



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ GIS ΣΤΗΝ
ΥΔΡΟΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΗΣ
ΕΛΛΑΔΑΣ**

ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΒΕΡΓΑΔΗ ΑΘΗΝΑ, ΚΩΣΤΑΒΕΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ: ΜΟΥΡΑΤΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2018

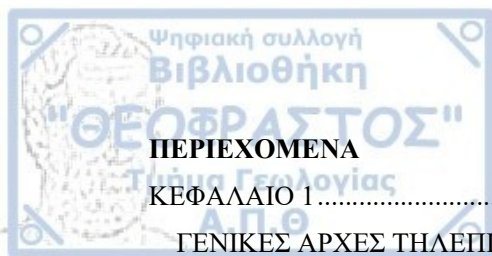


ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία με τίτλο **“Η συμβολή της τηλεπισκόπησης και των GIS στην υδρομορφολογική μελέτη των ποταμών της Ελλάδας”** πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής μας εργασίας του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή Μουρατίδη Αντώνιο για τη στήριξη, την υπομονή και την πολύτιμη βοήθεια του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας. Επίσης, θέλουμε ακόμη να ευχαριστήσουμε την φίλη μας Χαριτίνη Νικολαΐδου, η συμβολή της οποίας στην πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας, ήταν ανεκτίμητη.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας και τους φίλους μας Χαριτίνη, Ελίνα, Ελένη, Διονύση, Δάφνη, Αγγελική, Γιώργο, Γιάννη, Χρύσα, Κορίνα, Αντώνη, που ήταν αρωγοί, ο καθένας με τον δικό του τρόπο, στην προσπάθεια μας για την εκπόνηση της εργασίας αυτής, αλλά και στην ολοκλήρωση των σπουδών μας γενικότερα.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	3
ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ- GIS-ΥΔΡΟΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ.....	3
1.1 Τηλεπισκόπηση	3
1.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών(GIS).....	6
1.3 Υδρομορφολογία	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	8
ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ	
ΥΔΡΟΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ.....	8
2.1 Σκοπός	8
2.2 Χρήση της τηλεπισκόπησης	9
2.3 Διαθεσιμότητα δεδομένων σε Ευρωπαϊκό επίπεδο και σε επίπεδο Ελλάδας.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	16
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ	16
3.1 Γεωλογία.....	19
3.2 Land Cover– Κάλυψη Γης.....	20
3.3 Έδαφος	22
3.4 Μοντέλα Ψηφιακής Ανύψωσης (DEMs).....	29
WORLD DEM	32
3.5 Lidar	33
3.6 Υψηλής και πολύ υψηλής ανάλυσης πολυφασματικές εικόνες.....	34
3.7 Υπέρυθρες & Θερμικές εικόνες	38
3.8 Υπερφασματικές εικόνες	44
3.9 Εικόνες RADAR	45
3.10 Τοπογραφικοί χάρτες.....	47
3.11 Τοπογραφικά διαγράμματα	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	48
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ-ΠΙΝΑΚΑ-ΧΑΡΤΩΝ.....	48
4.1 Εισαγωγή.....	48
4.2 Μεθοδολογία και δημιουργία βάσης δεδομένων και χαρτών.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	51
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ArcGIS	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	60
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	60
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62

1.1 Τηλεπισκόπηση

Η παρατήρηση της Γης από το διάστημα και η μελέτη διάφορων φαινομένων από αυτή τη σκοπιά είναι ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία για την μελέτη του φυσικού περιβάλλοντος, την δημιουργία σφαιρικής εικόνας σε παγκόσμια κλίμακα όσον αφορά τις κλιματικές, γεωλογικές και φυσικές αλλαγές γενικότερα, αλλά και το σχεδιασμό καλύτερων πλάνων για οποιαδήποτε παραγωγική δραστηριότητα σε μια περιοχή. Διάφορες εταιρείες, οργανώσεις και οι περισσότερες κυβερνήσεις στρέφουν το ενδιαφέρον τους στις δυνατότητες της Τηλεπισκόπησης και οργανώνουν βάσεις δεδομένων, ώστε να κατανοηθούν όλες οι χρήσεις και δυνατότητες της όσο το δυνατόν καλύτερα.

Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) γενικά καλείται η τεχνική συλλογής δεδομένων για τον προσδιορισμό της φύσης και των ιδιοτήτων ενός ή περισσότερων αντικειμένων μιας περιοχής, από απόσταση (από το έδαφος, τον αέρα ή από το διάστημα), χωρίς τη φυσική επαφή με τα αντικείμενα αυτά. Αυτό επιτυγχάνεται: α) με τη βοήθεια ειδικών συστημάτων καταγραφής των δεδομένων (συνήθως εικόνων) και β) με τη βοήθεια ειδικών συστημάτων οπτικής και ψηφιακής επεξεργασίας τους (Αστάρας, 2011).

Η εξέλιξη της τηλεπισκόπησης δύναται να χωριστεί στην προ-και μετά- το 1960 περίοδο, οπότε και άρχισε ο ανταγωνισμός στις διαστημικές και δορυφορικές έρευνες μεταξύ των δύο υπερδυνάμεων (Colwell 1984, Gupta 2003). Οι ΗΠΑ το 1972 εκτόξευσαν τον δορυφόρο Landsat-1 στο διάστημα. Έπειτα ακολούθησαν και άλλες χώρες όπως η Ινδία, η Ρωσία κάποια χρόνια αργότερα, και η Ιαπωνία.

Αναλυτικότερα, ως Τηλεπισκόπηση μπορεί να θεωρηθεί η συλλογή της ακτινοβολίας, που αντανακλάται άμεσα από τις επιφάνειες, μέσω ειδικών συστημάτων καταγραφής, και η μετέπειτα ανάλυση αυτών των εικόνων για την εξαγωγή συμπερασμάτων/αποτελεσμάτων. Χρησιμοποιούνται για την συλλογή αυτών των δεδομένων δορυφόροι, αεροφωτογραφίες, ακόμα και επίγειες λήψεις (π.χ. με σαρωτές τεχνολογίας λέιζερ/laser scanners).

Οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται ευρέως ως η πιο διαδεδομένη μορφή συλλογής της εν λόγω πληροφορίας. Με τα ειδικά συστήματα καταγραφής (αισθητήρες) που διαθέτουν συλλέγουν ακτινοβολία κυρίως στο ορατό, υπέρυθρο και μικροκυματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Με την γενικότερη εξέλιξη της τεχνολογίας οι δορυφόροι εμπλουτίζουν τις δυνατότητες τους, όσον αφορά στην καταγραφή και ανάλυση που δύναται να εκτελέσουν. Νέες τεχνολογίες, όπως ειδικοί χαρτογράφοι, εικονοληπτικά φασματόμετρα, συσκευές ραντάρ κτλ. έχουν οδηγήσει στην βελτιωμένη συλλογή πληροφορίας και συνακόλουθα σε καλύτερα τελικά αποτελέσματα.

Όλα τα αντικείμενα πάνω στη Γή απορροφούν και με τη σειρά τους εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια πίσω στο περιβάλλον. Αυτό γίνεται με τη μορφή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ή ακτινοβολίας. Αυτή η ενέργεια έχει ένα χαρακτηριστικό που την καθορίζει, που κατά κάποιο τρόπο είναι η ταυτότητας της. Αυτό είναι το μήκος κύματος. Η ανακλώμενη αυτή ενέργεια που αναφέρεται και ως φασματική ταυτότητα ή φασματική απόκριση καταγράφεται από διάφορους δέκτες των δορυφόρων. Βάσει της ταυτότητας του κάθε αντικειμένου θα διευκολυνθεί η επιλογή των δεκτών, που θα έχουν περισσότερες πιθανότητες στον εντοπισμό των αντικειμένων που μας ενδιαφέρουν.

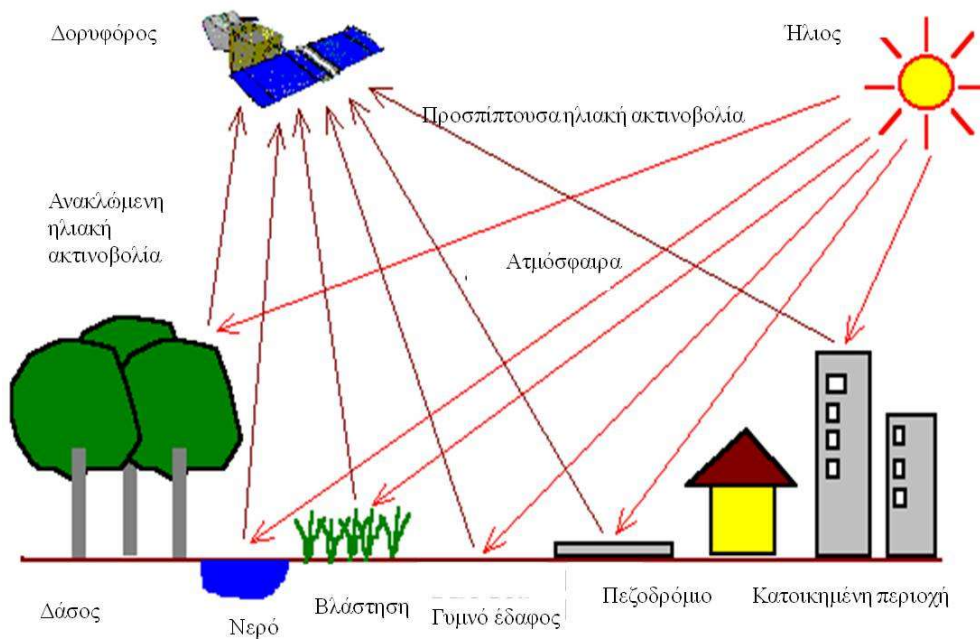
Βάσει των διεργασιών ανίχνευσης και του τρόπου λειτουργίας τους, οι αισθητήρες μπορούν να χωριστούν σε ενεργητικούς ή παθητικούς.

1. Οι παθητικοί αισθητήρες (δέκτες) δεν διαθέτουν την δική τους πηγή ακτινοβολίας, π.χ. η φωτογραφική μηχανή καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία κάποιου αντικειμένου σε μια φωτοευαίσθητη επιφάνεια και έπειτα πάνω σε φιλμ.
2. Οι ενεργητικοί αισθητήρες (πομποδέκτες) διαθέτουν μια τεχνητή πηγή ακτινοβολίας, την οποία εκπέμπουν, όπως π.χ. συμβαίνει στην περίπτωση των συστημάτων RADAR και LIDAR.

Οι πηγές ακτινοβολίας μπορεί να είναι φυσικές αλλά και τεχνητές. Σημαντικές πηγές είναι η φωτεινή ενέργεια του Ήλιου και η εκπεμπόμενη από τη Γή ενέργεια, η οποία προέρχεται είτε από την ενέργεια του Ήλιου που απορροφήθηκε και επιστρέφει στο περιβάλλον, είτε από την γεωθερμική ενέργεια. Υπάρχει μια φυσική πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (όπως είναι ο Ήλιος) που εκπέμπει στη Γη, ενώ πρώτα έχει επηρεαστεί από την ατμόσφαιρα, κάτι που περιορίζει το φασματικό εύρος

της ακτινοβολίας που θα φτάσει στη Γή. Ένα μέρος ανακλάται, ένα άλλο μέρος διαχέεται στο περιβάλλον, ένα άλλο μεταδίδεται και ένα άλλο απορροφάται και αποδίδεται και πάλι στο περιβάλλον με τη μορφή μεγαλύτερου μήκους κύματος ακτινοβολίας.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από κάποιο αντικείμενο καταγράφεται ως πληροφορία για το αντικείμενο (Σχήμα 1).



Εικόνα 1: Παράδειγμα παθητικού αισθητήρα που λαμβάνει την εκπεμπόμενη και ανακλώμενη ακτινοβολία.

Στις Γεωεπιστήμες και πιο ειδικά στην Υδρομορφολογία, οι πιο σημαντικές και χρήσιμες εικόνες είναι: οι εικόνες ραντάρ πλευρικής κάλυψης (SLAR/side looking airborne radar), οι πολυφασματικές εικόνες, οι εικόνες σάρωσης στο υπέρυθρο και κοντινό υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, καθώς και τα θερμογραφήματα, τα οποία είναι αποτέλεσμα του σαρώματος μεσαίου και μακρινού υπέρυθρου τμήματος. Ο συνδυασμός δε πολλών δεκτών και επομένως εικόνων που σχηματίζονται σε διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μπορεί να δώσει καλύτερα αποτελέσματα, τα οποία δεν θα μπορούσαν να ληφθούν με τη μελέτη μόνο ενός τύπου εικόνας.

1.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών(GIS)

Η χαρτογραφία είναι η επιστήμη η οποία ασχολείται με την επεξεργασία και τη γραφική απόδοση στοιχείων, που αφορούν στα φυσικά φαινόμενα, όπως π.χ. η επιφάνεια και το υπέδαφος της Γης, στα μετεωρολογικά φαινόμενα κλπ, αλλά και στα ανθρωπογενή (κοινωνικό-οικονομικά) φαινόμενα, όπως π.χ. οι απογραφές πληθυσμού, η εργασία, η αναψυχή, οι χρήσεις Γης κ.λπ. Επίσης συνδέεται στενά με τις συγγενείς επιστήμες της Γεωδαισίας, της Τοπογραφίας, της Φωτογραμμετρίας και της Τηλεπισκόπησης, των οποίων το κύριο αντικείμενο είναι η συλλογή δεδομένων (Αστάρας et al, 2011).

Ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information System/GIS), είναι ένα «δυναμικό εργαλείο» συλλογής, αποθήκευσης, ανάκτησης, μετασχηματισμού, απεικόνισης και εν γένει διαχείρισης χωρικών δεδομένων, σχετικών με φαινόμενα που απαντούν/εξελίσσονται στον πραγματικό κόσμο (Goodchild 1985, Burrough 1992, Burrough and McDonnell 2000).

Όπως γίνεται κατανοητό από τον παραπάνω ορισμό, πρόκειται για ένα ευρύ επιστημονικό πεδίο-εργαλείο. Αναφέρεται σε όλα εκείνα τα συστήματα που ασχολούνται με τη λήψη αποφάσεων σε θέματα με γεωγραφική διάσταση, με την χρήση H/Y. Παλαιότερα η χρήση H/Y δεν ήταν τόσο διαδεδομένη στα GIS. Στις μέρες μας GIS και H/Y θεωρείται συνυφασμένη έννοια και δεν υπάρχει διαχωρισμός.

Η λειτουργία των GIS στηρίζεται σε μια βάση δεδομένων (database), η οποία αποτελείται από μια σειρά πληροφοριακών επιπέδων που αφορούν την ίδια γεωγραφική θέση/περιοχή. Η βάση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορους χρήστες για την κάλυψη πληροφοριακών αναγκών. Το καθένα από τα επίπεδα αυτά, περιλαμβάνει είτε μη επεξεργασμένα δεδομένα, όπως τοπογραφικά, δορυφορικά κ.λπ., είτε θεματικές πληροφορίες όπως είδος βλάστησης, τύπος εδαφών, κλίση και προσανατολισμός του αναγλύφου, αποτελέσματα ταξινόμησης δορυφορικών δεδομένων κ.λπ. Όλα όμως τα παραπάνω, είναι αυστηρά προσανατολισμένα σε ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα, ώστε να καθίσταται δυνατός ο συνδυασμός ορισμένων από αυτά, ανάλογα με τις επιθυμίες του χρήστη.

Μέσω της διαδικασίας της ψηφιοποίησης εισάγονται τα δεδομένα στο λογισμικό. Στη συνέχεια γίνεται η κατάλληλη επεξεργασία, η γεωαναφορά τους και όλες οι

διορθώσεις που απαιτούνται για να χρησιμοποιηθούν από τα GIS. Τα δεδομένα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

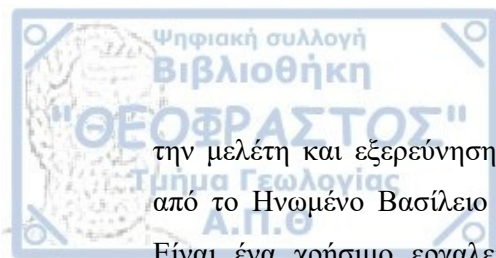
1. Σε χωρικά δεδομένα, π.χ. θέσης
2. Σε μη χωρικά ή ποιοτικά ή θεματικά ή περιγραφικά δεδομένα, όπως τιμές και χαρακτηριστικά

Το GIS συνδυάζει χωρικά και περιγραφικά δεδομένα. Οι χωρικές πληροφορίες εμφανίζονται ως γραμμές, πολύγωνα ή σημεία. Οι περιγραφικές πληροφορίες οργανώνονται στον πίνακα ιδιοτήτων (attribute table) του GIS. Για παράδειγμα, κατά την δημιουργία ενός γεωλογικού χάρτη, τα πετρώματα είναι σε μορφή πολυγώνου και τα ποτάμια σε γραμμές. Οι απαραίτητες πληροφορίες για αυτά τα δεδομένα, όπως το είδος των πετρωμάτων, η ηλικία τους, η έκταση του ποταμού κ.α., βρίσκονται στον πίνακα ιδιοτήτων.

Γενικώς, ο σκοπός των GIS είναι να συνδυαστούν πληροφορίες που μέχρι πριν ήταν χωρικά ασυσχέτιστες και να εξαχθούν νέα αποτελέσματα και καινούργια πληροφορία για διάφορα αντικείμενα μελέτης. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και του Η/Υ ειδικότερα, έκανε δυνατή την ταχύτατη ανάλυση και επεξεργασία αυτών των δεδομένων. Εν έτη 2018 μπορεί να επιτευχθεί η επεξεργασία και η όλη εργασία σε κάποιο λογισμικό, σε ταχύτητες που μέχρι πριν λίγα χρόνια ήταν απαγορευτικές.

