέκυψαν από το DEM του SRTM.

Από τους χάρτες 5α και 5β, μετρήσαμε τις εκτάσεις κάθε μίας κλάσης προσανατολισμών και προέκυψε ο πίνακας 3.

Πίνακας 3. Εκτάσεις κλάσεων προσανατολισμού κλιτύων.

	Έκταση κλάσης προσανατολισμών που προέκυψαν από DEM τοπογραφικών χαρτών (μ^2)	Έκταση κλάσης προσανατολισμών που προέκυψαν από DEM του SRTM (μ^2)
Επίπεδο	3200	10374,29
B	51.481.749,43	49.620.454,21
BA	59.142.345,11	63.625.535,41
A	50.886.142,45	40.131.094,05
NA	53.911.745,6	48.357.732,88
N	63.596.034,99	70.765.955,25
NΔ	70.011.328,73	86.665.099,92
Δ	55.972.048,4	54.126.725,69
BΔ	50.840.494,4	39.722.631,96

Από τον πίνακα 3 παρατηρούμε ότι για προσανατολισμούς B, A, NA, Δ και BΔ, τα εμβαδά που

μετρώνται από τον χάρτη 5β (που προέκυψε από το DEM του SRTM), είναι μικρότερα σε σχέση με αυτά του χάρτη 5α (που προέκυψε από τους τοπογραφικούς χάρτες). Το αντίθετο συμβαίνει για τις υπόλοιπες κλάσεις προσανατολισμών των κλιτύων, δηλαδή, επίπεδο, ΒΑ, Ν και ΝΔ.

4. Συζήτηση-συμπεράσματα

Είναι γεγονός, ότι οι τοπογραφικοί χάρτες 1:50.000 δεν αποτελούν το καλύτερο μέτρο σύγκρισης, για τα δεδομένα SRTM, καθώς απεικονίζουν την κατάσταση του αναγλύφου, όπως αυτό ήταν πριν από αρκετά χρόνια και σε πολλές περιπτώσεις οι αλλαγές υπήρξαν σημαντικές. Ωστόσο, οι χάρτες αυτοί δεν παύουν να αποτελούν την πλέον ολοκληρωμένη πηγή τοπογραφικών – γεωμορφολογικών πληροφοριών σε επίπεδο χώρας.

Όσον αφορά τη σύγκριση των δεδομένων για την περιοχή της Σιθωνίας διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Το υδρογραφικό δίκτυο που προκύπτει από το ελεύθερα προσβάσιμο DEM του SRTM, δίνει μεγαλύτερα μήκη ρεμάτων για όλες τις τάξεις αρίθμησης κατά Strahler.

- Το DEM του SRTM δίνει μικρότερες τιμές μέγιστου υψομέτρου.

- Σε σχέση με τις κλίσεις των κλιτύων, είναι εμφανές ότι στον χάρτη κλίσεων που προήλθε από το DEM του SRTM, περιορίζεται το εύρος τους, ενώ σε σχέση με το εμβαδόν που καταλαμβάνει κάθε κλάση, δεν μπορούν να προκύψουν γενικά συμπεράσματα σε σχέση με τον χάρτη κλίσεων που προήλθε από το DEM των τοπογραφικών χαρτών.

- Όσον αφορά τους προσανατολισμούς των κλιτύων, ισχύει ότι και για τις κλίσεις, δηλαδή δεν μπορούμε να εξαγάγουμε γενικά συμπεράσματα.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μία πρώτη προσέγγιση όσον αφορά την αξιολόγηση του SRTM για την αξιολόγηση γεωμορφολογικών-μορφομετρικών παραμέτρων. Σε επόμενο στάδιο, θα ακολουθήσει έρευνα πεδίου, με την βοήθεια και χρήση GPS, προκειμένου να εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα σχετικά με την αξιοπιστία των παραπάνω πηγών.

Βιβλιογραφία

Αστάρης Θ., 1980: Ποσοτική-γεωμορφολογική μελέτη τμημάτων των Δ. πλευρών του όρους Βερτίσκου (κ. Μακεδονία). Διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 212 σελ.

Αστάρης Θ. και Οικονομίδης Δ., 2002: Η χρήση των δορυφορικών εικόνων Landsat-TM, IRS-1C/PAN και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), στον ακριβέστερο εντοπισμό των υδρογραφικών συστημάτων. Ένα παράδειγμα από τον Δενδροπόταμο Θεσσαλονίκης. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, τόμος II, σελ. 47-54.

Αστάρης, Θ., 2006: Τηλεπισκόπηση - Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες, Διδακτικές Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσ/νίκη, 317 σελ.

Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού/ΓΥΣ: Τοπογραφικοί χάρτες Φύλλα: «Καλαμίσιον»/1969, «Συκέα»/1969 και «Νικήτας»/1969). Κλίμακα 1:50.000

Ελπέκογλου Σ., 2006: Καθορισμός πιθανών θέσεων για ΧΥΤΑ στην περιοχή Σιθωνία Χαλκιδικής με την βοήθεια των ΓΣΠ. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 36 σελ.

Ινστιτούτον Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), 1978: Γεωλογικός Χάρτης Φύλλον «Χερσόνησος Σιθωνίας», κλίμακα 1/50.000.

Κουτσόπουλος Κ. Και Ανδρουλακάκης, Ν., 2003: Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με χρήση του λογισμικού ArcGIS. Παπασωτηρίου, Αθήνα, 397 σελ.

Μπαλαφούτης Χ., 1977: Συμβολή εις την μελέτην του κλίματος της Μακεδονίας και Δυτικής Θράκης. Διατριβή επί διδακτορία, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 121 σελ.

Dikau R., 1989: The application of a digital relief model to landform analysis. In: Raper, J. F. (ed.) 1989: Three dimensional applications in Geographical Information Systems. Taylor and Francis, London, pp 51-77.

Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson E. Guevara, 2006: Hole-filled seamless SRTM data V3, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>.

Koepfen W., 1936: Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie. Berlin.

Melton M., 1957: An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology. Office of Naval Research, Technical Report 11, Depart. Of Geology, Columbia University, New York.

Sotiriadis L. and Astaras t., 1977: A comparison of drainage densities as computed from topographic maps, aerial photographs and filed survey. Ann. Geol. Des Pays Helleniques, 28, 145-59.

Strahler A., 1952: Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geol. Soc. Amer. Bull., 63, 1117-42.



8^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας

8TH PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE
of the Greek Geographical Society

Περιεχόμενα

Γ.Σ.Π. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΝΗΣΟΥ ΖΑΚΥΝΘΟΥ	9
Βασιλοπούλου Σ., Χουσιανίτης Κ., Σαραντίδης Α., Οικονόμου Α., Σακκάς Β., Damiata B.-N., Λάγιος Ε.	
ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΛΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΟΥ ΠΑΚΙΣΤΑΝ (2004) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ASTER ΚΑΙ IKONOS	20
Γεωργακάς Δ., Κατσέλης Σ.	
ΧΡΗΣΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ HURGHADA, ΣΤΗΝ ΑΙΓΥΠΤΟ	26
Kamh S., Kiliias A., Christaras B., Ashmawy M.	
Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΟΡΕΙΝΗ ΖΑΚΥΝΘΟ	37
Μαρτίνης Α., Χάρου Ε., Στεφούλη Μ., Μαρμαρινός Α.	
FORESIGHT IN EUROPEAN SPACE AND GEOSPATIAL POLICIES: REPERCUSSIONS FOR THE GEOPOLITICAL SECURITY OF EUROPE	46
Papadimitriou F.	
ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ (DEM) ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΓΕΩΜΟΡΦΩΝ. ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΙΝΑΧΟ ΠΟΤΑΜΟ, ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ	54
Παράσχου Θ., Βουβαλιδής Κ.	
ERS SAR POWER SATELLITE IMAGE INTERPRETATION AND URBAN CHARACTERISTICS: THE CASE OF ATHENS	67
Parcharidis I., Delladetsimas P., Kourkouli P.	
ΤΑ ΜΕΣΤΑ ΤΗΣ ΧΙΟΥ. ΑΝΑΒΙΩΣΗ ΜΙΑΣ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ;	73
Σιδηρόπουλος Γ., Γιώτης Α.	
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΛΟΓΟΥΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΜΕ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ	82
Σκιάνης Γ., Βαϊόπουλος Δ., Νικολακόπουλος Κ.	
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ HAZUS ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΙΘΑΝΩΝ ΖΗΜΙΩΝ ΣΤΟ ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ ΑΠΟΘΕΜΑ ΠΡΟΚΑΛΟΥΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΡΕΑΛΙΣΤΙΚΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ	92

Τεχνίτης Γ.

