

Ένα παράδειγμα σύζευξης γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (Γ.Σ.Π) με μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης (ασαφής λογική & νευρωνικά δίκτυα): εφαρμογή στη γεωμορφολογία.

ΓΚΟΥΡΝΕΛΟΣ Θ.¹, ΕΥΕΛΠΙΔΟΥ Ν.¹ ΚΑΙ ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ Α.¹

ABSTRACT

In this paper we are studying the erosional procedures on the basis of Geographical Information Systems (GIS) and Artificial Intelligence (AI) methods. More precisely we use fuzzy logic rules to estimate the erosion risk index for the surface rocks and a model of neural networks to spatially categorise the erosion risk index. The described procedure is applied at Zakynthos island, where a complete spatial database already exists.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία με βάση τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και με τη χρήση μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης, γίνεται μια προσπάθεια μελέτης των διαδικασιών διάβρωσης. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται κανόνες ασαφούς λογικής για τον υπολογισμό του δείκτη διάβρωσης των επιφανειακών πετρωμάτων και ένα μοντέλο νευρωνικών δικτύων για την χωρική ταξινόμηση του δείκτη επικινδυνότητας για διάβρωση. Όλη η περιγραφείσα διαδικασία εφαρμόζεται στο νησί της Ζακύνθου που ήδη υπάρχει μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαδικασία της διάβρωσης των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο και είναι αδύνατο να προσεγγιστεί ικανοποιητικά με αιτιοκρατικά μαθηματικά μοντέλα. Οι κύριες μεταβλητές που επιδρούν στο εν λόγω φαινόμενο είναι: η τοπογραφία, η γεωλογική δομή και η φύση των πετρωμάτων, το κλιματικό καθεστώς και οι βιολογικές διαδικασίες. Η τοπογραφία καθορίζει την μορφή του αναγλύφου, το επικλινές των κλιτύων. Η γεωλογική δομή και η φύση των πετρωμάτων ελέγχουν το σύστημα των ασυνχειών (ρήγματα, διακλάσεις) και το βαθμό ευπάθειας στη διάβρωση. Το κλίμα είναι σημαντικός παράγοντας διότι καθορίζει την χρονική κατανομή και την ένταση των βροχοπτώσεων που είναι κατ'εξοχήν υπεύθυνες για την διάβρωση των επιφανειακών σχηματισμών. Τέλος, οι βιολογι-

κές διαδικασίες ελέγχουν τη φύση του εδαφικού καλύμματος και εν γένει του μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων (Barczy, et al, 1996, Centeri, 2002 a, b, c).

Σε αυτή την εργασία γίνεται μια προσπάθεια προσέγγισης των διαβρωτικών διαδικασιών χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των Γ.Σ.Π. και μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης.

Όλες οι μεταβλητές που υπεισέρχονται στο φαινόμενο της διάβρωσης δεν είναι σταθερές, αλλά αλλάζουν χωρικά και χρονικά. Για αυτό το λόγο προστρέξαμε στην θεωρία ασαφών συνόλων και νευρωνικών δικτύων (Klir & Yuan, 1995, Hecht-Nielsen, 1990) με τελικό στόχο την δημιουργία ενός θεματικού χάρτη που να ταξινομεί περιοχές ως προς την επικινδυνότητα διάβρωσης.

AN EXAMPLE OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS) AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS (FUZZY LOGIC & NEURAL NETWORKS) CONJUNCTION: APPLICATION IN GEOMORPHOLOGY

1 Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α., Πανεπιστήμιο Πάτρης, Ζακύνθος, 26500, Ελλάδα, gkournelos@geol.uoa.gr, N.Evelpidou@geol.uoa.gr, vassilopoulos@geol.uoa.gr

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Οι κύριες φάσεις της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκαν σε αυτή την εργασία είναι οι εξής:

Ψηφιοποίηση και εισαγωγή όλων των δεδομένων σε Γ.Σ.Π.