1.3 Υδρομορφολογία

Υδρομορφολογία είναι υποπεδίο της υδρολογίας που ασχολείται με την δομή και την εξέλιξη των υδάτινων πόρων της Γης. Ασχολείται με την προέλευση και την δυναμική μορφολογία των υδάτινων πόρων. Όπως η γεωμορφολογία ασχολείται με την δυναμική μορφολογία της Γης, η υδρομορφολογία ασχολείται με τους υδάτινους πόρους που επηρεάζονται τόσο από φυσικούς όσο και από ανθρωπογενείς παράγοντες. Τα ποτάμια συστήματα αποτελούν μέρος των υδρολογικών συστημάτων έτσι η υδρομορφολογία περιλαμβάνει το πεδίο της γεωμορφολογίας. Η υδρομορφολογία δίνει έμφαση στην ανθρώπινη επιρροή στην υδρόσφαιρα, έτσι σχετίζεται με διάφορες επιστήμες όπως : γεωγραφία, γεωλογία, πολεοδομικό σχεδιασμό, περιβαλλοντική οικονομία. Λόγω της άμεσης επιρροής του νερού στην ανθρώπινη ζωή έχουν εξελιχθεί και αναβαθμιστεί οι μελέτες σχετικά με την υδρομορφολογία και το περιβάλλον. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται ονομάζεται River Habitat Survey (RHS) καθορίζει τους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για



την μελέτη και εξερεύνηση των ποτάμιων συστημάτων. Η μέθοδος αυτή ξεκίνησε από το Ηνωμένο Βασίλειο και πλέον έχει διαδοθεί σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες. Είναι ένα χρήσιμο εργαλείο καθώς ονοματίζει τις παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την προστασία των υδάτινων συστημάτων σε όλες τις χώρες, αυτές είναι channel, bank, floodplain, flow-related (κανάλι ποταμού, όχθη ποταμού, κοίτη πλημμύρας, κατάσταση ροής) καθώς και ένα σύστημα βαθμονόμησης που αξιολογεί την υδρομορφολογική κατάσταση. Θα ακολουθήσει αναλυτικότερη περιγραφή σε επόμενο κεφάλαιο και θα οριστεί καλύτερα η ανάγκη σύνδεσης μεταξύ τηλεπισκόπησης, GIS και τεχνολογίας όσον αφορά τη μελέτη και τη παρατήρηση της υδρομορφολογίας της Ευρώπης και ειδικότερα της Ελλάδος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΥΔΡΟΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ

2.1 Σκοπός

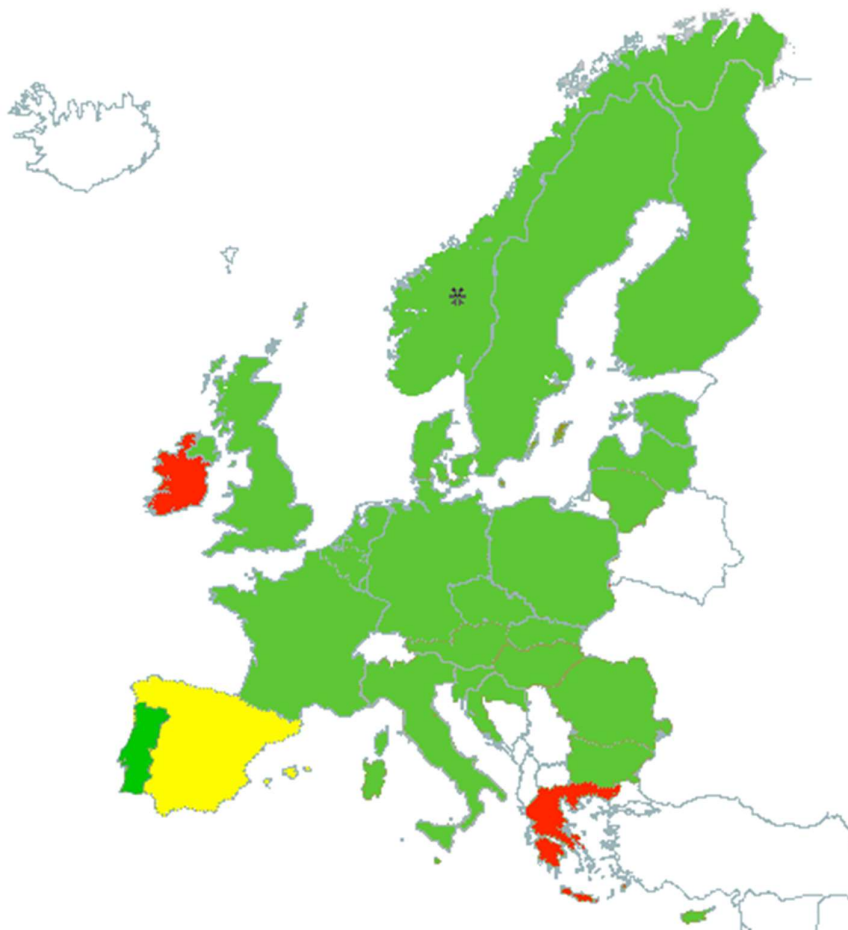
Σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση των διάφορων μέσων Τηλεπισκόπησης που υπάρχουν και πως μπορούν να συμβάλουν στην μελέτη της υδρομορφολογίας της Ελλάδος, με την ταυτόχρονη κατηγοριοποίηση τους σε ομάδες. Όλες οι πηγές υπάρχουν στον Πίνακα (1-4), με λεπτομερή ανάλυση της κάθε κατηγορίας, αλλά και με ανάλυση της αναγκαιότητας, της διαθεσιμότητας, αλλά και της χρησιμότητας του κάθε δεδομένου που χρησιμοποιήθηκε. Η καταγραφή των δεδομένων, η ανάγκη συλλογής από διάφορες πηγές, και η διαθεσιμότητα των δεδομένων ήταν από τα πρώτα βήματα έρευνας για τη συγγραφή αυτής της εργασίας. Όλα αυτά με τελικό στόχο την δημιουργία χωρικών δεδομένων, από δορυφορικά και λοιπά δεδομένα, και της απόδοσής τους σε περιβάλλον επεξεργασίας γεωγραφικών συστημάτων GIS.

Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν χάρτες διάβρωσης από διάφορους παράγοντες σε συνδυασμό με την υδρομορφολογία, την τοπογραφία, τις καλύψεις Γης, κ.λπ. Από τον κάθε αντιπροσωπευτικό χάρτη προέκυψαν κάποια αποτελέσματα που αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο. Κύριο σημείο ενδιαφέροντος ήταν τα ποτάμια της Ελλάδος, τα χαρακτηριστικά τους και πως συμβάλλουν στο καθεστώς διάβρωσης της Ελλάδας. Επίσης το πως επηρεάζουν τη διάβρωση, ταυτόχρονα και με άλλα φαινόμενα.

2.2 Χρήση της τηλεπισκόπησης

Οι γεωμορφολογικές έρευνες των ποταμών έχουν γίνει όλο και περισσότερο δημοφιλείς την τελευταία δεκαετία ως εργαλείο υποστήριξη και διαχείρισης τους. Έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση και την μείωση του κινδύνου πλημμύρας, το σχεδιασμό έργων βιώσιμης αποκατάστασης και αναμόρφωσης και στην πρόταση αποτελεσματικών μέτρων για να προστατευτεί και να αυξηθεί η βιοποικιλότητα των οικοσυστημάτων, των γλυκών υδάτων. (Brierley and Fryirs 2005, Sear et al, 2009, Davies et al. 2010). Ωστόσο, η ανάγκη για προσεγγίσεις και έρευνα στο πεδίο για την διεξαγωγή συμπερασμάτων, περιορίζει την εκτεταμένη εφαρμογή τους στην κλίμακα που απαιτείται, ώστε να τηρηθούν οι ισχύουσες κανονιστικές υποχρεώσεις καθολικά (Newson και Large 2006).

Η υδρομορφολογία απέκτησε νέο ενδιαφέρον όσον αφορά την Ευρώπη και υπέστη μια αλλαγή ονόματος, ακολουθώντας την Οδηγία-πλαίσιο για τα νερά (ν.2000/60/EK) του (Water Framework Directive ,WFD) (EC 2000), το οποίο απαιτεί την καθολική αξιολόγηση των ποταμών της Ευρώπης. Καθώς θεωρείται σημαντικό στοιχείο για την αξιολόγηση της βιολογικής ποιότητας, η υδρομορφολογία ορίζεται με τη χρήση διάφορων υδρολογικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών. Αυτά τα χαρακτηριστικά αποτελούν καθοριστικό ρόλο στην οριοθέτηση των ποταμών και τον καθορισμό των τύπων τους.



Εικόνα 2: Εφαρμογή της οδηγίας WFD στα κράτη μέλη της Ευρώπης. (Πράσινο – υιοθετήθηκαν σχέδια διαχείρισης όλων των δευτέρων λεκανών απορροής. Κίτρινο – μερική εφαρμογή των σχεδίων διαχείρισης. Κόκκινο – Καμία εφαρμογή.)

Στο παρακάτω link είναι διαθέσιμος ο χάρτης για να δει κάποιος περισσότερες πληροφορίες: http://ec.europa.eu/environment/water/participation/map_mc/map.htm

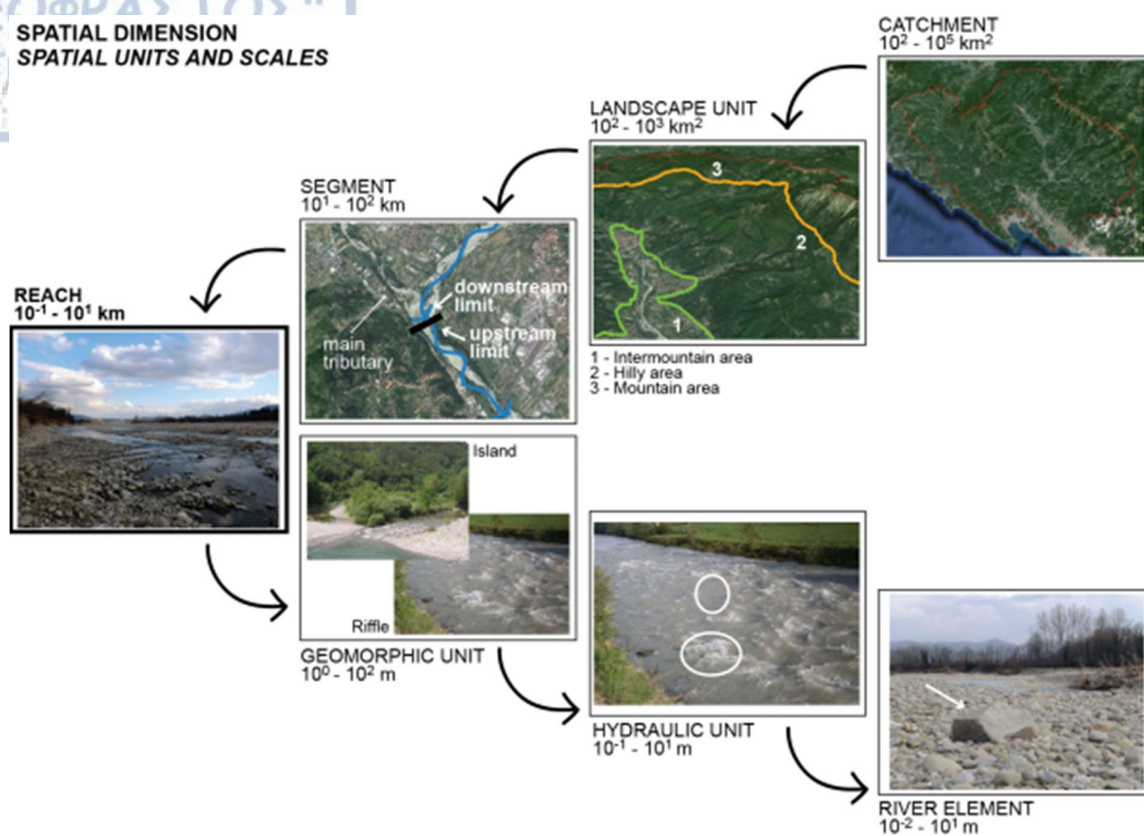
Η ομάδα ECOSTAT της Κοινής Στρατηγικής Εφαρμογής (CIS) με βάσει την Οδηγία-πλαίσιο για τα νερά (WFD) ανέλυσε και συγκέντρωσε τους τύπους των ποταμών όλων των κρατών μελών της Ευρώπης, και τα χώρισε σε μακρό-κατηγορίες, προκειμένου να διευκολυνθεί η συγκρισιμότητα τους όσον αφορά την οικολογική κατάσταση. Προς το παρόν έχουν καθοριστεί 15 τύποι ποταμών που βασίζονται στο υψόμετρο, την γεωγραφία και του γεωλογικού καθεστώτος της λεκάνης απορροής του ποταμού. Αυτή η ενέργεια δημιούργησε μια απλή αλλά υψηλού επιπέδου ταξινόμηση. Βέβαια, σε αυτή πρέπει να ενσωματωθούν και λεπτομερείς ταξινομήσεις και εκτιμήσεις που εκπονήθηκαν από το κάθε κράτος μέλος. Ωστόσο, πολλά κράτη μέλη δεν έχουν, προς το παρόν, ταξινομήσει και μελετήσει τα ποτάμια της χώρας

τους για να διαθέσουν σε εθνικό επίπεδο αυτές τις πληροφορίες. Συνεπώς, η ανάπτυξη εντατικών και συνεχών μεθόδων χαρακτηρισμού και παρακολούθησης της κάθε μεταβολής της υδρομορφολογίας, της κάθε χώρας, σε πανευρωπαϊκή κλίμακα είναι επείγουσα απαίτηση της οδηγίας WFD, καθώς και ένα δύσκολο ερευνητικό θέμα (Newson και Large 2006).

Ακόμα και σήμερα, η παρατήρηση της υδρομορφολογίας και των ποταμών ειδικότερα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις επί τόπου έρευνες στο πεδίο και την εξοικείωση του κάθε ερευνητή με τις οδηγίες του WFD και τις γνώσεις του στο συγκεκριμένο πεδίο έρευνας. Μ' αυτόν τον τρόπο τα αποτελέσματα μπορούν να διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με τον ερευνητή που διεξήγαγε την έρευνα. Λόγω της αναγκαιότητας επίσκεψης του πεδίου το κόστος ανεβαίνει πάρα πολύ για να πραγματοποιηθούν τέτοιες έρευνες. Αυτό έχει ως συνέπεια τον μικρό αριθμό ερευνών του κάθε κράτους και τον περιορισμό της γνώσης για την υδρομορφολογία σε μικρή κλίμακα. Γι' αυτούς τους λόγους μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε, το REFORM Project, δημιούργησε το Hierarchical Framework (RHF), το οποίο περιγράφει μια συνολική και ευέλικτη μεθοδολογία αξιολόγησης που ακολουθεί και εμπλουτίζει τις οδηγίες του WFD για τις υδρομορφολογικές έρευνες (CEN 2004), εξετάζοντας τις μορφές υδρομορφολογικών διεργασιών και το πως αλληλεπιδρούν σε μια περιοχή έρευνας από τη λεκάνη απορροής μέχρι την υπό-περιοχή (π.χ. γεωμορφολογικές και υδραυλικές μονάδες) (Gurnell et al. 2015).

Το RHF ανέπτυξε μια λίστα με δείκτες της υδρομορφολογικής κατάστασης που αντιπροσωπεύουν βασικές διαδικασίες, που λειτουργούν σε κάθε χωρική κλίμακα. Το πλαίσιο είναι συνεπές με τη προηγούμενες έρευνες σχετικά με την λειτουργία των ποτάμιων συστημάτων (e.g. Frissell et al. 1986; Brierley et al. 2013) αλλά επικεντρώνεται στο πως όλες οι υδρομορφολογικές διεργασίες ρέουν προς τα κάτω στις χωρικές κλίμακες για να επηρεάσουν τη μορφή και τη συμπεριφορά των καναλιών. Οι δείκτες αυτοί είναι ουσιαστικά οι κατηγορίες του Πίνακα Ιδιοτήτων (1-4) που δημιουργήθηκε. Για παράδειγμα, σε επίπεδο λεκάνης απορροής υπάρχουν πανευρωπαϊκές βάσεις διαθέσιμες με κοινές μορφές δεδομένων για ορισμένους δείκτες, ιδίως εκείνων που σχετίζονται με τη γεωλογία και την κάλυψη της γης. Αυτά τα σύνολα δεδομένων είναι αποτέλεσμα μιας μεγάλης διαρκούς παρακολούθησης και επεξεργασίας δεδομένων σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, και συνεπώς παρέχουν μια

συνεπή και αξιόπιστη πηγή δεδομένων για τα περισσότερα κράτη μέλη της Ευρώπης. Επίσης, η μορφολογία του τοπίου είναι σημαντική για την κατανόηση της υδρολογικής ανταπόκρισης μιας λεκάνης απορροής και επίσης την προέλευση των ιζημάτων και τα χαρακτηριστικά απορροής. Η τοπογραφία, η γεωλογία και η κάλυψη της Γης είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για να οριοθετηθούν οι περιοχές και να αντληθούν δείκτες που σχετίζονται με τα παράγωγα απορροής, όπως και με τη δημιουργία λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων ιζημάτων. Στις κλίμακες πλάτους και τμημάτων των ποταμιών, τα δεδομένα τηλεπισκόπησης πολύ πρόσφατα άρχισαν να χρησιμοποιούνται για υδρομορφολογικό χαρακτηρισμό και εφαρμογές διαχείρισης μετά από βελτίωση στην ακρίβεια των τοπογραφικών δεδομένων (e.g. LIDAR). Για παράδειγμα, πρόσφατα χαρακτηρίστηκε το πλάτος της πλημμυρικής περιοχής και γίνεται αξιολόγηση και έλεγχος της δυναμικής του καναλιού σε τοπικό επίπεδο (λεκάνη του Ροδανού, Γαλλία). Αυτό έγινε με χρήση DEM 25 μέτρων και πυροδότησε την αρχή μια συζήτησης σχετικά με το γεωγραφικό μήκος της περιοχής, τα πολυεπίπεδα μοτίβα και τα ποτάμια (Notebaert and Pie'gay 2013). Πρόσφατα αναπτύχθηκαν και μοντέλα αναγνώρισης πλημμυρικών φαινομένων που βασίζονται σε λεπτομερή τοπογραφικά δεδομένα LIDAR (Stout and Belmont 2014). Η ακανθώδης βλάστηση είναι ταυτόχρονα ένας δείκτης ελέγχου σχετικά με την υδρομορφολογική λειτουργία των ποταμών σε τμηματικό (segment) επίπεδο.

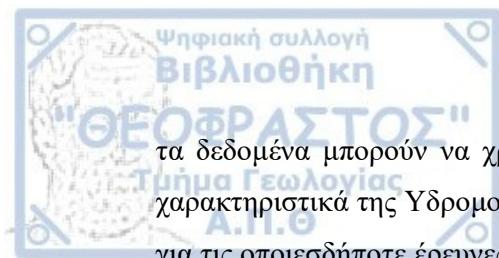


Εικόνα 3: Χωρικές διαστάσεις, χωρικές δομές και κλίμακες ποταμών (Photo credits: Google Earth; University of Florence; F. Comiti (Free University of Bozen))

2.3 Διαθεσιμότητα δεδομένων σε Ευρωπαϊκό επίπεδο και σε επίπεδο Ελλάδας

Παρά την οδηγία της ΕΕ του 2007 που ενθάρρυνε τα κράτη μέλη να δημιουργήσουν μια Κοινή Υποδομή Χωρικών Πληροφοριών στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα (INSPIRE) (EC 2007), είναι δύσκολο να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα διαθεσιμότητα τηλεσκοπικών δεδομένων σε κάθε χώρα μέλος της ΕΕ. Η γεωπύλη INSPIRE, που καθιερώθηκε ως μέσο διάδοσης των πληροφοριών αυτών σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, δεν είναι πλήρης προς το παρόν και οι πληροφορίες είναι συχνά ευκολότερα διαθέσιμες από τις εθνικές γεωπύλες, αν και κάποιες φορές είναι δυσεύρετες και δύσκολες στο χειρισμό για να αντληθούν τα δεδομένα τα οποία χρειάζονται. Ο στόχος είναι να ομαδοποιηθούν δεδομένα όπως πολυφασματικές φωτογραφίες και δεδομένα τοπογραφίας LIDAR και να υπάρχει διαθεσιμότητα για όλες τις χώρες και περιοχές της Ευρώπης. Τα αποτελέσματα των ερευνών που έγιναν πολλές φορές είναι περιορισμένα, εκτός από τις χώρες μέλη που ανταποκρίθηκαν θετικά στο θέμα και έφτιαξαν τα δεδομένα τους σε ανανεωμένες βάσεις δεδομένων διαθέσιμες σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Παρά τη θετική πρόθεση και τη δουλειά που πραγματοποιήθηκε πολλά δεδομένα περιορίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές, κυρίως σε κύριους ποταμούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει ολική εικόνα της Υδρομορφολογίας μια χώρας, παρά μόνο κάποια τμηματικά κομμάτια για τα οποία έχουν αντληθεί αποτελέσματα. Οι περισσότερες χώρες αντί για πολυφασματικές εικόνες και δεδομένα LIDAR προτίμησαν να χρησιμοποιήσουν αεροφωτογραφίες ανάλυσης 0,5m ή καλύτερης για να ανανεώσουν την βάση δεδομένων της χώρας τους. Οι περισσότερες λήψεις αεροφωτογραφιών έγιναν με μοναδικό σκοπό τη δημιουργία υψηλής λεπτομέρειας χαρτών. Για το λόγο αυτό, οι φωτογραφίες δημιουργήθηκαν μόνο στις ορατές μπάντες.