ΤΑ ΓΣΠ ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΧΩΡΩΝ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΛΑΚΩΝΙΑΣ	102
Καραγιαννίδης Α., Αντωνόπουλος Ι., Τσατσαρέλης Θ., Περκουλίδης Γ.	
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΟΧΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΠΟΣΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΑΧΑΡΑ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	113
Κατσαφάδος Π., Κάλλος Γ., Σπύρου Χ., Παπαδόπουλος Α.	
Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΘΕΣΜΟΥ ΕΠΕ, ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	123
Μανούρης Γ., Κασσιός Κ.	
ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΘΕΣΕΩΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΓΙΑ Χ.Υ.Τ.Α., ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ ΚΑΣΣΑΝΔΡΑΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ, ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ/GIS. ΜΙΑ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	133
Οικονομίδης Δ., Νασιάκου Π., Μουρατίδης Α., Αστάρας Θ.	
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ ΤΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΑΝΟΔΟ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ Γ.Σ.Π.	142
Σενή Α., Γάκη-Παπαναστασίου Κ., Καρύμπαλης Ε., Ζούβα Χ.	
ΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ	152
Σπύρου Χ. , Κατσαφάδος Π., Αστήθα Μ., Παπαδόπουλος Α., Κάλλος Γ.	
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΤΩ ΣΟΥΛΙΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ (ΒΑ ΑΤΤΙΚΗ)	164
Σωτηρόπουλος Π., Τζάνης Α.	
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΑΘΗΝΑΙΩΝ	175
Τόγια Α., Καραϊσκού Κ., Αμπελιώτης Κ., Χαριτοπούλου Ρ., Λαζαρίδη Α.	
Η ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΠΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΟΣ ΤΑΞΙΝΟΜΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	186
Χαλκιάς Χ., Παπαδόπουλος Α.	
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ: ΕΝΑΣ ΠΛΟΥΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	196
Βαίτης Μ., Carrara P., Guimet J., Barea M., Redondo M.	
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΥ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΝΟΜΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ	206

8° Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο

Βιρβίλης Β., Χάρου Ε., Στεφρούλη Μ., Μπενταλί Φ., Παναγιωτόπουλος Π., Περαντώνης Σ.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΙΣΤΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΠΟΥΛΙΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ 215

Μωράτης Η., Βαϊτής Μ.

ΜΙΑ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΥΛΩΝ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ 225

Αθανάσης Ν., Καλαμποκίδης Κ., Βαϊτής Μ., Σουλακέλλης Ν.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΗΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ 235

Σκοπελίτη Α.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΤΑΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΖΩΝΩΝ 246

Στεφανάκης Ε., Πραστάκος Π.

ΥΛΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΗΝ ΕΠΟΜΕΝΗ ΓΕΝΙΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΘΕΣΗΣ 257

Φρέντζος Η., Γρατσιάς Κ., Θεοδωρίδης Γ.

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΣΤΟΝ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟ ΚΟΛΠΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΚΕΔΑΣΤΩΝ 268

Ηλίας Π., Κοντοές Χ., Παπουτσή Ι., Κώτσης Ι.

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ ΑΠΟ ΠΑΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ 279

Καράντζαλος Κ., Αργιαλάς Δ.

ΑΝΤΙΚΕΙΜΟΝΟΣΤΡΑΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΙΚΟΝΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΗΜΙΑΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΚΗΣ ΕΛΑΤΗΣ (ABIES CERHALONICA) ΣΤΟΝ ΕΘΝΙΚΟ ΔΡΥΜΟ ΠΑΡΝΗΘΑΣ 286

Κόκλα Φ., Αργιαλάς Δ., Κασσιός Κ.

ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΠΙΟΥ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ 295

Κωτσόπουλος Κ., Αργιαλάς Δ., Κασσιός Κ.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ SRTM DEM ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ 305

Νικολακόπουλος Κ., Σκιάνης Γ., Βαϊόπουλος Δ.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ HYPERION ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ 314

Νικολακόπουλος Κ., Καραθανάση Β.

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΜΩΝ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ 324

Νούτσου Β., Αργιαλάς Δ., Μιχάλης Π., Αλβέρτος Ν.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΜΙΓΟΥΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΟΥΔΗ ΑΤΤΙΚΗΣ) ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ	335
Τζώτσος Α., Αργιαλάς Δ.	
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΝΑΞΟ	344
Χάρου Ε., Στεφούλη Μ., Χελιώτης Ι.	
ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΦΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ: ΤΟ ΕΡΓΟ REALDEMS	353
Χρυσουλάκης Ν., Φείδας Χ., Βελιανίτης Δ.	
ΧΑΡΤΕΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ: ΕΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΕΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	363
Γαλανόπουλος Δ., Σοϊλεμεζίδου Μ., Παπούλης Α.	
ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ ΣΤΗΝ ΠΡΟΜΙΝΩΪΚΗ ΚΑΙ ΜΙΝΩΪΚΗ ΕΠΟΧΗ	372
Γρηγοριάδης Π.	
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΞΑΓΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥΣ ΧΑΡΤΕΣ, ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ/G.I.S. ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΙΘΩΝΙΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	382
Οικονομίδης Δ., Μουρατίδης Α., Αστάρης Θ., Ελπέκογλου Σ.	