Δημιουργία κανόνων ασαφούς λογικής για τον πρώτο μετασχηματισμό των μεταβλητών εισόδου

Δημιουργία ενός συστήματος Νευρωνικού δικτύου για τον περαιτέρω μετασχηματισμό των μεταβλητών εισόδου.

Τελική επανα-εισαγωγή των αποτελεσμάτων των δύο προαναφερθέντων μετασχηματι-

σμών και δημιουργία θεματικού χάρτη σε περιβάλλον Γ.Σ.Π.

Τα παραπάνω στάδια που περιγράφηκαν φαίνονται σχηματικά στο διάγραμμα ροής (Σχ. 1).

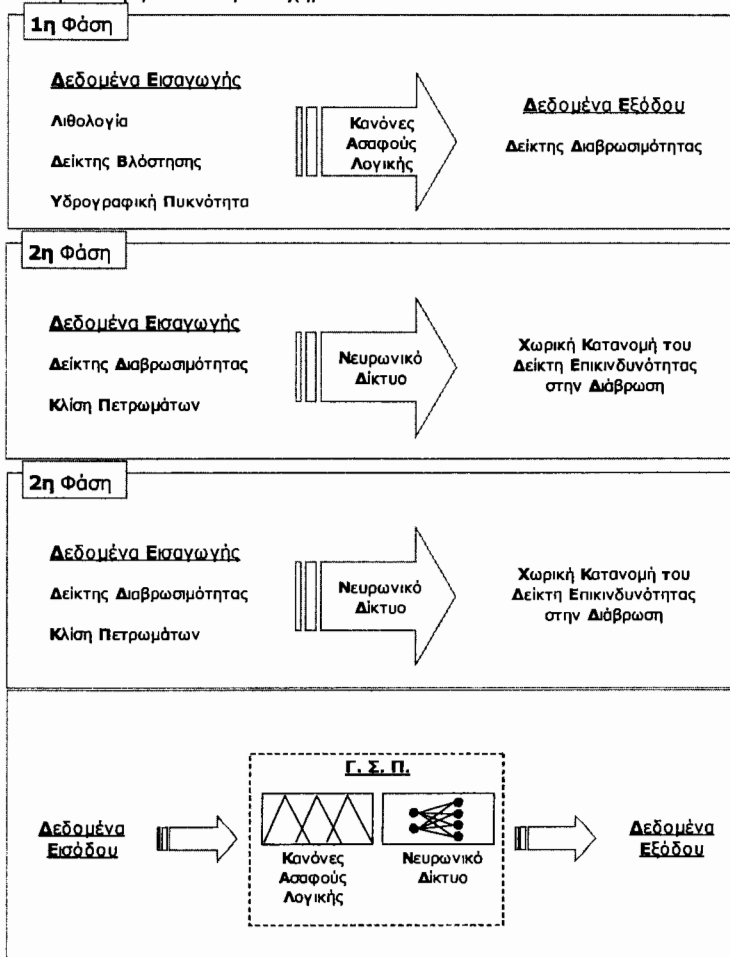
Οι μεταβλητές εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Λιθολογία πετρωμάτων (Χάρτης 1)

Δείκτης βλάστησης (Χάρτης 2)

Η υδρογραφική πυκνότητα (Χάρτης 3)

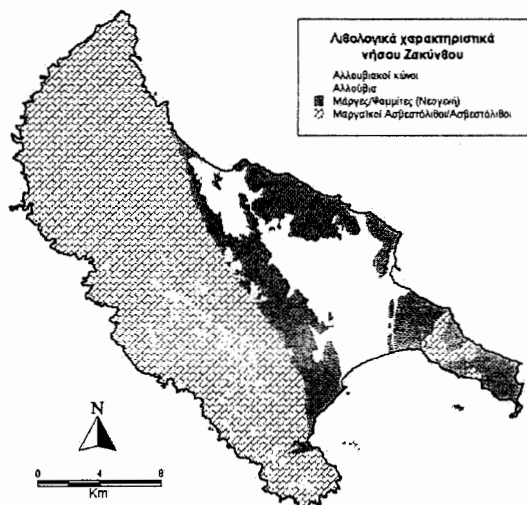
Η μορφολογική κλίση (Χάρτης 4)