Σε πολλές περιοχές υπάρχει καλό επίπεδο πληροφορίας, άρα υπάρχει ένα καλό υπόβαθρο για να υπάρξει περαιτέρω εξέλιξη πάνω στο θέμα. Για παράδειγμα, όλες οι χώρες θα έπρεπε να μπορούν να λαμβάνουν ταυτόχρονα αεροφωτογραφίες LIDAR και αεροφωτογραφίες. Η έλλειψη αυτής της ταυτόχρονης λήψης περιορίζει σημαντικά την μελέτη της Υδρομορφολογίας και δημιουργούνται προβλήματα σε ποτάμια συστήματα υψηλού δυναμικού, για τα οποία μπορεί να μην ταιριάζει η τοπογραφική πληροφορία με την φασματική εικόνα επειδή δεν έχουν ληφθεί σε ίδιες ημερομηνίες. Κάποιες χώρες που έχουν εφαρμόσει ήδη αυτό το σύστημα λήψης είναι η Κύπρος, η Ρουμανία, η Ισπανία και η Σουηδία. Είναι από τις λίγες χώρες που αυτά



τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξαχθούν συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά της Υδρομορφολογίας και να υπάρξει μια γενική και σταθερή εικόνα για τις οποιεσδήποτε έρευνες που θα γίνουν.

Τα γεωχωρικά-τηλεσκοπικά δεδομένα για την Ελλάδα έχουν δυνατότητες βελτίωσης. Η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ), το Ι.Γ.Μ.Ε και το Geodata παρέχουν

αεροφωτογραφίες, τοπογραφικούς, γεωλογικούς χάρτες και τηλεσκοπικά δεδομένα (DEM, δορυφορικές εικόνες κ.λπ.), αντίστοιχα. Παρατηρείται όμως ότι οι πληροφορίες που περιέχονται είναι πολλές φορές ελλιπείς. Γι' αυτό η συνδυαστική χρήση δεδομένων (υδρολογικών, γεωλογικών, τοπογραφικών) και η ενσωμάτωση τους σε μια κοινή γεωβάση, είναι το επόμενο βήμα για να υπάρξει βελτίωση. Για παράδειγμα, η Οδηγία- πλαίσιο για τα νερά (WFD,2000/60/EK) που δημιουργήθηκε από την Ε.Ε. και ενσωματώθηκε στο ΦΕΚ της Ελλάδας μόνο στο πλαίσιο της νομοθεσίας. Η οδηγία αυτή έχει κυρίως οικολογικό χαρακτήρα (π.χ. ποιότητα υδάτων, υδραυλική μελέτη), έτσι γίνεται φανερό ότι για να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων, οι οικολογικές πληροφορίες πρέπει να συνδυαστούν με δεδομένα από διαφορετικούς επιστημονικούς τομείς (τοπογραφία, γεωλογία κ.λπ.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ

Η συμβολή της τηλεπισκόπησης και των GIS στην υδρομορφολογική μελέτη των ποταμών της Ελλάδας (Βασιζόμενος στην εργασία "The use of remote sensing to characterise hydromorphological properties of European rivers" (Bizzi et al.2016)

Πίνακας 1. Γεωλογία, Κάλυψη-χρήση Γης, Έδαφος

	Περιγραφή Δεδομένων	Λεπτομέρειες	Πηγή	Τιμή	Εισαγωγή ή στο GIS?	Μορφή αρχείου	Σχόλια
3.1	Γεωλογία						
	1.Γεωλογικοί Χάρτες 1:50.000		I.G.M.E	Δωρεάν (Αντίγραφα Φ.Χ., Τμήμα Γεωλογίας)	Κάποια	Raster	
3.2	Land Cover						
	1. Corine Land Cover	CORINE LC 2006, 2012	http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012 http://www.ktimatologio.gr/forestmaps/Pages/xrisis-gis.aspx http://uls.eionet.europa.eu/CLC2000/classes	Δωρεάν	NAI	Vector	CLC πανευρωπαϊκή απογραφή της βιοφορικής κάλυψης Γης, πληροφορίες για τον τύπο κάλυψης Γης και χρήση Γης
	2. Δείκτης fCover	1km ανάλυση, σύντομα 300m,	http://land.copernicus.eu/global/products/fcover	Δωρεάν	ΟΧΙ (δυναμικά σύνολα δεδομένων)	Raster	Το Κλάσμα της Βλάστησης (fCover) αντιστοιχεί στο κλάσμα του εδάφους που καλύπτεται από την πράσινη βλάστηση. Πρακτικά ποσοτικοποιεί την έκταση της βλάστησης. Επειδή είναι ανεξάρτητο από την κατεύθυνση φωτισμού και είναι ευαίσθητο στη βλάστηση, ο fCover είναι πολύ καλός υποψηφίος για την αντικατάσταση των κλασσικών δεικτών βλάστησης για την παρακολούθηση των οικοσυστημάτων.
3.3	Έδαφος						
	1. Είδος Εδάφους	1Km x 1Km (ανάλυση σε μορφή raster)	http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/content/european-soil-database-v20-vector-and-attribute-data http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/content/european-soil-database-v2-raster-library-1kmx1km	Δωρεάν (κατόπιν άδειας)	NAI (μόνο vector)	Raster & Vector	http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/content/legend-files
	2. Διάβρωση Εδάφους	500m ανάλυση	http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/content/soil-erodibility-k-factor-high-resolution-dataset-europe	Δωρεάν	NAI	Raster	3 βάσεις δεδομένων: α) διαβρωσιμότητα του εδάφους στην Ευρώπη (συντελεστής K), β) αναπροσαρμοσμένος δείκτης διαβρωσιμότητας του εδάφους (συντελεστής Kst) που περιλαμβάνει το ποσοστό πετρώδους κάλυψης γ) η επίδραση της πετρώδους κάλυψης στον συντελεστή K (% μείωση)
	3. Rockiness/stoniness degree		Από διάβρωση εδάφους	Δωρεάν			
	4. Roughness		Από αέρα	Δωρεάν			
	5. Διάβρωση Εδάφους (PESERA)	1Km x 1Km	http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/pesera/pesera_data.html http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/content/pan-european-soil-erosion-risk-assessment-pesera#tabs-0-description=0	Δωρεάν	NAI	Raster	
	6. Διάβρωση εδάφους από νερό (RUSLE2015)	100m ανάλυση	http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/content/soil-erosion-water-rusle2015	Δωρεάν	NAI	Raster	
	7. Διάβρωση Εδάφους από αέρα	1km-500m ανάλυση	http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/content/Soil_erosion_by_wind	Δωρεάν	NAI	Raster	Αυτή η βάση δεδομένων αποτελείται από διάφορα στοιχεία που σχετίζονται με τη διάβρωση του εδάφους από τον άνεμο: 1) Απόκλιση εδάφους από την διάβρωση του ανέμου στα ευρωπαϊκά γεωργικά εδάφη το 2016(ανάλυση 1km, 2) Ευαισθησία της Γης στην διάβρωση του ανέμου 2014, (ανάλυση 500m), 3) Ευαισθησία στην διάβρωση του ανέμου στα ευρωπαϊκά εδάφη (2014). (ανάλυση 500m) 4) Δεδομένα παραμέτρων πεδίου γεωργίας (μέσο μέγεθος πεδίου, τον προσανατολισμό, το μήκος, τον μέσο αριθμό εικόνων, το ποσοστό μεγάλων πεδίων) για 27 κράτη μέλη της ΕΕ και την Ελβετία.

Πίνακας 2. Ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEMs) και δεδομένα Lidar

	Περιγραφή Δεδομένων	Λεπτομέρειες	Πηγή	Τιμή	Εισαγωγή στο GIS?	Μορφή αρχείου	Σχόλια
3.4	Ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEMs)						
	1.SRTM v4.1 (CGIAR)	90m x 90m, κατακόρυφη ακρίβεια(90%) : ± 16 m απόλυτη Και ± 6 m σχετική (σε τοπική κλίμακα 50-100m)	http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp	ΔΩPEAN	NAI	Raster	Συνεπές σύνολο δεδομένων, προβληματικό σε ορεινές περιοχές.
	2.ASTER- GDEM v2	30mx30m,κατακόρυφη ακρίβεια: 6m - 30m (RMSE)	https://earthexplorer.usgs.gov/	ΔΩPEAN	NAI	Raster	Όχι συνεπές, προβληματικό σε επίπεδες περιοχές, χρήσιμο για ορεινές περιοχές.
	3.EU-DEM	30m x 30m,κατακόρυφη ακρίβεια: 2,90m (RMSE)	http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem#tab-original-data	ΔΩPEAN	NAI	Raster	Βελτιωμένη ακρίβεια υπομέτρου τόσο στο SRTM όσο και στο GDEM. Παρόλα αυτά είναι ένα μαθηματικό προϊόν (συνδυασμός SRTM + GDEM) και μπορεί να περιέχει σφάλματα.
	4.WORLD DEM	12m x 12m, Κατακόρυφη ακρίβεια: 2m (σχετική) / 4m (απόλυτη)	http://worldDEM-database.infoterra.de/ http://www.intelligence-airbusds.com/worldDEM/	39€/km ² (ελάχιστο: 500 km ²)	OXI	Raster	
3.5	LIDAR						
	1.National Sources?		?	?	?	?	Κυρίως για την κεραία LiDAR, η οποία θα μπορούσε να λειτουργήσει καλύτερα με την ταυτόχρονη απόκτηση εναέριων εικόνων (ή δορυφορικών). "... πάνω από το 75% του ευρωπαϊκού εδάφους σήμερα καλύπτονται από δεδομένα LiDAR ... "(Bizzi et al., 2016) πιθανή ανεπίσημη πρόσβαση σε δεδομένα GR ... το κόστος της κεραίας και του LiDAR είναι πολύ υψηλό ...
	2.LIST	5m DEM, ακρίβεια 10cm	https://eosps.nasa.gov/missions/lidar-surface-topography http://cce.nasa.gov/pdfs/LIST.pdf	-	-	-	Μελλοντική αποστολή, η πρόσβαση και κόστος των δεδομένων είναι άγνωστα, αλλά πιθανώς πάρα πολύ ακριβό ή και με περιορισμένη πρόσβαση, για λόγους ασφαλείας.

Πίνακας 3. Δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες

	Περιγραφή Δεδομένων	Λεπτομέρειες	Πηγή	Τιμή	Εισαγωγή στο GIS?	Μορφή αρχείου	Σχόλια
3.6	Υψηλής και πολύ υψηλής ανάλυσης πολυφασματικές εικόνες (Visible+/-IR)						
	1.LANDSAT-8	Ανάλυση 15m-30m	http://glovis.usgs.gov/	ΔΩPEAN	OXI	Raster	
	2.Sentinel-2	Ανάλυση 20m-60m (εξαρτάται από τη φασματική ζώνη)	https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home	ΔΩPEAN	OXI	Raster	
	3.LANDSAT-4,5	30m	http://glovis.usgs.gov/	ΔΩPEAN	OXI	Raster	Ιστορικά δεδομένα (1982-2012)
	4.Πολύ υψηλής ανάλυσης(πχ. IKONOS, QUICKBIRD, GEOEYE-1, WORLDVIEW)	Ανάλυση κάτω από 30-50cm	http://www.e-geos.it/products/pdf/prices.pdf	50-100€/km ² (ελάχιστο: 25-100 km ²)	OXI	Raster	Αναλυτικά οι τιμές στον κατάλογο
	5.Ανάλυση μερικά μέτρα (πχ. SPOT)	2-10m	https://apollomapping.com , http://www.era.ie/Price_List.pdf	5€/km ²	OXI	Raster	Ελάχιστο 100 km ²
	6.Αεροφωτογραφίες	Ανάλυση μεγάλη σε cm	H.M.G.S. (Γ.Υ.Σ.) ή ιδιωτικές εταιρίες	≈150€/pc (archived)	OXI	Raster	Δεν είναι εύχρηστα, πολύ ακριβά. Εναλλακτική λύση: Drone (που χρειάζεται επεξεργασία)
3.7	Υπέρυθρες εικόνες						
	1.LANDSAT-8	Ανάλυση 30m	http://glovis.usgs.gov/	ΔΩPEAN	OXI	Raster	
	2.Sentinel-2	Ανάλυση 10m -20m	https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home	ΔΩPEAN	OXI	Raster	Η κάθε μπάνα έχει διαφορετική ανάλυση
	3.LANDSAT series	Ποικίλες (30m)	http://glovis.usgs.gov/	ΔΩPEAN	OXI	Raster	Ιστορικά δεδομένα από το 1972
3.7	Θερμικές εικόνες						
	1.LANDSAT-8	Ανάλυση 100m	http://glovis.usgs.gov/	ΔΩPEAN	OXI	Raster	Οι ζώνες TIRS1 και TIRS2 του σαρωτή OLI υποφέρουν από δυσλειτουργίες του αισθητήρα από τις αρχές του 2013 (η θερμική ενέργεια εκτός του φυσιολογικού οπτικού πεδίου έχει επηρεάσει τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στις ζώνες 10 και 11 του TIRS) (http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php)
	2.LANDSAT-7	Ανάλυση 60m	http://glovis.usgs.gov/	ΔΩPEAN	OXI	Raster	
	3.LANDSAT-4.-5	Ανάλυση 120m	http://glovis.usgs.gov/	ΔΩPEAN	OXI	Raster	Ιστορικά δεδομένα (1982-2012)
3.8	Υπερφασματικές εικόνες						
	1.EO-1/HYPERION	220 bands (0,4-2,5μm), 30m ανάλυση 7,5X100 km	http://glovis.usgs.gov/ ; https://eo1.usgs.gov/ https://eo1.usgs.gov/sensors	ΔΩPEAN (αλλά λίγα)	OXI	Raster	http://www.spectir.com/applications/geologic-airborne-hyperspectral/
3.9	Εικόνες RADAR						
	1.Sentinel-1	C-band SAR, ανάλυση 20m	https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home	ΔΩPEAN	OXI	Raster	
	2.TerraSAR-X	X-band SAR, ανάλυση 0,25m	http://www.intelligence-airbusds.com/en/122-price-lists	1.5Κ€ - 6Κ€/εικόνα	OXI	Raster	Οι μεγάλες αναλύσεις καλύπτουν μικρές περιοχές (πχ 10km x 5km @ 1m, 30km x 50km @3m, 100km x 150km @18,5m)
	3.COSMO-SkyMed	X-band SAR, ανάλυση 1m	http://www.e-geos.it/products/pdf/prices.pdf	1Κ€ - 6Κ€/εικόνα	OXI	Raster	
	4.RADASAT-2	C-band SAR, ανάλυση 1m	http://www.e-geos.it/products/pdf/prices.pdf	1.5Κ€ - 4Κ€/εικόνα	OXI	Raster	

Πίνακας 4. Άλλα δεδομένα (που δεν αναφέρονται ρητά στο Bizzi et al (2016))

	Περιγραφή Δεδομένων	Λεπτομέρεια εξ	Πηγή	Τιμή	Εισαγωγή στο GIS?	Μορφή αρχείου	Σχόλια
3.10	Τοπογραφικοί Χάρτες 1:50.000		H.M.G.S. (Γ.Υ.Σ.) /http://web.gys.gr/portal/page?_pageid=33,46034&_dad=portal&_schema=PORTAL	OXI	NAI	Raster	Η διακριτική ικανότητα αποκρίνεται.
3.11	Τοπογραφικά διαγράμματα 1:5.000		H.M.G.S. (Γ.Υ.Σ.) / http://web.gys.gr/portal/page?_pageid=33,46034&_dad=portal&_schema=PORTAL	30,24€/τμχ	OXI	Raster	
A.	Δεδομένα GIS		http://geodata.gov.gr/	ΔΩΡΕΑΝ	Κάποια	Vector/ Raster	
B.	All kinds of data for hydrological basins that extend beyond Greek borders						
Γ.			http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/				

3.1 Γεωλογία

Η μελέτη της Υδρογεωμορφολογίας μιας περιοχής προαπαιτεί σε πρώτο επίπεδο την καταγραφή της μορφολογίας του εδάφους των λεκανών απορροής των ποταμών και της τοπογραφίας του. Το γεωλογικό και τοπογραφικό προφίλ μιας περιοχής πλαισιώνει διάφορες τοπικές υδρολογικές και γεωμορφολογικές διαδικασίες όπως η διάβρωση, η μεταφορά και η εναπόθεση. Μελετώντας τα δύο αυτά χαρακτηριστικά γίνεται δυνατός ο προσδιορισμός της φυσικής δομής της δυναμικής των ποτάμιων οικοσυστημάτων (Poff et al. 2006).

Το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) παρέχει δεδομένα χωρικής ανάλυσης και χαρτογραφικής απεικόνισης σε ποικίλα επίπεδα. Συγκεκριμένα, παρέχει εθνικά χαρτογραφικά δεδομένα για:

- την λιθογραφία
- την ηλικία των πετρωμάτων
- γεωθερμικά σημεία και πεδία
- το υδρογραφικό δίκτυο
- το δίκτυο παρακολούθησης υδάτων και
- τα υδατικά διαμερίσματα

Η ιστοσελίδα του ΙΓΜΕ (<http://www.igme.gr/geoport/>) παρέχει πρόσβαση στα δεδομένα αυτά (data viewer) με δυνατότητα επιλογής χαρτογραφικού υπόβαθρου όπως το OpenStreetMap και το Εθνικό Κτηματολόγιο.

3.2 Land Cover– Κάλυψη Γης

Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της τηλεπισκόπησης και των GIS οι μελέτες που σχετίζονται με την κάλυψη/χρήση Γης σε ποικίλες χωρικές κλίμακες αυξάνονται συνεχώς και είναι ευρέως διαδεδομένες (Orr et al. 2008; Buffagni et al. 2009; Kail et al. 2009).

Τα υδρομορφολογικά χαρακτηριστικά των ποταμών αντικατοπτρίζουν την δομή, την οργάνωση και την αλληλεπίδραση των βιοτικών και αβιοτικών στοιχείων. Οι αλλαγές των χαρακτηριστικών αυτών επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα όχι μόνο τα υδρολογικά χαρακτηριστικά αλλά και τα βιοτικά στοιχεία των ποταμών (Tudesque et al. 2011). Η διερεύνηση των αλλαγών χρήσεων/κάλυψης Γης, που οφείλεται κυρίως σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες, βοηθούν στον προσδιορισμό διαταραχών που δεν είναι εμφανείς αλλά επηρεάζουν σημαντικά τα ποτάμια οικοσυστήματα, όπως η συγκέντρωση και εισροή αζώτου (Johnson et al 1997). Οι αλλαγές του τοπίου στην ποτάμια ζώνη μεταβάλλουν ορισμένες θεμελιώδεις διεργασίες των λεκανών απορροής που ρυθμίζουν την ποσότητα και τον ρυθμό της εισροής του νερού, του ιζήματος και των θρεπτικών συστατικών στα ρέοντα ύδατα (Vitousek et al. 1997). Τέτοιες αλλαγές, όπως η απώλεια της χερσαίας βλάστησης και η αύξηση των αδιαπέραστων επιφανειών που σχετίζονται με την αστικοποίηση, επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή και το φιλτράρισμα του νερού, μεταβάλλοντας τα φυσικά συστήματα ροής (Poff et al., 1997) και τις εισροές οργανικής ύλης. Οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και η επεξεργασία του εδάφους ενδέχεται να επηρεάσουν τη διάβρωση και την εναπόθεση φερτών υλών, αλλάζοντας τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος και τη μορφολογία των ποταμών (Buffagni et al. 2009). Κατά συνέπεια, η καταγραφή και η μελέτη των αλλαγών του τοπίου που σχετίζονται με την εντατικοποίηση της γεωργίας, την αστικοποίηση ή την βλάστηση είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης και των λειτουργιών των ποτάμιων οικοσυστημάτων (Poff et al. 2006).

Corine and Land cover

Το CORINE Land Cover 2000 (CLC2000) αποτελεί την τελευταία έκδοσή μιας βάσης δεδομένων η οποία ολοκληρώθηκε πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1990 στο πλαίσιο του προγράμματος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τη διαχείριση των περιβαλλοντικών πληροφοριών. Αυτή η βάση δεδομένων προήλθε από μια πανευρωπαϊκή απογραφή της βιοφυσικής κάλυψης Γης και παρέχει σημαντικά και



χρήσιμα δεδομένα που μπορούν να υποστηρίξουν και να βοηθήσουν έρευνες με σκοπό την ολοκληρωμένη αξιολόγηση και εκτίμηση της κατάστασης των οικοσυστημάτων.

Παρέχονται ψηφιακές εικόνες καθώς και πληροφορίες για τον τύπο κάλυψης και χρήσης Γης με δεδομένα υψηλής ανάλυσης. Συγκεκριμένα, η πληροφορία που παρέχει η βάση δεδομένων είναι διατεταγμένη σε ένα ιεραρχικό σύστημα με τρία επίπεδα λεπτομέρειας. Το πρώτο επίπεδο περιλαμβάνει πέντε γενικές κατηγορίες (π.χ. τεχνητές επιφάνειες, γεωργικές περιοχές), το δεύτερο επίπεδο περιλαμβάνει 15 πιο λεπτομερείς κατηγορίες (π.χ. αστικός ιστός, μόνιμες καλλιέργειες), ενώ το τρίτο επίπεδο περιλαμβάνει 44 κατηγορίες που αποτυπώνουν την κάλυψη Γης με μεγάλη λεπτομέρεια (π.χ. συνεχής αστικός ιστός, αμπελώνες).

Το πρόγραμμα παρέχει πληροφορίες για την κάλυψη Γης για τις χρονιές 1990, 2000, 2006, 2012, ενώ παράλληλα υπάρχουν διαθέσιμες και οι αλλαγές της κάλυψης Γης για τις περιόδους 1990-2000, 2000-2006 και 2006-2012. Η ελάχιστη μονάδα χαρτογράφηση που χρησιμοποιείται 25 ha, ενώ ο χώρος που έχουν χαρτογραφηθεί πλήρως μέχρι το 2012 είναι 39.

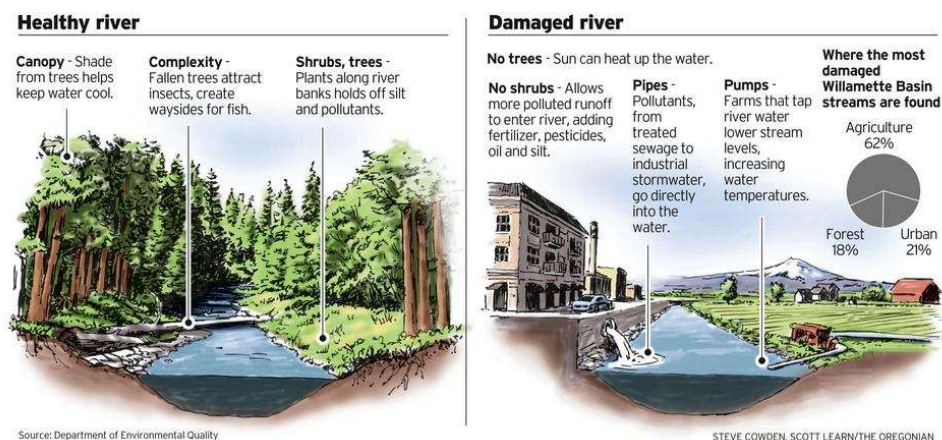
Green Vegetation Fraction (fCover)

Η βλάστηση αποτελεί βασικό στοιχείο των ποτάμιων συστημάτων, ελέγχοντας τη μορφή και τη δυναμική τους. Η φυτική βιομάζα που βρίσκεται πάνω από το έδαφος μπορεί να επηρεάσει τη ροή και τη μεταφορά ιζήματος και ως εκ τούτου την μορφολογική εξέλιξη του ποταμού. Παράλληλα, το υπόγειο ριζικό σύστημα τροποποιεί και διαμορφώνει τις υδρολογικές και μηχανικές ιδιότητες του υποστρώματος και κατά συνέπεια το ποσοστό υγρασίας και διαβρωσιμότητας του εδάφους (Gurnell, 2014).

Η βλάστηση και η υδρομορφολογία των ποταμών αλληλεπιδρούν με ένα πολύπλοκο τρόπο τόσο σε χωρική όσο και σε χρονική κλίμακα. Έχει βρεθεί ότι οι υδρολογικές διεργασίες (όπως διάβρωση, καθίζηση κα) και η ανάπτυξη της βλάστησης γύρω από τα ποτάμια συστήματα έχουν παρόμοια χρονική και χωρική εξέλιξη (Camporeale et al., 2013).

Η βλάστηση μπορεί να επηρεάσει την υδροδυναμική του ποταμού με ποικίλους τρόπους. Για παράδειγμα, μια πυκνή και πολύπλοκα δομημένη φυτική βλάστηση που περιβάλλει ένα ποτάμιο σύστημα μπορεί να μεταβάλλει το εύρος και την ταχύτητα

της ροής του νερού, σε αντίθεση με τους ποταμούς που συναντώνται σε περιοχές με αραιή βλάστηση. Με τον τρόπο αυτό, η βλάστηση έχει ενδεχομένως σημαντική επίδραση στην αντίσταση ροής, στην μεταφορά ιζημάτων και στη δυναμική της παρόχθιας ζώνης (Solari et al. 2016)



Εικόνα 4: Η επιρροή της βλάστησης στη μορφολογία των ποταμών.

Ο δείκτης FCover αντιστοιχεί στο κομμάτι του εδάφους που καλύπτεται από πράσινη βλάστηση. Πρακτικά, ποσοτικοποιεί την έκταση της βλάστησης στο χώρο. Τα πλεονεκτήματα του FCover είναι η ανεξαρτησία του από την κατεύθυνση φωτισμού και η ευαισθησία του στην ποσότητα της βλάστησης, καθιστώντας τον έναν πολύ καλό δείκτη για την παρακολούθηση των οικοσυστημάτων.

3.3 Έδαφος

Η μελέτη του εδάφους και των χαρακτηριστικών του είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την πλήρη κατανόηση του σχηματισμού των ποταμών, της οικολογίας και της διαχείρισή τους. Τα εδαφικά χαρακτηριστικά που πρέπει να μελετηθούν αφορούν τις εδαφικές ιδιότητες, τις διεργασίες που επιτελούν στα ποτάμια συστήματα, καθώς τον τρόπο που αυτές μεταβάλλονται.

Τύπος εδάφους

Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους μπορούν να επηρεάσουν τις διαδικασίες που οδηγούν στο σχηματισμό και στη λειτουργία των υδροτόπων. Τέτοιες σημαντικές φυσικές ιδιότητες του εδάφους είναι η υφή, η δομή, η πυκνότητα, η διαπερατότητα του εδάφους και η κατανομή πόρων διαφορετικού μεγέθους στον εδαφικό ορίζοντα. Αυτά επηρεάζουν άμεσα την υδρολογική αγωγιμότητα, την

αποθήκευση και τη διαθεσιμότητα νερού στα ποτάμια οικοσυστήματα (Kolka et al. 2006). Η γεωμορφολογία του εδάφους είναι ένας καλός τρόπος διερεύνησης της λεκάνης απορροής ποταμών και των τοπικών διεργασιών που λαμβάνουν μέρος σε αυτά τα οικοσυστήματα. Μάλιστα, έχει βρεθεί ότι διαφορετικά τμήματα μιας λεκάνης απορροής τείνουν να προάγουν την ανάπτυξη συγκεκριμένων τύπων εδαφών (Richardson & Vepraskas 2001). Οι διαφορετικοί τύποι εδαφών με τη σειρά τους μπορούν να επηρεάζουν την ανάπτυξη διαφορετικών κοινοτήτων βλάστησης και κατ' επέκταση διαφορετικών ζωικών κοινοτήτων (Winter 2007), η οποία μπορεί και διαμορφώνει τα χαρακτηριστικά του τοπίου των υγροτόπων.

Διαβρωσιμότητα εδάφους

Η διάβρωση του εδάφους είναι ένας φυσικός παράγοντας απώλειας εδάφους και η πιο διαδεδομένη μορφή υποβάθμισης του. Η διάβρωση επηρεάζεται από το είδος του εδάφους, το κλίμα, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την ανθρώπινη δραστηριότητα. Τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας η ταχύτητα της διάβρωσης έχει αυξηθεί, με αποτέλεσμα να γίνονται μελέτες γύρω από τον τρόπο και τις λειτουργίες της διάβρωσης με στόχο την πρόβλεψη και τον έλεγχο του εδάφους.

Δεδομένου ότι η διάβρωση του εδάφους είναι δύσκολο να μετρηθεί σε μεγάλες κλίμακες λόγω έλλειψης δεδομένων πεδίου, τα μοντέλα διάβρωσης του εδάφους αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο εκτίμησης όταν πρόκειται για μελέτες εκτεταμένης χωρικής κλίμακας.

Το μαθηματικό μοντέλο RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) (Renard et al., 1997) τα τελευταία χρόνια έχει αποκτήσει ευρεία χρήση για το υπολογισμό της διαβρωσιμότητας του εδάφους και αποτελείται από ένα γινόμενο 5 παραγόντων κινδύνου διάβρωσης του εδάφους. Ένας από τους παράγοντες αυτούς είναι ο συντελεστής K (K-factor), ο οποίος εκφράζει την ευαισθησία του εδάφους στην διάβρωση και σχετίζεται με τις ιδιότητες του εδάφους (υφή, δομή, διαπερατότητα, παρουσία οργανικής ύλης). Ο συντελεστής K είναι μια συγκεντρωτική παράμετρος που αντιστοιχεί σε μια ετήσια τιμή που αντιπροσωπεύει την αντίδραση του εδάφους στην διαδικασία αποκόλλησης και μεταφοράς του από τις σταγόνες της βροχής και την επιφανειακή απορροή (Renard et al., 1997).

Οι Panagos et al. (2012) εκτίμησαν τη διαβρωσιμότητα του εδάφους βασιζόμενοι σε κάποια εδαφικά χαρακτηριστικά όπως, υφή και οργανικός άνθρακας, τα οποία είναι διαθέσιμα από την βάση δεδομένων LUCAS (Land Use/ Cover Area Frame Survey).

Το Ευρωπαϊκό έργο LUCAS παρέχει πληροφορίες για 25 χώρες της ΕΕ σχετικά με κάποια χαρακτηριστικά των εδαφών όπως, υφή, οργανική ύλη, δομή, διαπερατότητα και κατανομή μεγέθους σωματιδίων. Η κατασκευή της βάσης προήλθε από μετρήσεις πεδίου και συγκεκριμένα μετά από συλλογή περίπου 20,000 δειγμάτων εδάφους. Η πυκνότητα των σημείων δειγματοληψίας εδάφους LUCAS ήταν περίπου 1/199 km², που αντιστοιχεί σε μέγεθος κυψελίδας 14 km × 14 km.

Πετρώδης κάλυψη

Το πρόγραμμα LUCAS παρέχει επίσης πληροφορίες που εκτιμούν την ποσοστιαία πετρώδη κάλυψη της επιφάνειας. Τα εδάφη που είναι καλυμμένα με πέτρα έχουν αρνητική επίδραση στην μετακίνηση ιζήματος και συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί ως φυσικός σταθεροποιητής του εδάφους. Μάλιστα, έχει βρεθεί ότι η υποχώρηση του ιζήματος μειώνεται όταν τα πετρώδη στρώματα καλύπτουν είτε το πάνω μέρος της επιφάνειας είτε όταν βρίσκονται εν μέρει ενσωματωμένα στο έδαφος (Poesen and Ingelmo-Sanchez 1992). Συνεπώς, ο δείκτης πετρώδους κάλυψης θα μπορούσε να συμπεριληφθεί στα μοντέλα που υπολογίζουν την διαβρωσιμότητα του εδάφους (Rubio and Recatalá 2006). Το 1994 οι Posen et al. κατασκεύασαν έναν συντελεστή για την μείωση της υποχώρησης του ιζήματος του εδάφους, οποίος συμπεριλαμβάνει την ποσοστιαία πετρώδη κάλυψη:

$$St=e^{-0.04(Rc-10)}$$

Όπου:

St: ο συντελεστής διόρθωσης για τη σχετική μείωση της υποχώρησης ιζήματος

Rc: το ποσοστό πετρώδους κάλυψης με 10 %<Rc<100 %.

Το πρόγραμμα LUCAS χρησιμοποίησε 5 τιμές ποσοστού πετρώδους κάλυψης (Rc) για τον υπολογισμό του παράγοντα St:

Πίνακας 5: Οι τιμές Rc που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα LUCAS.

Εύρος πετρώδους κάλυψης	Τιμή Rc για τον υπολογισμό του St
0%	0%
stones ≤ 10%	5.0%
10% < stones < 25%	17.5%
25% ≤ stones < 50%	37.5%
stones ≥ 50	75.0%

Έτσι, ο αναπροσαρμοσμένος δείκτης διαβρωσιμότητας του εδάφους (K_{st}) που περιλαμβάνει το ποσοστό πετρώδους κάλυψης υπολογίζεται σύμφωνα με το τύπο:

$$K_{st} = K * St$$

Ο συντελεστής K_{st} είναι κατά μέσο όρο 15% μικρότερος από τον συντελεστή K , γεγονός που υποδηλώνει ότι τα υψηλά ποσοστά πετρώδους κάλυψης μειώνουν σημαντικά την διαβρωσιμότητα του εδάφους. Επιπλέον, η προστατευτική επίδραση των πετρωδών υποστρωμάτων από την διάβρωση είναι πολύ πιο ισχυρή στις Μεσογειακές χώρες (Ελλάδα, Πορτογαλία, Ισπανία) συγκριτικά με τις πιο βόρειες χώρες. Επίσης, υπολογίζεται ότι η προστατευτική ικανότητα της πετρώδους κάλυψης απέναντι στην απώλεια εδάφους είναι ακόμα μεγαλύτερη κι από την προστασία που παρέχει η βλάστηση (Panagos et al. 2014).

Διάβρωση Εδάφους (PESERA)

Η διάβρωση του εδάφους είναι μια φυσική και απαραίτητη διαδικασία που συμβαίνει κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η ταχύτητα της διάβρωσης έχει αυξηθεί σημαντικά εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας και των αλλαγών που συμβαίνουν στην κάλυψη Γης. Μάλιστα, ο αυξημένος ρυθμός διάβρωσης λόγω τρεχούμενων νερών έχει χαρακτηριστεί ως η σοβαρότερη απειλή για το έδαφος στην Ευρώπη. Σε μια τέτοια περίοδο ταχείας αλλαγής, σαν αυτή που διανύουμε, τόσο με τις κλιματικές όσο και με τις αλλαγές χρήσεων Γης η αξιολόγηση της κατάστασης διάβρωσης του εδάφους είναι πολύ σημαντική.

Το μοντέλο PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment) είναι ένα χωρικό μοντέλο που συνδυάζει την επίδραση της τοπογραφίας, του κλίματος και του εδάφους προκειμένου να προσομοιώσει μια ενιαία ολοκληρωμένη πρόβλεψη για την

απορροή και την διάβρωση του εδάφους. Πρακτικά, το μοντέλο υπολογίζει την ημερήσια επιφανειακή απορροή από τα δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης, ενώ παράλληλα συμπεριλαμβάνει και τις ιδιότητες του εδάφους (κάλυψη βλάστησης, κάλυψη από αγροτικές περιοχές και υγρασία) για μια πιο ακριβή προσέγγιση. Η πρόβλεψη γίνεται για κάθε κελί του κάναβου ξεχωριστά με μέγεθος κελιού 1km x 1km. Συνολικά, απαιτούνται τέσσερις βάσεις δεδομένων για τη λειτουργία του μοντέλου PESERA που αφορούν το κλίμα, τις ιδιότητες εδάφους, την κάλυψη Γης και την τοπογραφία.

Αναφορικά με το κλίμα η βάση δεδομένων MARS (JRC) παρέχει ημερήσιες χρονοσειρές βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και πιθανής εξατμισοδιαπνοής, σε κάναβο με μέγεθος κελιού 50km x 50km. Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα και σε μικρότερο μέγεθος κελιού 1km x 1km αλλά με μηνιαίες χρονοσειρές.

Αναφορικά με τις ιδιότητες του εδάφους χρησιμοποιείται η Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων του Εδάφους (The European Soil Database). Η βάση αυτή παρέχει πληροφορίες σχετικά με την διαβρωσιμότητα του εδάφους, την αποθηκευτική ικανότητα του νερού στο έδαφος και τον κορεσμό του εδάφους από το νερό. Οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες για όλη την Ευρώπη σε μέγεθος κελιού 1km x 1km.

Όσον αφορά τη χρήση/κάλυψη Γης τα δεδομένα είναι διαθέσιμα από το πρόγραμμα CORINE Land Cover, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Τέλος, τα τοπογραφικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται παρέχονται από μοντέλα ψηφιακής ανύψωσης (DEM) που είναι διαθέσιμα από EROS σε ανάλυση 1km x 1km.

Το μοντέλο PESERA εφαρμόζεται για όλη την Ευρώπη σε ανάλυση 1km x 1km, με εξαίρεση ορισμένων περιοχών για τις οποίες δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα (Kirkby et al. 2004).

Διάβρωση από νερό

Η διάβρωση του εδάφους από το νερό αποτελεί στη μεγαλύτερη αιτία απώλειας εδάφους στην Ευρώπη συγκριτικά με άλλους τύπους διάβρωσης. Η διάβρωση του εδάφους από το νερό περιλαμβάνει δύο κύρια στάδια:

- την πρόσκρουση και αποκόλληση των σωματιδίων του εδάφους και
- την απομάκρυνση και μεταφορά τους σε άλλες περιοχές.