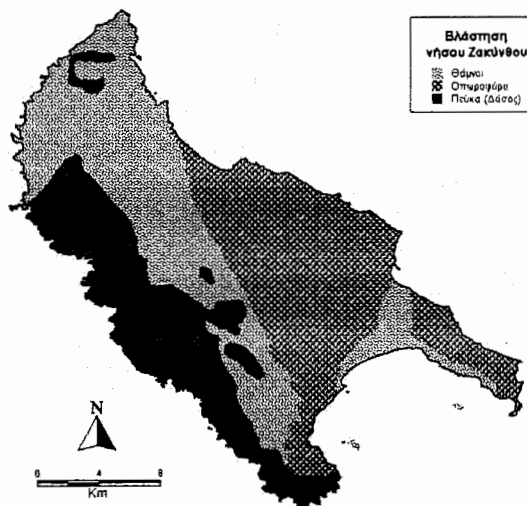
Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής εργασιών.

Αρχικά όπως προαναφέρθηκε έγινε ψηφιοποίηση των δεδομένων που προέρχονται είτε από χάρτες τοπογραφικούς, γεωλογικούς, είτε και από εργασία υπαίθρου. Στη φάση (2) της μεθοδολογίας με την χρήση εμπειρικών κανόνων ασαφούς λογικής από τις 3 πρώτες μεταβλητές εισόδου υπολογίζεται ο δείκτης διαβρωσιμότητας των επιφανειακών σχηματισμών (Πίνακας 1).

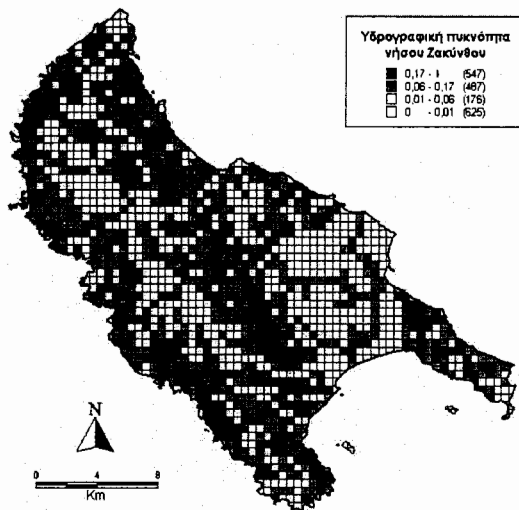
Οι αρχικές μεταβλητές μετατράπηκαν σε 'ασαφείς' μεταβλητές (fuzzy variables) έχοντας τριγωνικές συναρτήσεις κατανομής (triangular membership function). Μια παρόμοια διαδικασία έχει ήδη εφαρμοσθεί από τους συγγραφείς κατά το παρελθόν (Γκουρνέλος, κ.ά., 1999, Gournelos, et al, 2002, Gournelos, et al 2004).



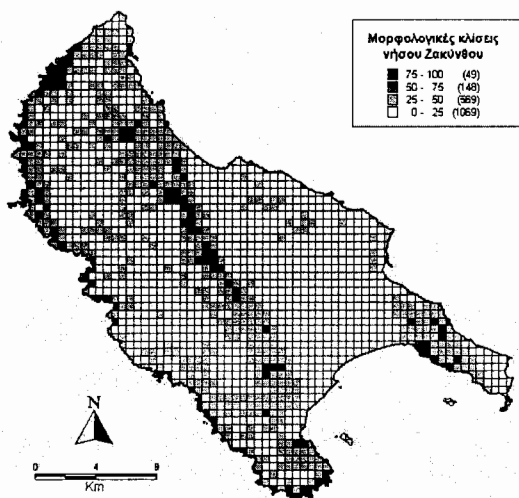
Χάρτης 1. Λιθολογικός χάρτης Ζακύνθου.