Οι παράγοντες που προκαλούν τις διεργασίες αυτές είναι οι σταγόνες της βροχής και το τρεχούμενο νερό. Η διάβρωση λόγω βροχοσταγόνων συμβαίνει καθώς οι σταγόνες συγκρούονται με τα σωματίδια του εδάφους και τα διαταράσσουν. Η διάβρωση λόγω ρέοντος νερού συμβαίνει λόγω της μεταφοράς των ήδη αποκολλημένων σωματιδίων εδάφους που προέκυψαν στα πρώτα στάδια της βροχόπτωσης. Το νερό ρέει στην επιφάνεια του εδάφους είτε ακανόνιστα, είτε ως παράλληλα αυλάκια.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό διάβρωσης του εδάφους από το νερό είναι οι βροχοπτώσεις, ο τύπος εδάφους, η τοπογραφία, η χρήση και η διαχείριση της Γης. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το μοντέλο RUSLE (Renard et al. 1997) έχει αποκτήσει ευρεία εφαρμογή και εκτιμά μακροπρόθεσμα το μέσο ποσοστό ετήσιας απώλειας του εδάφους από το νερό. Οι Panagos et al. (2015) χρησιμοποίησαν μια βελτιωμένη εκδοχή (RUSLE2015) του μοντέλου αυτού που ποσοτικοποιεί το βαθμό διάβρωσης της Ευρώπης για το έτος 2010 βασιζόμενοι σε 5 παράγοντες. Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε είναι η εξής:

$$E=R*K*C*LS*P,$$
 όπου

E: μέση ετήσια απώλεια εδάφους

R: συντελεστής διαβρωτικής βροχόπτωσης

K: συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους

C: συντελεστής διαχείρισης-κάλυψης

LS: μήκος κλίσης και συντελεστής απότομης κλίσης

P: συντελεστής υποστηρικτικών πρακτικών

Ο συντελεστής K, έχει εκτιμηθεί στα πλαίσια του προγράμματος LUCAS, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω.

Ο συντελεστής R, υπολογίστηκε βάσει τη βροχόπτωση από δεδομένα υψηλής ανάλυσης (5, 10, 15, 30 και 60 λεπτά) (Panagos et al. 2015b).

Ο συντελεστής C, μοντελοποιήθηκε για τα μη αρόσιμα εδάφη συνδυάζοντας την πυκνότητα βλάστησης και τις χρήσεις Γης, ενώ για τις αρόσιμες περιοχές ο συντελεστής υπολογίστηκε βάσει τους τύπους καλλιεργειών και τις διαχειριστικές πρακτικές που εφαρμόζονται σε αυτές.

Ο συντελεστής LS, (Panagos et al. 2015c) εκτιμήθηκε με τη χρήση ενός πρόσφατου ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου (DEM) (25m x 25m) και την εφαρμογή εξισώσεων.

Ο συντελεστής P, εκτιμήθηκε βάσει κάποιων αγροτικών πρακτικών που εφαρμόζονται συνήθως περιμετρικά των καλλιεργειών και επηρεάζουν την απώλεια εδάφους της περιοχής (Panagos et al. 2015d).

Το πλεονέκτημα του βελτιωμένου μοντέλου RUSLE2015 είναι ότι χρησιμοποιεί τα πιο σύγχρονα γεωχωρικά δεδομένα και τα προσαρμόζει στους συντελεστές διάβρωσης, με αποτέλεσμα να εξάγει πιο έμπιστες και ακριβείς εκτιμήσεις. Η κύρια διαφορά από άλλες μελέτες εκτίμησης της απώλειας εδάφους στην Ευρώπη που χρησιμοποίησαν το μοντέλο RUSLE (π.χ., Van der Knijff et al. 2000) είναι η χρήση βελτιωμένης ποιότητας γεωχωρικών δεδομένων, πάνω στα οποία βασίζεται η εκτίμηση των επιμέρους συντελεστών διάβρωσης.

Διάβρωση από τον αέρα

Η διάβρωση του εδάφους από τον αέρα αποτελεί σημαντική απειλή κυρίως για τις αρόσιμες εκτάσεις σε όλες τις χώρες της ΕΕ. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει υπό συνθήκες ξηρασίας και όταν το έδαφος δεν είναι προστατευμένο (π.χ. από τη βλάστηση) και εκτίθεται στον αέρα. Με αυτόν τον τρόπο τα σωματίδια του εδάφους και η οργανική ύλη παρασύρεται από τον άνεμο και μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις, όπου και επικάθονται.

Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει με μεγαλύτερο ρυθμό τα τελευταία χρόνια και υποβαθμίζει τα εδάφη, καθώς τα καθιστά ανίκανα να υποστηρίξουν και να διατηρήσουν τα φυτικό και ζωικό κεφάλαιο. Επιπλέον, η διάβρωση λόγω ανέμου επηρεάζει έμμεσα και τις γειτονικές περιοχές, καθώς σ' αυτές μεταφέρονται σωματίδια σκόνης, ζιζανιοκτόνα και παρασιτοκτόνα από την επιφάνεια του εδάφους των καλλιεργειών. (Riksen & Goossens 2004). Κατ' επέκταση, γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι με την απομάκρυνση του πάνω μέρους του εδάφους, το οποίο είναι πλούσιο σε οργανική ύλη και βιομάζα, μειώνεται η γεωργική παραγωγή, ενώ αυξάνεται η χρήση λιπασμάτων (Lyles 1975).

Ένα μοντέλο πρόβλεψης και εκτίμησης της διάβρωσης του εδάφους από τον άνεμο πρέπει να συμπεριλαμβάνει τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την διαδικασία αυτή, όπως την κλιματική διαβρωσιμότητα, τη διαβρωσιμότητα του εδάφους, τη φυτοκάλυψη κ.α. Οι Fryrear et al. (2000) ανέπτυξαν μια εξίσωση που προβλέπει την

απώλεια του εδάφους λόγω διάβρωσης από τον αέρα (RWEQ), ενώ οι Borrelli et al.(2017) ενσωμάτωσαν την εξίσωση αυτή σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS-RWEQ), ώστε να ποσοτικοποιήσουν την απώλεια αυτή σε μεγάλες κλίμακες.

Τα πλεονεκτήματα του μοντέλου αυτού είναι ότι έχει δοκιμαστεί για ποικίλους τύπους εδαφών, ενώ τα απαραίτητα πρωταρχικά γεωδεδομένα που απαιτούνται για να λειτουργήσει το μοντέλο είναι απλά και διαθέσιμα για όλη την Ευρώπη.

Η εξίσωση εκτιμά την ποσότητα του εδάφους που διαβρώνεται και μεταφέρεται από τον άνεμο στα πρώτα 2m για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και περιλαμβάνει 5 συντελεστές:

- WF (Weather Factor): συντελεστής καιρικών φαινομένων
- EF (Erodible Fraction): διαβρώσιμο από τον άνεμο κλάσμα εδάφους,
- SCF (Soil Crust Factor): συντελεστής συμπαγής κρούστας εδάφους
- K' (Soil Roughness Factor): συντελεστής τραχύτητας εδάφους
- COG (Combined Crop Factor): συνδυαστικός συντελεστής καλλιεργειών στο έδαφος

Οι συντελεστές αυτοί υπολογίζονται μετά από συνδυασμό και επεξεργασία δεδομένων από δορυφόρους ή βάσεις δεδομένων, όπως MARS Climate Database, Modis NASA (MOD13Q1, MOD10A1), ESDAC JRC Soil Database και EUROSTAT AGRI Census.

3.4 Μοντέλα Ψηφιακής Ανύψωσης (DEMs)

Τα μοντέλα ψηφιακής ανύψωσης αποτελούν μια τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου μιας περιοχής που δημιουργείται από τα υψομετρικά δεδομένα της εκάστοτε περιοχής αυτής. Τα μοντέλα αυτά συμβάλλουν στην αναγνώριση λεκανών απορροής και του υδρογραφικού δικτύου μιας περιοχής, ενώ παράλληλα δίνει και πληροφορίες για το ανάγλυφο, τη μηχανική και την υδραυλική ροή των ποτάμιων δικτύων. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό αλλαγών ή φαινομένων (π.χ., αποστράγγιση υδατικών συστημάτων, πλημμύρες κα.) εάν συνδυαστούν δύο μοντέλα που αφορούν διαφορετικές χρονικές στιγμές.

SRTM v4.1 (Cgiar)

Τα δεδομένα ψηφιακής ανύψωσης SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), που παρήχθησαν αρχικά από την NASA και προσφέρουν ψηφιακά χαρτογραφικά



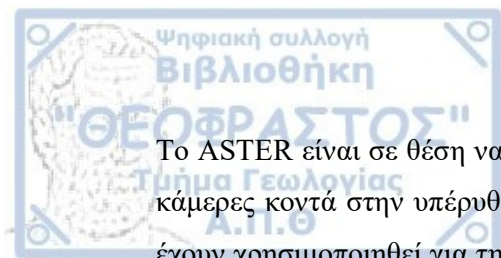
δεδομένα με ελεύθερη πρόσβαση για πάνω από το 80% της συνολικής επιφάνειας του πλανήτη

Τα δεδομένα SRTM έχουν ανάλυση 90 λεπτών και παρέχονται σε μορφή Raster με μέγεθος κελιού 5 deg x 5 deg, ενώ χρησιμοποιεί γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων WGS84. Διατίθενται σε μορφή Arc Info ASCII και GeoTiff, ώστε να είναι εύκολα διαχειρίσιμα και επεξεργάσιμα από τον χρήστη σε περιβάλλον GIS. Αυτά τα δεδομένα διανέμονται δωρεάν από το USGS (United States Geological Survey) και είναι διαθέσιμα για λήψη από το Εθνικό Σύστημα Διανομής Δεδομένων Χωρίς Σύνορα (National Map Seamless Data Distribution System) ή από τον ιστότοπο της USGS-FTP (File Transfer Protocol). Παρήχθη επίσης ένα δεύτερο προϊόν δεδομένων χωρικής ανάλυσης με ανάλυση περίπου 1 arcmin, αλλά δεν είναι διαθέσιμο για όλες τις χώρες.

Τα δεδομένα που διανέμονται από την NASA / USGS περιέχουν κάποια σημεία χωρίς δεδομένα, καθώς υδάτινες μάζες ή σκιές εμποδίζουν την εκτίμηση του υψομέτρου. Αυτές είναι γενικά μικρές περιοχές, οι οποίες ωστόσο καθιστούν τα δεδομένα λιγότερο χρήσιμα, ειδικά όταν πρόκειται για υδρολογική έρευνα και μοντελοποίηση (Jarvis et al. 2008).

ASTER- GDEM v2

Το ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) είναι μια συνεργασία μεταξύ της NASA, του Υπουργείου Οικονομίας, Εμπορίου και Βιομηχανίας της Ιαπωνίας (METI), του Εθνικού Ινστιτούτου Προηγμένων Βιομηχανικών Επιστημών και Τεχνολογίας (AIST) στην Ιαπωνία και του Ιαπωνικού Διαστημικού Συστήματος (Japan Space System). Το ASTER είναι ένα προηγμένο ραδιόμετρο του δορυφόρου TERRA με υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα 15m , 30m και 90m , στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο, βραχύ και θερμικό υπέρυθρο, αντίστοιχα. Τα δεδομένα ASTER συμβάλλουν σε ένα ευρύ φάσμα τομέων εφαρμογής που σχετίζονται με την αλλαγή του πλανήτη, όπως η δυναμική της βλάστησης και των οικοσυστημάτων, η παρακολούθηση των κινδύνων, η γεωλογία και τα εδάφη, η υδρολογία και η αλλαγή του εδάφους. Τα δεδομένα διανέμονται δωρεάν, αλλά οι χρήστες πρέπει να γνωστοποιούν την προέλευση τους, η χρήση τους να γίνεται για συγκεκριμένους σκοπούς και να γνωρίζουν ότι για οποιαδήποτε λάθη δεν φέρουν ευθύνη η NASA, το METI και το AIST.



Το ASTER είναι σε θέση να συλλέγει στερεοζεύγη μέσα σε τροχιά χρησιμοποιώντας κάμερες κοντά στην υπέρυθη και οπίσθια όψη. Από το 2001, αυτά τα στερεοζεύγη έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ψηφιακών μοντέλων μονής σκηνής (60 x 60 km) (DEM) με ακρίβεια κα σφάλματος (RMSE), από 10m ως 25m.

Το ASTER GDEM καλύπτει επιφάνειες εδάφους μεταξύ 83° Β και 83° Ν γεωγραφικού πλάτους και αποτελείται από 22.702 pixel. Στη βάση δεδομένων περιλαμβάνονται και τα pixel που καλύπτονται τουλάχιστον κατά 0,01% από χέρσο. Το ASTER GDEM διανέμεται ως αρχείο GeoTIFF με γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος). Τα δεδομένα διατίθενται σε υψηλή ανάλυση με μέγεθος κελιού 1 arcsec (περίπου 30m στο ισημερινό), ενώ το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται είναι το WGS84/EGM96. Παρόλο που η δεύτερη έκδοση του ASTER GDEM V 2 έχει σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με την πρώτη έκδοση (ASTER GDEM V 1), οι χρήστες πρέπει να γνωρίζουν ότι υπάρχουν σφάλματα και ανωμαλίες που θα μειώσουν τη χρησιμότητά του σε ορισμένες εφαρμογές, επειδή μπορούν να εισάγουν μεγάλα σφάλματα ανύψωσης σε τοπικές κλίμακες.

EU-DEM

Το Ευρωπαϊκό Μοντέλο Ψηφιακής Ανύψωσης (EU-DEM) κατασκευάστηκε στα πλαίσια του προγράμματος GMES RDA και αποτελεί ένα Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας (Digital Surface Model). Τα Ψηφιακά Μοντέλα Επιφάνειας (DSM) αποτελούν μια αναπαράσταση της επιφάνειας της Γης, η οποία περιλαμβάνει όλα τα αντικείμενα, που αναγνωρίζονται από τους αισθητήρες του δορυφόρου, όπως για παράδειγμα τα δάση και τα κτίρια. Καλύπτει 39 Κράτη-Μέλη του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, καθώς και άλλες συνεργαζόμενες χώρες. Το σύνολο δεδομένων για το EU-DEM δημιουργήθηκε από το πρόγραμμα Copernicus, το οποίο διαχειρίζεται η Γενική Διεύθυνση Επιχειρήσεων και Βιομηχανίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Το EU-DEM είναι ένα σύνολο δεδομένων Raster τρισδιάστατης μορφής που καταγράφει το υψόμετρο με ανάλυση 1 arcsec (περίπου 30m x 30m) και καλύπτει επιφάνειας ίση με 5.84M km². Πρόκειται για ένα υβριδικό προϊόν που βασίζεται σε δεδομένα SRTM και ASTER GDEM, τα οποία συγχωνεύονται και σταθμίζονται (σταθμισμένος μέσος όρος).

Το γεωγραφικό σύστημα αναφοράς είναι γεωγραφικό πλάτος/γεωγραφικό μήκος με οριζόντιες συντεταγμένες ETRS89, ελλειψοειδές GRS80 και κατακόρυφο σύστημα αναφοράς το EVRS2000 με γεωειδές EGG08. Η κάθετη μονάδα μέτρησης αυτού του DSM είναι μέτρα. Τα pixel στη συνέχεια συγχωνεύτηκαν σε pixel μεγέθους $5^{\circ} \times 5^{\circ}$. Η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος δημιούργησε έγχρωμη εικόνα του αναγλύφου όλης της Ευρώπης, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων που προέρχεται από την έκδοση του ETRS89-LAEA της EU-DEM. Αυτό το σύνολο δεδομένων δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αναλυτικούς σκοπούς. Παράλληλα, ο Οργανισμός παρέχει αρχείο που περιλαμβάνει τα υδρογραφικά στοιχεία της Ευρώπης, όπως ρέματα, σημεία συρροής και λεκάνες απορροής.

Τα δεδομένα DEM παρέχουν συνολική κατακόρυφη ακρίβεια 2,9m (RMSE), η οποία είναι πλήρως συμβατή με την προδιαγραφή των 7m (RMSE) (Gras 2014).

WORLD DEM

Το πρόγραμμα WorldDEM της Airbus Defense and Space παρέχει πλήρη κάλυψη της Γης, με δεδομένα υψηλής ακρίβειας και ποιότητας. Η ακρίβεια του WorldDEM ξεπερνά την ακρίβεια κάθε παγκόσμιου δορυφορικού μοντέλου ανύψωσης που διατίθεται μέχρι σήμερα. Τα χαρακτηριστικά που το κάνουν χρήσιμο και έγκυρο, συνοψίζονται παρακάτω:

- Κάλυψη από πόλο σε πόλο.
- Μοναδική ποιότητα και ακριβείς πληροφορίες υψομέτρου για οποιοδήποτε σημείο της Γης.
- Ασυναγώνιστη ακρίβεια: 2m (σχετική) / 4m (απόλυτη) κατακόρυφη ακρίβεια σε raster με μέγεθος κελιού 12m x 12m.
- Παρέχει Ψηφιακά Μοντέλα Επιφανείας (DSM).
- Εύκολη πρόσβαση.

Το WorldDEM, διαθέτει τρία βασικά προϊόντα:

- Το WorldDEMcore, ένα μη επεξεργασμένο Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας. Αυτό το προϊόν συνήθως περιέχει αστοχίες, ψευδή αντικείμενα και κενά σημεία.

- Το WorldDEM™, ένα επεξεργασμένο Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας με ολοκληρωμένα υδρολογικά δεδομένα (επεξεργασία υδάτινων σωμάτων, ακτογραμμής και συνεχόμενης ροής ποταμών).
- Το WorldDEM Digital Terrain, ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM) που αντιπροσωπεύει το γυμνό γήινο έδαφος (η βλάστηση και τα τεχνητά αντικείμενα έχουν αφαιρεθεί). Ιδανικό για χαρτογράφηση, υδρολογική μοντελοποίηση ή ανάλυση εδάφους.

Το WorldDEM DTM παράγεται από το υψηλής ποιότητας μοντέλο WorldDEM Digital Surface Model, χρησιμοποιώντας μια εξελιγμένη, ημιαυτόματη παραγωγική διαδικασία που επιτρέπει την ακριβή οριοθέτηση αντικειμένων πάνω από το έδαφος. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επεξεργασίας, αφαιρούνται οι επιφάνειες, όπως οι περιοχές βλάστησης (συμπεριλαμβανομένων των αγροτικών καλλιεργειών, των δέντρων και των φυτών), ενώ στα δεδομένα διατηρούνται διακριτά χαρακτηριστικά εδάφους, όπως κορυφογραμμές, και γραμμές βάθους, γραμμές διάρρηξης και υδρολογικά εμπόδια (hydrological barriers). Το μοντέλο DTM είναι πλέον διαθέσιμο στο εμπόριο για όλους τους χρήστες που χρειάζονται ανώτερες πληροφορίες για το έδαφος οπουδήποτε στον πλανήτη. Αυτό το υψηλής ποιότητας WorldDEM DTM αποτελεί βάση για την ανάπτυξη εφαρμογών σε πολλά πεδία πολιτικής και διαχείρισης, όπως σχεδιασμό δρόμων, διαχείριση φυσικών πόρων, πρόληψη και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.

3.5 Lidar

Η LIDAR (Light Detection and Ranging), είναι μια μέθοδος τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιεί το φως με τη μορφή ενός παλμικού λέιζερ για να μετρήσει αποστάσεις στη Γη. Αυτοί οι παλμοί φωτός σε συνδυασμό με άλλα δεδομένα που καταγράφονται από το αερομεταφερόμενο σύστημα παράγουν ακριβείς, τρισδιάστατες πληροφορίες σχετικά με το σχήμα της Γης και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας.

Ένα όργανο LIDAR αποτελείται κατά κύριο λόγο από ένα λέιζερ, ένα σαρωτή και ένα εξειδικευμένο δέκτη GPS. Υπάρχουν δύο τύποι LIDAR, οι τοπογραφικοί και οι βαθυμετρικοί. Το τοπογραφικό LIDAR τυπικά χρησιμοποιεί ένα εγγύς υπέρυθρο λέιζερ για να χαρτογραφήσει τη Γη, ενώ το βαθυμετρικό χρησιμοποιεί το πράσινο φως που διεισδύει στο νερό για να μετρήσει επίσης τα υψόμετρα του πυθμένα της θάλασσας και των ποταμών.

List

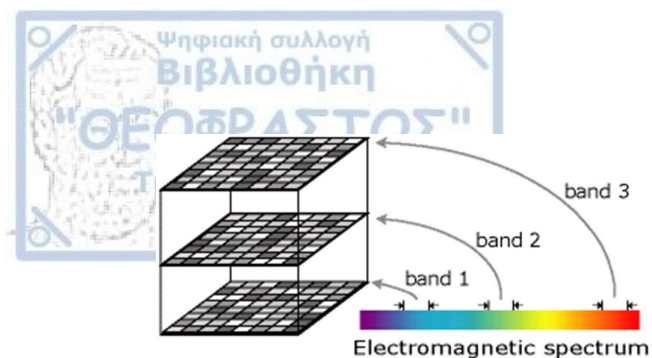
Η αποστολή Lidar Surface Topography (LIST) της NASA άρχισε το 2016 και αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2020. Στόχος της είναι η μέτρηση της τοπογραφίας στην επιφάνεια του εδάφους για την εκτίμηση κινδύνων και της απορροής του νερού. Συγκεκριμένα, η αποστολή με τη ακριβή τοπογραφική μελέτη αποσκοπεί

- στην ποσοτικοποίηση του κινδύνου πυρκαγιάς
- στην παρακολούθηση των αλλαγών χρήσεων γης και την εκτίμηση των επιπτώσεων από τη διαχείριση του τοπίου
- στην πρόβλεψη και πιθανότητα ηφαιστειακών εκρήξεων, κατολισθήσεων και σεισμών.

Οι προβλέψεις ακραίων φυσικών φαινομένων (τσουνάμι, πλημμύρες, κατολισθήσεις κα.) ως προς τον τόπο και τον χρόνο που θα συμβούν χρειάζεται ακριβή τοπογραφικά δεδομένα. Μέχρι σήμερα, τα παγκόσμια τοπογραφικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα έχουν ακρίβεια 30-90m, η οποία δεν είναι κατάλληλη για τέτοιου είδους μελέτες. Η αποστολή LIST αποβλέπει στην καταγραφή δεδομένων ακόμα μεγαλύτερης ακρίβειας (οριζόντια ανάλυση 5m, κατακόρυφη ακρίβεια 10cm) τα οποία συλλέγονται σε βάθος χρόνου με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Τέτοιες χρονοσειρές από τοπογραφικά δεδομένα υψηλής ακρίβειας επαρκούν για την χαρτογράφηση της απώλειας του εδάφους παγκοσμίως, για την πρόβλεψη της εξάπλωσης μεγάλων σεισμών, για τη εκτίμηση της δομής των δασικών εκτάσεων και κατ' επέκταση για την ποσοτικοποίηση του κινδύνου πυρκαγιάς με εξαιρετική αξιοπιστία.

3.6 Υψηλής και πολύ υψηλής ανάλυσης πολυφασματικές εικόνες

Οι πολυφασματικές εικόνες παράγονται από αισθητήρες που μετρούν την ανακλώμενη ενέργεια από συγκεκριμένα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (bands). Οι πολυφασματικοί αισθητήρες έχουν μετρήσεις από 3 έως 10 διαφορετικές ζώνες σε κάθε εικονοστοιχείο (pixel) των εικόνων που παράγουν. Παραδείγματα ζωνών σε αυτούς τους αισθητήρες είναι το ορατό πράσινο, ορατό κόκκινο, κοντινό υπέρυθρο, κλπ.



Εικόνα 5. Τρεις διαφορετικές ζώνες που απορροφούν ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Landsat- 8

Ο δορυφόρος Landsat 8 εκτοξεύτηκε το 2013 και η κατασκευή του είναι ένα προϊόν συνεργασίας της NASA και της Γεωλογικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ (USGS). Ο Landsat 8 μεταφέρει δύο όργανα καταγραφής,

- το Operational Land Imager(OLI) και
- το Thermal Infrared Sensor (TIRS).

Οι αισθητήρες αυτοί παρέχουν παγκόσμια εποχιακή κάλυψη των χερσαίων τμημάτων με ανάλυση:

- 30m για τις ζώνες (bands) που βρίσκονται στο ορατό κοντινό υπέρυθρο και μικροκυματικό υπέρυθρο,
- 100m για τις θερμικές ζώνες και
- 15m για την παγχρωματική ζώνη.

Ο αισθητήρας OLI συλλέγει δεδομένα στο ορατό κοντινό υπέρυθρο, στο μικροκυματικό υπέρυθρο και στο παγχρωματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Χαρακτηριστικό του αισθητήρα αυτού είναι ότι απορροφάει ακτινοβολία και από άλλες δύο ζώνες οι οποίες είναι ειδικές για την παρουσία νεφών (ζώνη 9) και την παράκτια ζώνη (ζώνη 1).

Όσον αφορά τον αισθητήρα TIRS συλλέγει δεδομένα σε 2 φασματικές ζώνες στο τμήμα του θερμικού υπέρυθρου. Ο Landsat 8 αποστέλλει περίπου 400 λήψεις εικόνων ανά ημέρα στο αρχείο δεδομένων του USGS (150 παραπάνω από τον Landsat 7), αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα για λήψεις εικόνων χωρίς σύννεφα

Οι δορυφορικές εικόνες Landsat 8 απεικονίζουν ολόκληρη τη Γη κάθε 16 ημέρες σε αντίθεση με την περίοδο επανάληψης του Landsat 7, που είναι 8 ημέρες. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα όργανα του δορυφόρου είναι διαθέσιμα για δωρεάν λήψη



από το EarthExplorer, GloVis ή το LandsatLook Viewer εντός 24 ωρών από την λήψη τους.

Sentinel-2

Το Sentinel-2 είναι μια αποστολή πολυφασματικής απεικόνισης υψηλής ανάλυσης που ξεκίνησε στο πλαίσιο του προγράμματος Copernicus Land Monitoring. Υποστηρίζει μελέτες για την παρακολούθηση του εδάφους, της βλάστησης, των υδατικών συστημάτων, καθώς και της παρατήρησης των εσωτερικών πλωτών οδών και των παράκτιων περιοχών.

Το πολυφασματικό όργανο του δορυφόρου(Multispectral Instrument) συλλέγει δεδομένα από 13 φασματικές ζώνες:

- 4 ζώνες με ανάλυση 10m,
- 6 ζώνες με ανάλυση 20m και
- 3 ζώνες με ανάλυση 60m.

Η ποιότητα των δεδομένων που διαθέτει, η μεγάλη χωρική κάλυψη και η υψηλή συχνότητα επανασυλλογής δεδομένων διαμορφώνουν ένα ανώτερο επίπεδο γεωπληροφορίας σε τοπική, περιφερειακή, εθνική και διεθνή κλίμακα. Τα δεδομένα έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να τροποποιούνται και να προσαρμόζονται από τους χρήστες διαφορετικών τομέων, όπως:

- χωροταξικού σχεδιασμού
- γεωργοπεριβαλλοντικής παρακολούθησης
- παρακολούθησης των υδατικών συστημάτων
- παρακολούθησης των δασών και της βλάστησης
- παρακολούθησης των φυσικών πόρων και του άνθρακα
- παρακολούθησης των καλλιεργειών

Landsat-4,5

Οι δορυφόροι Landsat 4 και 5,σαρώνουν κάθε σημείο της Γης κάθε 8 ημέρες. Χρησιμοποιούν δυο σαρωτές, τον πολυφασματικό σαρωτή MSS και τον TM. Ο σαρωτής MSS καταγράφει την πράσινη, κόκκινη και τις 2 κοντινές υπέρυθρες ζώνες με διακριτική ικανότητα 80m. Ο TM, έχει 7 φασματικές ζώνες με χωρική ανάλυση 30m και ραδιομετρική με 256 διαβαθμίσεις του τεφρού χρώματος (Αστάρης et al,2011).

Η κάθε φασματική ζώνη παρέχει διαφορετικές εφαρμογές. Η πράσινη ζώνη είναι κατάλληλη για την διάκριση της βλάστησης από τα πετρώματα. Η ερυθρή χρησιμοποιείται για την διάκριση ειδών βλάστησης, η ανακλώμενη υπέρυθρη είναι κατάλληλη για την οριοθέτηση των υδάτινων μαζών. Η φασματική ζώνη 1 (μπλε) βοηθά στον εντοπισμό αργιλικών πετρωμάτων, οριοθέτηση διαφόρων τύπων πετρωμάτων και γεωργικών εκτάσεων. Η φασματική ζώνη 5 είναι χρήσιμη για τον διαχωρισμό της νεφοκάλυψης από τα χιόνια και τον υπολογισμό της υγρασίας στα φυτά. Η θερμική υπέρυθρη (φασματική ζώνη 6) είναι κατάλληλη για θερμική χαρτογράφηση και διαχωρισμό περιοχών με διαφορετική υγρασία και η τελευταία φασματική ζώνη 7 εφαρμόζεται για υδροθερμική χαρτογράφηση και διάκριση πετρωμάτων (Αστάρας 1987 , Sabins 1987).

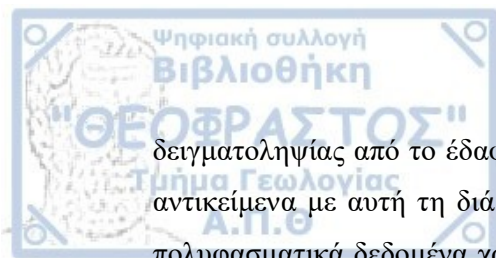
Οι εικόνες είναι χρήσιμες για ακαδημαϊκούς, ερευνητές και σπουδαστές που θέλουν να παρακολουθούν και να αναλύουν τα διαφορετικά είδη εδάφους, βλάστησης, καθώς και να αξιολογούν τη δομή των δασών και την κάλυψη γης.

Δορυφόροι πολύ υψηλής ανάλυσης (IKONOS, QUICKBIRD, GeoEye-1)

Ο δορυφόρος IKONOS είναι ο πρώτος δορυφόρος στον κόσμο για τη συλλογή παγχρωματικών (ασπρόμαυρων) εικόνων με ανάλυση 80 m και πολυφασματικών (έγχρωμων) με ανάλυση 3,2 m με δυνατότητα συγχώνευσης (ανάλυση 80m). Οι εικόνες του δορυφόρου IKONOS σε περιβαλλοντικό επίπεδο βοηθούν στην χαρτογράφηση υδάτινων μαζών, στη διάκριση μεταξύ γυμνού εδάφους και βλάστησης, στην οριοθέτηση αγροτικών εκτάσεων κ.α.

Ο δορυφόρος QuickBird -2 εκτοξεύτηκε από την Digital Globe (USA) το 2001 και διαθέτει πολυφασματικά δεδομένα χωρικής ανάλυσης 2,5 m και παγχρωματικά δεδομένα χωρικής ανάλυσης 0,6m. Οι δορυφορικές εικόνες είναι σε διαστάσεις 16,5 x 16,5 km. Ο δορυφόρος QuickBird -2 προσφέρει δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης, μεγάλης γεωγραφικής ακρίβειας που χρησιμοποιούνται για περιβαλλοντικές έρευνες και για την αξιολόγηση του κινδύνου φυσικών καταστροφών.

Ο δορυφόρος GeoEye-1, χρησιμοποιεί τα πιο εξελιγμένα συστήματα τηλεπισκόπησης, που έχουν κυρίως εμπορική χρήση. Ο GeoEye-1, εκτοξεύτηκε τον Σεπτέμβριο του 2008, με ύψος πτήσης περίπου 681km με επαναληψιμότητα σάρωσης 3 μέρες ή και λιγότερο. Είναι σε θέση να παράγει εικόνες με απόσταση



δειγματοληψίας από το έδαφος 46 cm, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να ανιχνεύει αντικείμενα με αυτή τη διάμετρο ή και μεγαλύτερη. Οι δορυφορικές εικόνες έχουν πολυφασματικά δεδομένα χωρικής ανάλυσης 1,65m, ενώ οι παγχρωματικές 41m. Τα δεδομένα πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης δεν διατίθενται δωρεάν και η τιμή τους ποικίλει ανάλογα με την έκταση, την ποιότητα και τα χαρακτηριστικά τους.

SPOT

Η σειρά δορυφόρων SPOT προσφέρει δορυφορικές εικόνες από οποδήποτε στον κόσμο, καθημερινά. Κάθε δορυφόρος SPOT περιλαμβάνει δύο πανομοιότυπα όργανα οπτικής απεικόνισης υψηλής ανάλυσης, τα οποία μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα ή μεμονωμένα είτε σε παγχρωματικό (P mode: μία ευρεία ζώνη στο ορατό τμήμα του φάσματος) είτε σε πολυφασματικό τρόπο λειτουργίας (XS mode: πράσινο, κόκκινο και υπέρυθρες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος). Ο προσανατολισμός του κατόπτρου κάθε οργάνου μπορεί να κατευθυνθεί εξ αποστάσεως από τους σταθμούς εδάφους, προσφέροντας δυνατότητα λοξής προβολής με γωνίες $\pm 27^\circ$ από τον κατακόρυφο άξονα του δορυφόρου. Με τον τρόπο αυτό, η χρονική ανάλυση μειώνεται από 26 σε 4-5 ημέρες για τις εύκρατες ζώνες. Οι δορυφόροι SPOT 1,2 και 3 διαθέτουν δυο αισθητήρες HRV που παρέχουν πολυφασματικές εικόνες με υψηλή διακριτική ικανότητα 20m και 10m στις παγχρωματικές.

Οι εικόνες που παρέχονται βρίσκουν χρήση σε γεωργικές μελέτες, στη δασοκομία, στον προσδιορισμό κάλυψης και χρήση γης, στη γεωλογία, στην υδρολογία, στην μελέτη παράκτιων πόρων και στη τοπογραφία.

Αεροφωτογραφίες

Οι αεροφωτογραφίες αποτελούν την πρωτογενή πληροφορία η οποία μέσω κατάλληλης επεξεργασίας μετασχηματίζεται σε χαρτογραφικά υπόβαθρα, διανυσματικά ή ψηφιδωτά (raster) υψηλής ποιότητας και ψηφιακά μοντέλα εδάφους. Η Γεωλογική Υπηρεσία Στρατού παρέχει αεροφωτογραφικά δεδομένα για όλη την Ελλάδα με τιμές που ποικίλουν ανάλογα με την μορφή, την εκτύπωση, και το μέγεθος της εικόνας.

3.7 Υπέρυθρες & Θερμικές εικόνες

Οι θερμικές υπέρυθρες εικόνες που λαμβάνονται από τους δορυφόρους παρέχουν εκτιμήσεις της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης (Land Surface Temperature).

Η μεταβλητή αυτή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις τοπικές συνθήκες υγρασίας και επιτρέπει την αξιολόγηση πολλών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με το νερό, όπως της εξατμισοδιαπνοής (Anderson et al. 2012).

Ο θερμικός υπέρυθρος αισθητήρας (Thermal Infrared Sensor-TIRS) μετρά τη θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους σε δύο θερμικές ζώνες με μια νέα τεχνολογία που εφαρμόζει την κβαντική φυσική για την ανίχνευση της θερμότητας. Ο αισθητήρας TIRS προστέθηκε σε αρκετούς δορυφόρους της σειράς Landsat (Landsat 8, 5, 7) και αποτελεί ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τη παρακολούθηση και διαχείριση του τρόπου κατανάλωσης νερού.

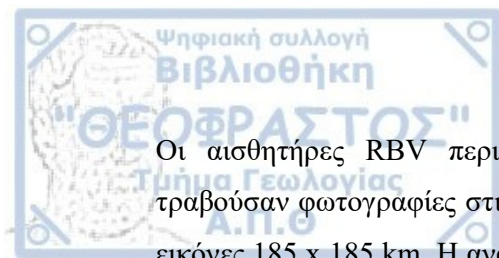
Ο TIRS χρησιμοποιεί υπέρυθρους φωτοανιχνευτές (Quantum Well Infrared Photodetectors-QWIPs) για την ανίχνευση μεγάλων μηκών κύματος φωτός που εκπέμπονται από τη Γη. Η ένταση των κυμάτων αυτών εξαρτάται από τη θερμοκρασία της επιφάνειας. Αυτά τα μήκη κύματος ονομάζονται θερμικά υπέρυθρα και βρίσκονται αρκετά μακριά από το ανθρώπινο ορατό φάσμα. Τα QWIP είναι μια νέα, χαμηλότερου κόστους εναλλακτική λύση στη συμβατική τεχνολογία υπέρυθρων ακτινών, η οποία αναπτύχθηκε από την NASA.

Ο φωτοανιχνευτής είναι ευαίσθητος σε δύο ζώνες θερμικού υπέρυθρου, ώστε να διαχωρίσει την θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης από την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Ο σχεδιασμός τους βασίζεται στις σύνθετες αρχές της κβαντικής μηχανικής. Τα τσιπ ημιαγωγών παγιδεύουν τα ηλεκτρόνια μέχρις ότου να διεγερθούν από τον θερμικό υπέρυθρο φως και μουν σε μεγαλύτερη ενεργειακή. Έτσι, τα διεγερμένα ηλεκτρόνια δημιουργούν ένα ηλεκτρικό σήμα το οποίο μπορεί να αναγνωριστεί και να καταγραφεί για να δημιουργήσει μια ψηφιακή εικόνα.

Η πρώτη σειρά LANDSAT

- LANDSAT 1: (23/07/1972 - 06/01/1978)
- LANDSAT 2: (22/01/1975 - 05/02/1982)
- LANDSAT 3: (05/03/1978 - 31/03/1983)

Οι τρεις πρώτοι δορυφόροι αποτελούταν από δύο οπτικά όργανα, έναν πολυφασματικό αισθητήρα (MultiSpectral Scanner- MSS) και μια σειρά βιντεοκαμερών (Return Beam Vidicons-RBVs).



Οι αισθητήρες RBV περιελάμβαναν μια σειρά από τρεις βιντεοκάμερες που τραβούσαν φωτογραφίες στις ορατές και υπέρυθρες ζώνες. Η ανάλυση ήταν 80m για εικόνες 185 x 185 km. Η ανάλυση των εικόνων από το Landsat 3 αυξήθηκε στα 40m, αλλά οι κάμερες πέρναν δεδομένα μόνο σε μία παγχρωματική ζώνη φάσματος (0,5-0,75μm).