Χάρτης 2. Γεωγραφική κατανομή της βλάστησης στην Ζάκυνθο.



Χάρτης 3. Γεωγραφική κατανομή της Υδρογραφικής Πυκνότητας στην Ζάκυνθο.



Χάρτης 4. Γεωγραφική κατανομή των μορφολογικών κλίσεων στην Ζάκυνθο.

Στη συνέχεια ο ανωτέρω δείκτης και η τοπογραφική κλίση αποτελούν μεταβλητές εισόδου για το μοντέλο του νευρωνικού δικτύου με τελική έξοδο (output) την ταξινόμηση ως προς το βαθμό επικινδυνότητας για διάβρωση στην περιοχή (φάση 3 της μεθοδολογίας). Το Νευρωνικό μοντέλο αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τέσσερις νεύρωνες, για μετασχηματισμό των μεταβλητών εισαγωγής (δείκτης διαβρωσιμότη-

τας, τοπογραφικές κλίσεις). Στην αρχική φάση το σύστημα εκπαιδεύτηκε (training) για να προσαρμοστεί στα δεδομένα εισόδου (learning) και στη συνέχεια άρχισε η ταξινόμηση σε περιβάλλον κανάβου. Η έξοδος του μοντέλου αποδίδει σε κάθε στοιχείο του κανάβου μια διαβάθμιση για τον βαθμό επικινδυνότητας στη διάβρωση. Τα λογισμικά που δημιουργήθηκαν για την υλοποίηση των παραπάνω φάσεων είναι το GIS

MapInfo Professional και το Mat-Lab για την ανάπτυξη των κανόνων ασαφούς λογικής και των μοντέλων νευρωνικών δικτύων.

Για τη δημιουργία του Νευρωνικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η αρχιτεκτονική του συναγωνιστικού δικτύου (competitive network) (Rumelhart & Zipser, 1985, Bartkowiak, et al, 2002), που στηρίζεται στην απόσταση (negative distance) μεταξύ των δεδομένων εισόδου και των βαρών (weights). Έτσι ο επικρατέστερος νεύρωνας είναι αυτός που έχει την ελάχιστη απόσταση. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ δεδομένων και βαρών του δικτύου και κατά αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η ταξινόμηση των δεδομένων εισόδου.

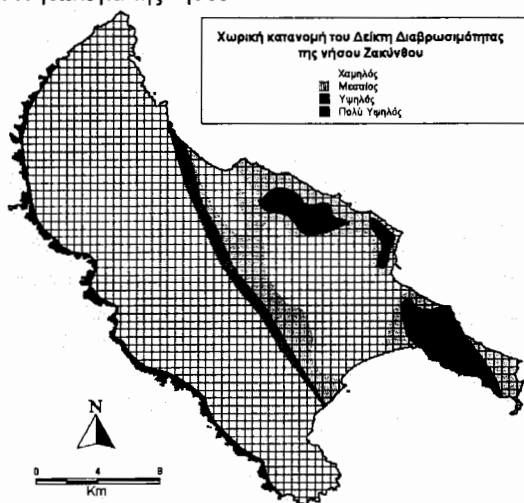
3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΖΑΚΥΝΘΟΥ

Για τη νήσο Ζάκυνθο υπάρχει ήδη μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων που αφορά στη γεωλογία (Ι.Γ.Μ.Ε., 1980), στη λιθολογία, την γεωμορφολογία, τη βλάστηση, τις χρήσεις γης και την τοπογραφία (Goumelos, et al, 1997, Goumelos, et al, 1999.). Η γεωλογία της νήσου

χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη δύο ισοπικών ζωνών την προ-απούλια και την Ιόνια (Aubouin & Dercourt, 1962, ΙΓΜΕ, 1980, Underhill, 1989) και από μεταλλικά ιζήματα Πλειοκαινικής και Τεταρτογενούς ηλικίας πολύ ευπαθή στην διάβρωση (Dermitzakis, et al, 1977, Dermitzakis, 1977, Livaditis, 1987).