Οι αισθητήρες MSS συγκέντρωναν πληροφορίες σε τέσσερις φασματικές ζώνες και σε μια περιοχή 185 x 185km. Ο πολυφασματικός σαρωτής του Landsat 3 περιλάμβανε μια πρόσθετη ζώνη στο φάσμα του θερμικού υπέρυθρου.

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά αισθητήρα MSS για τους Landsat 1,2,3.

Ζώνη	Μήκος κύματος(μm)	Ανάλυση (m)	Χαρτογραφικές χρήσεις
4. (πράσινο)	0,5-0,6	68 x 83	Οριοθέτηση περιοχών με ρηγά νερά
5. (κόκκινο)	0,6-0,7	68 x 83	Πολιτιστικά χαρακτηριστικά
6. (βραχύ IR)	0,7-0,8	68 x 83	Βλάστηση στα όρια χέρσου και υδάτινων συστημάτων
7. (βραχύ IR)	0,8-1,1	68 x 83	Διεισδύει καλύτερα στην ατμοσφαιρική ομίχλη
8. (θερμικό IR)	10,5-12,4	240 x 240 (LANDSAT 3)	

Η δεύτερη σειρά LANDSAT

- LANDSAT 4: (16/07/1982 – 15/06/2001)
- LANDSAT 5: (01/03/1984 – 05/06/2013)

Οι επόμενοι δύο δορυφόροι ήταν εφοδιασμένοι με δύο πολυφασματικούς αισθητήρες (Multispectral scanner –MSS,Thematic Mapper TM).

Οι αισθητήρες MSS ήταν ίδιοι με εκείνους στους πρώτους δύο δορυφόρους Landsat, ενώ σταμάτησαν να συλλέγουν δεδομένα το 1992.

Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά αισθητήρα MSS για τους Landsat 4,5.

Ζώνη	Μήκος κύματος(μm)	Ανάλυση (m)	Χαρτογραφικές χρήσεις
1. (πράσινο)	0,5-0,6	68 x 83	Παράκτιες ζώνες, θαλάσσια ιζήματα
2. (κόκκινο)	0,6-0,7	68 x 83	Δρόμοι και αστικές περιοχές
3. (βραχύ IR)	0,7-0,8	68 x 83	Βλάστηση και χαρτογράφηση των ορίων γης-νερού
4. (βραχύ IR)	0,8-1,1	68 x 83	Βλάστηση και χαρτογράφηση των ορίων γης-νερού

Οι αισθητήρες TM είναι σαρωτές υψηλής ανάλυσης που έχουν επτά φασματικές ζώνες και καλύπτουν μια περιοχή 185 x 185km.

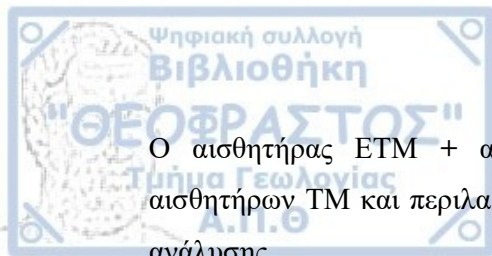
Πίνακας 8 :Χαρακτηριστικά αισθητήρα TM για τους Landsat 4,5.

Ζώνη	Μήκος κύματος(μm)	Ανάλυση (m)	Χαρτογραφικές χρήσεις
1. (μπλε)	0,45-0,52	30 x 30	Διαφοροποίηση βλάστησης-εδάφους, παράκτιες ζώνες
2. (πράσινο)	0,52-0,60	30 x 30	Βλάστηση
3. (κόκκινο)	0,63-0,69	30 x 30	Διαφορετικά είδη βλάστησης
4. (βραχύ IR)	0,76-0,90	30 x 30	Βιομάζα
5. (μέσο IR)	1,55-1,75	30 x 30	Διαφοροποίηση χιονιού-νεφών
6. (θερμικό IR)	10,41-12,5	120 x 120	Θερμότητα
7. (μέσο IR)	2,08-2,35	30 x 30	Λιθολογία

Η τρίτη σειρά LANDSAT

- LANDSAT 6: (05/10/1993 – 05/10/1993)
- LANDSAT 7 (15/04/1999 – σε λειτουργία)

Η τελευταία γενιά των δορυφόρων Landsat ξεκίνησε με αποτυχία, καθώς ο Landsat 6 χάθηκε λίγο μετά την εκτόξευσή του. Το Landsat 7 είναι εξοπλισμένο με τον πολυφασματικό αισθητήρα (Enhanced Thematic Mapper Plus-ETM+).



Ο αισθητήρας ETM + αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση των προηγούμενων αισθητήρων TM και περιλαμβάνει μια επιπλέον παγχρωματική ζώνη υψηλής ανάλυσης.

Πίνακας 9 :Χαρακτηριστικά αισθητήρα ETM + για τους Landsat 6,7.

Ζώνη	Μήκος κύματος(μ m)	Ανάλυση (m)	Χαρτογραφικές χρήσεις
1. (μπλε)	0,441-0,514	30 x 30	Βαθυμετρική χαρτογράφηση, διαχωρισμός εδάφους-βλάστησης
2. (πράσινο)	0,519-0,601	30 x 30	Κατάσταση βλάστησης
3. (κόκκινο)	0,631-0,692	30 x 30	Διάκριση ειδών βλάστησης
4. (βραχύ IR)	0,772-0,898	30 x 30	Ποσότητα βιομάζας
5.(Short-wave IR)	1,547-1,749	30 x 30	Διάκριση υγρασίας εδάφους & βλάστησης.
6. (θερμικό IR)	10,31-12,36	60 x 60	Θερμική χαρτογράφηση-εκτίμηση υγρασίας εδάφους
7.(Short-wave IR)	2,064-2,345	30 x 30	Αναγνώριση τροποποιημένων πετρωμάτων-εναπόθεση ορυκτών
8. (PAN)	0,515-0,896	15 x 15	Ευκρινέστερη εικόνα

Landsat Data Continuity (LDCM)

LANDSAT 8: (11/02/2013–σε λειτουργία)

Το Landsat 8 ξεκίνησε είναι εξοπλισμένο με έναν πολυφασματικό αισθητήρα (Operational Land Imager -OLI) και έναν θερμικό αισθητήρα (Thermal Infrared Sensor -TIRS).Το Landsat 9 σχεδιάζεται να κυκλοφορήσει το 2020.

Ο αισθητήρας OLI είναι πιο εξελιγμένος από τον σαρωτή TM του Landsat 7, καθώς διαθέτει δύο νέες φασματικές ζώνες , την ζώνη Cirrus που χρησιμοποιείται για την διάκριση των νεφών και την ζώνη CA (Coastal/Aerosol), που είναι ειδική για τα ρηχά νερά αλλά και για τα σωματίδια του αέρα (π.χ. σκόνη, καπνός).

Πίνακας 10. : Χαρακτηριστικά αισθητήρα OLI για τον Landsat 8.

Ζώνη	Μήκος κύματος(μm)	Ανάλυση (m)	Χαρτογραφικές χρήσεις
1. (CA)	0,435-0,451	30 x 30	Μέτρηση χλωροφύλλης, ανθίσεις φυτοπλαγκτόν
2. (μπλε)	0,452-0,512	30 x 30	Βαθυμετρική χαρτογράφηση, διαχωρισμός εδάφους-βλάστησης
3 (πράσινο)	0,533-0,590	30 x 30	Κατάσταση βλάστησης
4. (κόκκινο)	0,636-0,673	30 x 30	Διάκριση ειδών βλάστησης
5. (βραχύ IR)	0,85 -0,879	30 x 30	Ποσότητα βιομάζας
6.(Short-wave IR)	1,566-1,651	30 x 30	Εκτίμηση υγρασίας εδάφους & βλάστησης.
7.(Short-wave IR)	2,107-2,294	30 x 30	Ακριβέστερη εκτίμηση υγρασίας
8. (PAN)	0,503-0,676	15 x 15	Μεγαλύτερη ευκρίνεια
9. (Cirrus)	1,363-1,384	30 x 30	Ανίχνευση νεφών σε μεγάλα υψόμετρα

Ο αισθητήρας TIRS περιλαμβάνει τις φασματικές ζώνες 10 και 11 που είναι κατάλληλες για χαρτογράφηση γεωλογικών σχηματισμών και περιοχών με διαφορετική θερμοκρασία εδάφους. Παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη χρήση αρδευτικού νερού σε άνυδρες εκτάσεις και για την κατανομή ποσοτήτων θερμότητας σε αστικές περιοχές.

Πίνακας 11.: Χαρακτηριστικά αισθητήρα TIRS για τον Landsat 8.

Ζώνη	Μήκος κύματος(μm)	Ανάλυση (m)	Χαρτογραφικές χρήσεις
10. (θερμικό IR)	10,60 -11,19	100 x100	Θερμική χαρτογράφηση και εκτίμηση υγρασίας εδάφους
11. (θερμικό IR)	11,50 -12,51	100 x100	Βελτιωμένη θερμική χαρτογράφηση και εκτίμηση υγρασίας εδάφους

3.8 Υπερφασματικές εικόνες

Οι υπερφασματικές εικόνες μπορούν να περιέχουν έως και 200 (ή περισσότερες) συνεχόμενες φασματικές ζώνες. Οι πολυάριθμες αυτές ζώνες παρέχουν μια συνεχή μέτρηση σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και επομένως είναι πιο ευαίσθητες στις ανεπαίσθητες μεταβολές της ανακλώμενης ενέργειας. Οι εικόνες που παράγονται από τους υπερφασματικούς αισθητήρες περιέχουν πολύ περισσότερα δεδομένα από αυτές των πολυφασματικών αισθητήρων και έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες ανίχνευσης διαφορών μεταξύ των χαρακτηριστικών του εδάφους και του νερού. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολυφασματικές εικόνες για τη χαρτογράφηση δασικών περιοχών, ενώ οι υπερφασματικές εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη χαρτογράφηση των διαφορετικών φυτικών ειδών μέσα στο δάσος.

EO-1/HYPERION

Ο δορυφόρος Earth Observing-1 (EO-1) τέθηκε σε λειτουργία το 2000 από την NASA και την USGS. Στόχος είναι η συλλογή υπερφασματικών (από το φασματόμετρο Hyperion) και πολυφασματικών εικόνων (από το φασματόμετρο ALI).

Το φασματόμετρο Hyperion παρέχει βελτιωμένα δεδομένα γεωσκόπησης που βοηθούν στην ανάλυση των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας. Παρέχουν δεδομένα σε εκατοντάδες φασματικές ζώνες, σε αντίθεση με τις δέκα πολυφασματικές ζώνες της σειράς Landsat. Μέσα από αυτές τις φασματικές ζώνες, μπορούν να απεικονιστούν και να ταξινομηθούν με ακρίβεια σύνθετα εδαφικά οικοσυστήματα.

Το Hyperion παρέχει ένα υπερφασματικό σύστημα απεικόνισης υψηλής ανάλυσης ικανό να διαχωρίσει 220 φασματικές ζώνες (από 0,4 έως 2,5 μm) με ανάλυση 30m.

Το όργανο παρέχει λεπτομερή φασματική χαρτογράφηση σε όλα τα 220 κανάλια με υψηλή ακτινομετρική ακρίβεια. Οι υπερφασματικές εικόνες που εξάγει είναι χρήσιμες, στον τομέα της εξόρυξης, της γεωλογίας για την οριοθέτηση γεωλογικών σχηματισμών (Gupta, 2003), της δασοκομίας για την χαρτογράφηση διαφορετικών τύπων βλάστησης, της γεωργίας και της περιβαλλοντικής διαχείρισης.

3.9 Εικόνες RADAR

Τα ραντάρ εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα που διαδίδονται στο χώρο και συγκρούονται με τα αντικείμενα που βρίσκονται στην ίδια τροχιά. Τα αντικείμενα ανακλούν τμήμα της ακτινοβολίας, οποία συλλαμβάνεται και πάλι από το ραντάρ. Έτσι, γίνεται γνωστή η θέση και η ταχύτητα του αντικειμένου, καθώς και κάποια ακόμα χαρακτηριστικά, τα οποία καταγράφονται και ψηφιοποιούνται.

Sentinel-1

Ο πρώτος δορυφόρος της σειράς Sentinel, Sentinel-1, φέρει ένα προηγμένο όργανο ραντάρ για να παρέχει δεδομένα σε όλες τις καιρικές συνθήκες και καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας .

Το ραντάρ SAR (Synthetic Aperture Radar) της ζώνης C (3,75cm – 7.5cm) παρέχει εικόνες υψηλής ανάλυσης και με καλή διακριτική ικανότητα. Ωστόσο, οι εικόνες που εξάγονται πρέπει να χρησιμοποιούνται πάντα σε συνδυασμό με άλλες δορυφορικές εικόνες. Τα πλεονεκτήματα των ραντάρ είναι τα εξής:

- Δίνουν εικόνες ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών και όλες τις ώρες της ημέρας.
- Οι λωρίδες των εικόνων ραντάρ καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις , με τις οποίες μπορούμε να δημιουργήσουμε στερεοζεύγη λόγω της αλληλοεπικάλυψης τους, και στερεοσκοπική παρατήρηση. Έτσι είναι δυνατή η δημιουργία χάρτη με λίγες παραμορφώσεις , χρήσιμο για γεωλογική μελέτη.
- Λόγω της πλάγιας σάρωσης και ότι η κεραία SAR λαμβάνει εικόνες διαδοχικών θέσεων αλλά σε διαφορετικούς χρόνους, τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της παραμόρφωσης της Γης, την μορφολογία, την τεκτονική, την οριοθέτηση περιοχών που



καλύπτονται με πάγο, τον εντοπισμό πετρελαιοκηλίδων και γενικά την υδρολογία της εκάστοτε περιοχής.

TerraSAR-X

Ο TerraSAR-X παρέχει εικόνες ραντάρ υψηλής ανάλυσης με δυνατότητα σάρωσης μεγάλων περιοχών ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Τα χαρακτηριστικά που κάνουν τον δορυφόρο TerraSAR-X χρήσιμο εργαλείο μελέτης της Γης είναι:

- Ευέλικτη κάλυψη και ανάλυση
- Εξαιρετική γεωμετρική και ραδιομετρική ακρίβεια
- Γρήγορη και εύκολη πρόσβαση χάρη ενός ολοκληρωμένου δικτύου επίγειων σταθμών

Οι εικόνες του TerraSAR-X μπορούν να αποκτηθούν σε διαφορετικούς τύπους και αναλύσεις (0,25m / 1m / 3m / 18,5m / 40m). Χάρη σε διαφορετικούς πολωσιμετρικούς συνδυασμούς και επίπεδα επεξεργασίας, οι απεικονιζόμενες εικόνες μπορούν να προσαρμοστούν ειδικά για να ικανοποιήσουν διαφορετικές απαιτήσεις (αναγνώριση αντικειμένων, χαρτογράφηση μικρής και μεγάλης κλίμακας, λεπτομερής θαλάσσια παρακολούθηση).

COSMO-SkyMed

Το σύστημα COSMO-SkyMed είναι ένας συνδυασμός τεσσάρων δορυφόρων ραντάρ για την παρατήρηση της Γης. Ο COSMO-SkyMed χρησιμοποιεί αισθητήρες ραντάρ υψηλής ανάλυσης από 1 έως 100m για να παρακολουθεί τη Γη μέρα και νύχτα, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες.

Σκοπός του είναι να παρακολουθεί τη Γη για λόγους πρόληψης έκτακτης ανάγκης όπως είναι η διαχείριση περιβαλλοντικών κινδύνων και η χαρτογράφηση πλημμύρων, καθώς παρέχει πληροφορίες άμεσα και σχεδόν καθημερινά. Λόγω της υψηλής ακρίβειας (έως και μερικά χιλιοστά), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση του εδάφους (κατολισθήσεις, ηφαίστεια). Η χρήση του, καταλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε παγκόσμια κλίμακα, όπως, η διαχείριση κινδύνου, περιβαλλοντική προστασία, εξερεύνηση των φυσικών πόρων, διαχείριση της Γης, καθώς και στρατιωτική χρήση (άμυνα και ασφάλεια). Οι τιμές των δεδομένων ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος της εικόνας, της ανάλυσης των εικονοστοιχείων και το είδος του οργάνου που παρέχει την εικόνα.

RADARSAT-2

Ο δορυφόρος RADARSAT-2, εκτοξεύτηκε το 2007, και αποτελεί ένα πιο βελτιωμένο μοντέλο του δορυφόρου RADARSAT-1. Είναι επανδρωμένος με ραντάρ συνθετικού διαφράγματος SAR (C-band) που μεταβάλλει την γωνία εκπομπής της μικροκυματικής ακτινοβολίας, με ζώνη σάρωσης 35-500 km και διακριτική ικανότητα 3m. Ο στόχος της αποστολής είναι να συλλεχθούν δεδομένα SAR για την δημιουργία ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου.

Οι εικόνες του ραντάρ είναι κατάλληλες για υδρολογικές εφαρμογές, εν μέρει επειδή το SAR είναι τόσο ευαίσθητο στην τραχύτητα της επιφάνειας και στο νερό και μπορεί έτσι να διακρίνει εύκολα τα χαρακτηριστικά του νερού και της Γης. Οι πολωσιμετρικές δυνατότητες του RADARSAT-2 βελτιώνουν τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους και την παρακολούθηση χιονοκάλυψης.

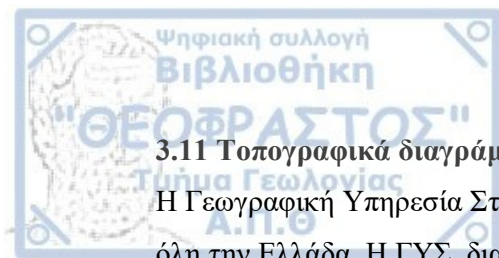
Στον τομέα της γεωλογίας, τα δεδομένα του ραντάρ χρησιμοποιούνται τόσο για την εξερεύνηση και χαρτογράφηση επί ξηράς όσο και για την ανοικτή θάλασσα, καθώς και για την παρακολούθηση και την ανίχνευση πετρελαιοκηλίδων. Χρησιμοποιείται επίσης για την εξαγωγή γεωφυσικών πληροφοριών εδάφους, όπως είναι η τραχύτητα της επιφάνειας, η οποία είναι χρήσιμη για την κατανόηση διαδικασιών όπως η διάβρωση του εδάφους.

Το πλεονέκτημα του RADARSAT-2 έναντι άλλων συστημάτων ραντάρ και οπτικών συστημάτων για γεωλογικές εφαρμογές είναι η μεγάλη λεπτομέρεια. Συνεπώς, παρέχουν λεπτομερέστερη χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών του εδάφους και των λεπτών γεωλογικών δομών.

3.10 Τοπογραφικοί χάρτες

Η ΓΥΣ διαθέτει τοπογραφικούς χάρτες σε αναλογική μορφή διαφόρων χρονολογιών και κλιμάκων (1:25.000, 1:50.000, 1:100.000, 1:250.000, 1:500.000, 1:1.000.000).