Στους γεωλογικούς σχηματισμούς της Ζακύνθου για την ευπάθεια στη διάβρωση με βάση την λιθολογία δώσαμε την ακόλουθη διαβάθμιση: ασβεστόλιθοι: χαμηλή ευπάθεια, φλύσχης μέση, Νεογενείς αποθέσεις και Τεταρτογενή ιζήματα υψηλή ευπάθεια στην τρωτότητα. Αντίστοιχες διαβαθμίσεις έγιναν για όλες τις μεταβλητές εισόδου. Έτσι ο δείκτης βλάστησης διαβαθμίζεται σε υψηλό, μέσο και χαμηλό. Υψηλός δείκτης βλάστησης σημαίνει πυκνή βλάστηση και επομένως μεγαλύτερο πάχος προστατευτικού εδαφικού καλύμματος.

Έτσι με την υλοποίηση της παραπάνω μεθοδολογίας πήραμε ως τελική μεταβλητή την χωρική κατανομή της επικινδυνότητας για τη διάβρωση στη νήσο Ζακύνθου όπως αυτή φαίνεται στο θεματικό χάρτη (Χάρτης 5).



Χάρτης 5. Χωρική κατανομή του Δείκτη Διαβρωσιμότητας στην Ζάκυνθο.

Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Χαμηλός			ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Υψηλός		
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Χαμηλός			ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Μέσος		
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Μέσος - Χαμηλός			ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Μέσος		
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Χαμηλός			ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Υψηλός		
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Χαμηλός			ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Μέσος		
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Μέσος			ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Μέσος		
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Μέσος	&	η Υδρογραφική Πυκνότητα	είναι	Μέση - Χαμηλή	ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Χαμηλός
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Μέσος	&	η Υδρογραφική Πυκνότητα	είναι	Μέση - Χαμηλή	ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Μέσος
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Χαμηλός			ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Μέσος		
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Υψηλός			ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Χαμηλός		

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι διαβρωτικές διαδικασίες στο νησί της Ζακύνθου μελετήθηκαν με μια ευέλικτη μέθοδο χρησιμοποιώντας τη θεωρία ασαφών συνόλων και νευρωνικών δικτύων. Είναι σαφές από τον τελικό χάρτη επικινδυνότητας ως προς την διάβρωση ότι: α) η μέγιστη ζώνη επικινδυνότητας εντοπίζεται στα ανατολικά τμήματα της νήσου όπου και κυριαρχούν νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις β) μια επίσης ζώνη μέγιστης επικινδυνότητας υπάρχει στο παράκτιο δυτικό τμήμα της που κυριαρχείται από πολύ υψηλές τοπογραφικές κλίσεις γ) μια ζώνη υψηλής επικινδυνότητας οριοθετείται στα όρια της ζώνης

πολύ υψηλής επικινδυνότητας στο δυτικό τμήμα της νήσου, δ) μια ζώνη χαμηλής και μέσης επικινδυνότητας εμφανίζεται σε όλο το δυτικό τμήμα της νήσου (εκτός του παράκτιου) πώς δομείται από αλπικούς κυρίως ασβεστολίθους και στην κεντρική περιοχή που επικρατούν πολύ χαμηλές κλίσεις.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Aubouin, J., Dercourt, J., 1962, *Zone preapulienne, zone ionienne et zone du Gavrovo en Peloponnesse occidentale*, Bul. Soc. Geol. France, 4, No 6, 785-794pp., Paris.
- Barczy, A., Penksza, K., Czinkota, I., Nerath, M., 1996, *A study of connections between certain phytocological indicators and soil character-*

- istics in the case of the Tihany Peninsula, Acta Botanica Hungarica*, Vol. 40 (1-4), 1-14pp.
- Bartkowiak, A., Gournellos, Th., Vassilopoulos, A., Evelpidou, N., 2002, Self-organizing maps – a helpful tool in clustering areas with similar factors of erosion risk, Proceedings of the 6th Pan-Hellenic geographical congress of the Hellenic Geographical Society, October 3-6, Vol. II, 87-94pp.
- Centeri, Cs., 2002a, *Importance of local soil erodibility measurements in soil loss prediction*, *Acta Agronomica Hungarica*, 50(1), 43-51pp.
- Centeri, Cs., 2002b, *In situ measurements of soil erodibility factor and its effects on soil protection crop rotation, Novenytermeles*, Vol. 51(2), 211-222pp.
- Centeri, Cs., 2002c, *The role of vegetation cover in soil erosion on the Tihany Peninsula*, *Acta Botanica Hungarica*, Vol. 44(3-4), 285-295pp.
- Dermitzakis, M. D., Papanikolaou, D., Karotsieris, Z., 1977, *The marine Quaternary deposits of SE Zakynthos island and their paleogeographic implications*, VI Inter. Congress of Aegean Region, Athens.
- Dermitzakis, M., 1977, Stratigraphy and sedimentary history of the Miocene of Zakynthos, *Annales Geologiques des Pays Helliniques*, V. 29, 47-186pp., Athenes.
- Gournellos, Th., Evelpidou, N., Vassilopoulos, A., 1999, *A morphometric analysis using GIS to deduce geomorphological process - natural hazards, at Zakynthos islands*, Proceedings of the 6th international conference on Environmental Science and Technology, Samos, Vol. II, 371-378pp.
- Gournellos, Th., Evelpidou, N., Vassilopoulos, A., 2004, *Developing an Erosion risk map using soft computing methods (case study at Sifnos island)*, *Natural Hazards*, Vol.31, No 1, January 2004. Kluwer Academic Publishers, 39-61pp.
- Gournellos, Th., Vassilopoulos, A., Evelpidou, N., 1997, *Development of a GIS-based methodology to analyze Geological, Geomorphological and Environmental data of the island of Zakynthos*, Proceedings of the International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Athens, 1245-1251pp.
- Gournellos, Th., Vassilopoulos, A., Evelpidou, N., 2002, *Erosional processes in the north-eastern part of Attika (Oropos coastal zone) using web-GIS and soft computing technology*, Proceedings of the 3rd International conference on Risk Analysis, 19-21 June, Sintra, Portugal, WITpress, Vol. III, 416-424pp.
- Hecht-Nielsen, R., 1990, *Neurocomputing*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- Klir, G. J. and Yuan, B., 1995, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic theory and applications*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Livaditis, G., 1987, *Coastal Morphology of Zakynthos island*, 1st Congress of Geographical Society of Greece, 195-203pp, Athens.
- Underhill, J., 1989, *Late Cenozoic deformation of the Hellenide foreland, western Greece*, *Geol. Soc. of An. Bulletin*, V. 101, 613-634pp.
- Γκουρνέλος, Θ., Βασιλόπουλος, Α., Ευελπίδου, Ν., 1999, *Μελέτη της διαβρωσιμότητας του αναγλύφου σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. με τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής*, Πρακτικά 1ου Πανελληνίου συνεδρίου: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών- Δυνατότητες και Εφαρμογές, Προοπτικές και Προκλήσεις, CD-Rom.
- Ι.Γ.Μ.Ε., 1980, *Γεωλογικός χάρτης νήσου Ζακύνθου*, Αθήνα.