Επίσης διαθέτει διανυσματικά δεδομένα χαρτών κλίμακας 1:50.000 από ψηφιοποιήσεις σαρωμένων χαρτών ή από πρωτογενή δεδομένα, διανυσματικά δεδομένα χαρτών ERM κλίμακας 1:250.000, και διανυσματικά δεδομένα χαρτών EGM κλίμακας 1:1.000.000. Η κάλυψη αφορά όλη τη χώρα ενώ για τις κλίμακες 1:50.000 και 1:100.000 υπάρχουν διαβαθμισμένα φύλλα χάρτη, τα οποία χορηγούνται κατόπιν ειδικής άδειας.



3.11 Τοπογραφικά διαγράμματα

Η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) παρέχει χαρτογραφικές πληροφορίες για όλη την Ελλάδα. Η ΓΥΣ, διαθέτει 12.950 τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 σε μορφή raster. Τα τοπογραφικά διαγράμματα δεν διατίθενται δωρεάν, η τιμή τους ποικίλει ανάλογα με την μορφή διάθεσης του αρχείου, π.χ σε μορφή raster η τιμή του τεμαχίου είναι 30,24€.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ-ΠΙΝΑΚΑ-ΧΑΡΤΩΝ

4.1 Εισαγωγή

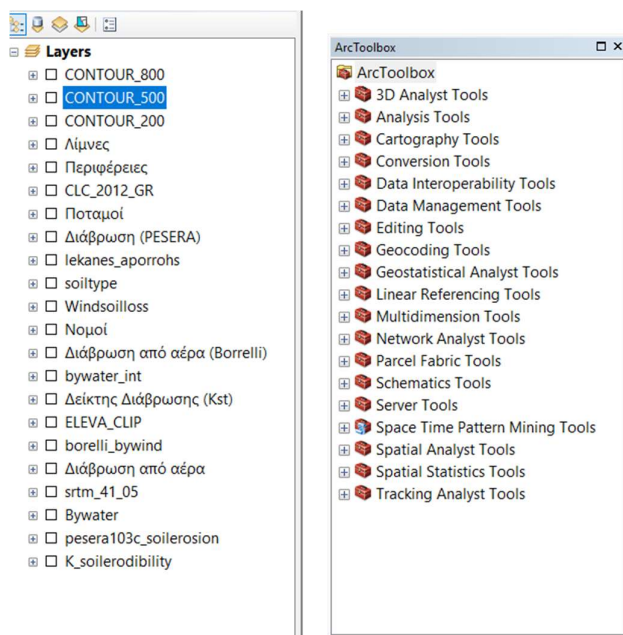
Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης είναι ένα χρήσιμο εργαλείο στην μελέτη και εξερεύνηση των ποτάμιων συστημάτων χρησιμοποιώντας δεδομένα Radar, δορυφορικές εικόνες, πολυφασματικά και υπερφασματικά δεδομένα και δεδομένα Lidar (Bizzi et al. 2015). Η χρησιμότητα και η αξιοποίηση των δεδομένων αυτών εξαρτάται από: την διαθεσιμότητα τους, την ανάλυση τους και την ικανότητα τους να συνδυαστούν για να μπορέσουν να εξαχθούν λογικά συμπεράσματα και προβληματισμοί. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε το πρόγραμμα River Hierarchical Framework (RHF) το οποίο συγκεντρώνει και αναλύει τα σύνολα των δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται για την υδρομορφολογική μελέτη των ποταμών.

4.2 Μεθοδολογία και δημιουργία βάσης δεδομένων και χαρτών

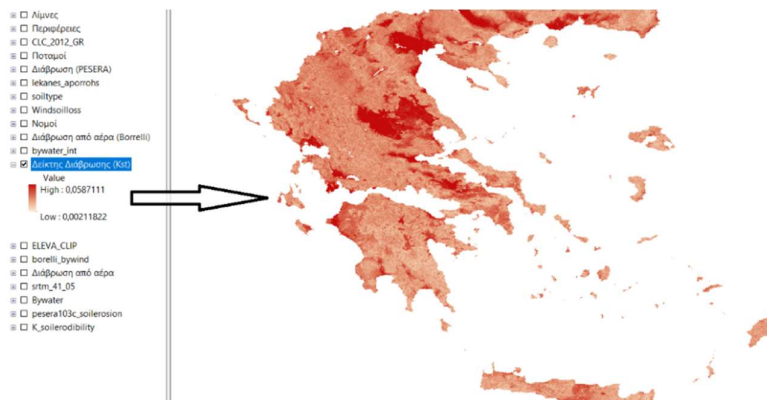
Στην παρούσα εργασία συγκεντρώθηκαν και αναλύθηκαν τα δεδομένα του Πίνακα 1-4. Συλλέχθηκαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα από τις πηγές που αναφέρονται (πχ Geodata, Esri, Copernicus) τα οποία απεικόνιζαν όλη την Ευρώπη. Τα χωρικά δεδομένα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες α) γραμμικά επίπεδα πληροφοριών όπως κλάδοι υδρογραφικού δικτύου, ισοϋψείς β)πολύγωνα όπως νομοί, περιφέρειες της Ελλάδας, λίμνες και γ) δεδομένα αναγλύφου από τα οποία δημιουργήθηκαν οι ισοϋψείς. Όλα τα δεδομένα επεξεργάστηκαν σε πρόγραμμα Γεωπληροφορικών Δεδομένων και πιο συγκεκριμένα την σουίτα της ESRI το ArcGIS.

Από τα πρώτα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν να δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων επικεντρωμένη για την Ελλάδα στο Arcmap. Η δημιουργία αυτής της βάσης είχε κάποια συγκεκριμένα βήματα.

1. Μέσω του toolbox του Arcmap (Arc Toolbox, Data Management Tools/Raster/Raster processing/Clip) χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο clip για να κοπούν όλα τα δεδομένα, που περιέχει η βάση, σε επίπεδο Ελλάδος. Π.χ:



2. Από τη στιγμή που έγινε το clip για την Ελλάδα, το επόμενο βήμα ήταν να γεωαναφερθούν όλα τα δεδομένα στο ίδιο προβολικό σύστημα. Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι το ΕΓΣΑ 87 (GGRS_1987).
3. Στη συνέχεια έγινε η μορφοποίηση του κάθε δεδομένου ξεχωριστά. Ακολουθεί ένα παράδειγμα στο οποίο φαίνεται, ότι κόπηκε για την Ελλάδα ο χάρτης που δείχνει το δείκτη διάβρωσης, Kst, ποσοτικοποιήθηκε και χρωματίστηκε για να φαίνονται οι διακυμάνσεις στη διάβρωση.

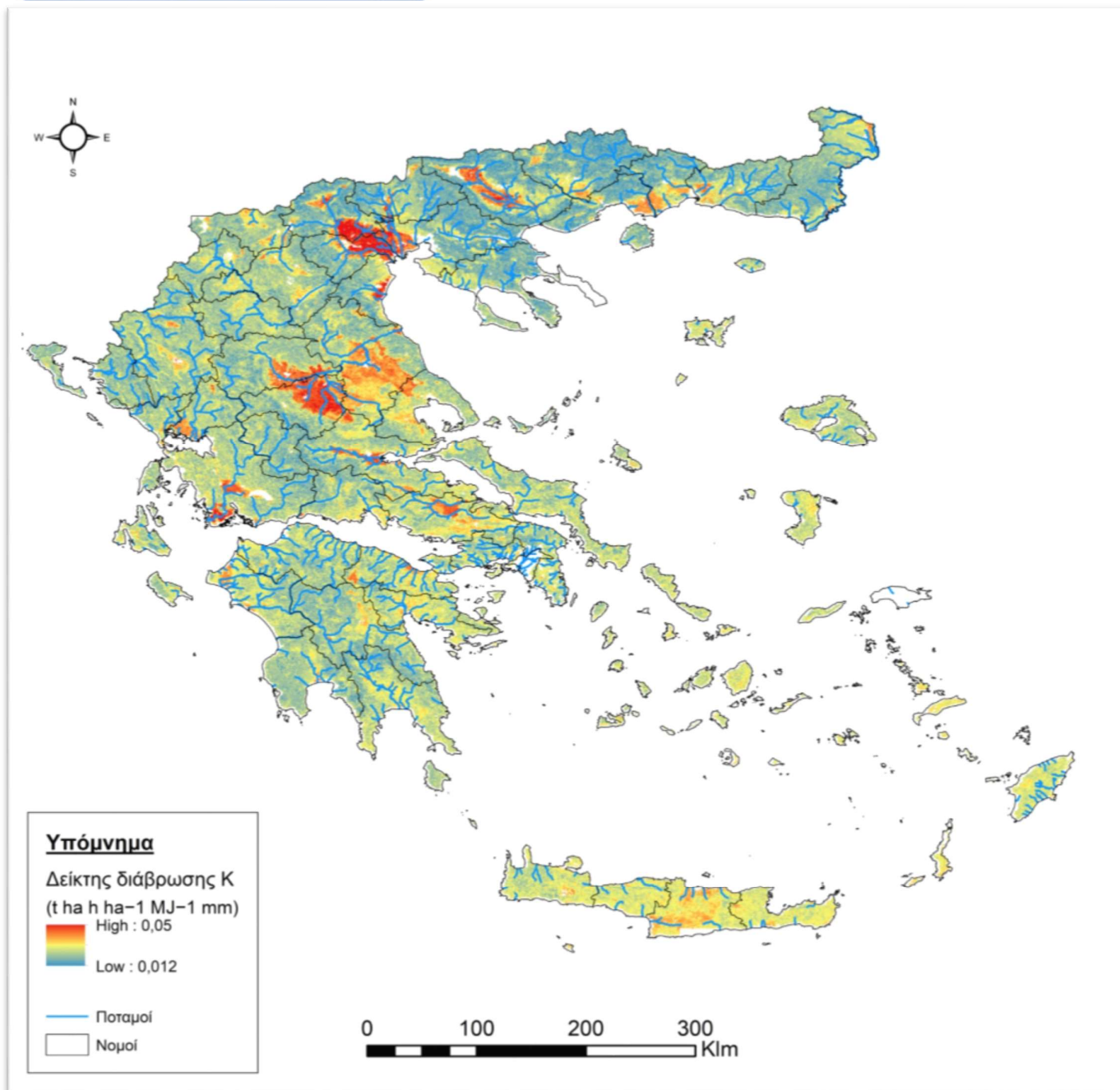


4. Κάποια επιπρόσθετα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το merge το οποίο βοήθησε να δημιουργηθεί το DEM της Ελλάδος από δύο DEM της Ευρώπης. Το contour που φτιάχνει τις ισοϋψείς μέσω του αρχείου DEM και διάφορα άλλα εργαλεία που αναζητούνταν ανάλογα με τη δουλειά που χρειάζεται να γίνει σε κάθε στάδιο.
5. Μετά τη συγγραφή του κειμένου και την ανάλυση και γραπτώς όλων των δεδομένων του Πίνακα Ιδιοτήτων (1-4), έγινε η επιλογή σημείων με επιστημονικό ενδιαφέρον για να δημιουργηθούν χάρτες.
6. Οι χάρτες δημιουργήθηκαν μέσω του Arcmap με την επιλογή export map και διάφορες γραφικές μορφοποιήσεις όπως οι διαβαθμίσεις των χρωμάτων, το μέγεθος του χάρτη, το υπόμνημα, η κλίμακα, ο προσανατολισμός.

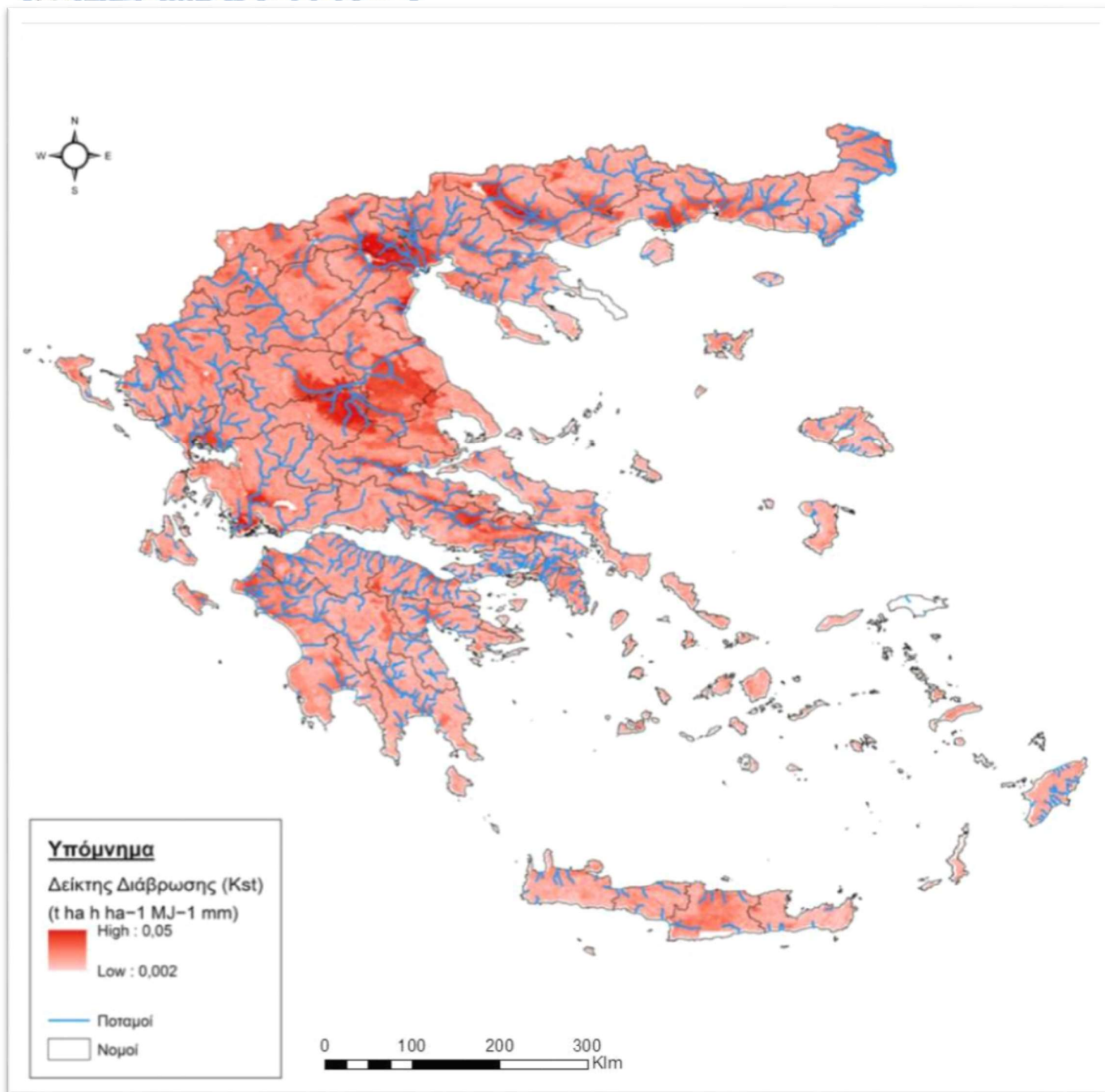
Κύριος στόχος είναι η εκτίμηση και η ορθολογική αξιολόγηση των δεδομένων τηλεπισκόπησης για την δημιουργία μιας βάσης η οποία θα επιτρέπει την σωστή και στρατηγική χρήση τους στην εκτίμηση της Υδρομορφολογίας στον Ελλαδικό χώρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ArcGIS



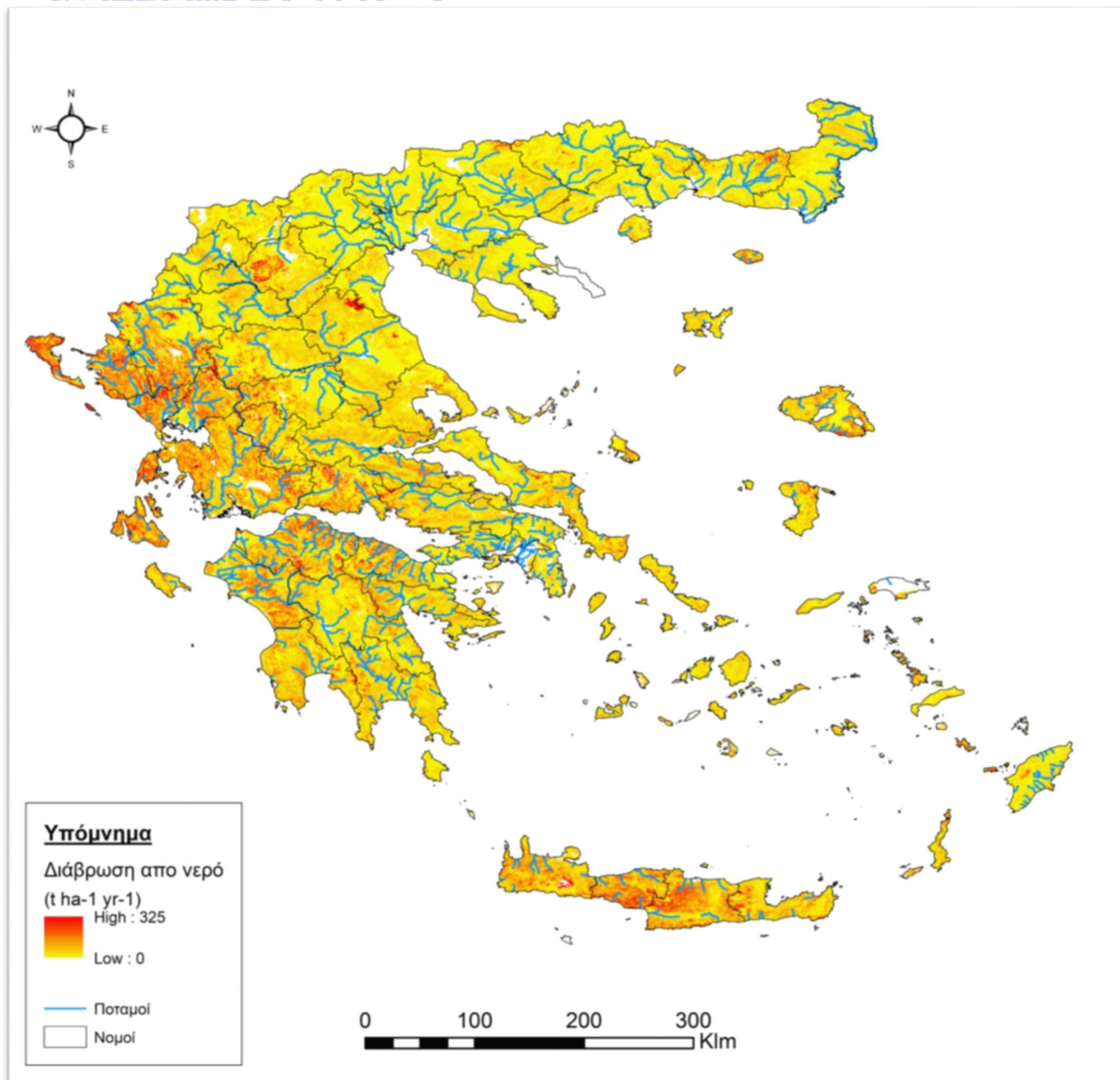
Χάρτης 1 : Οι τιμές του συντελεστή διάβρωσης K για την Ελλάδα.



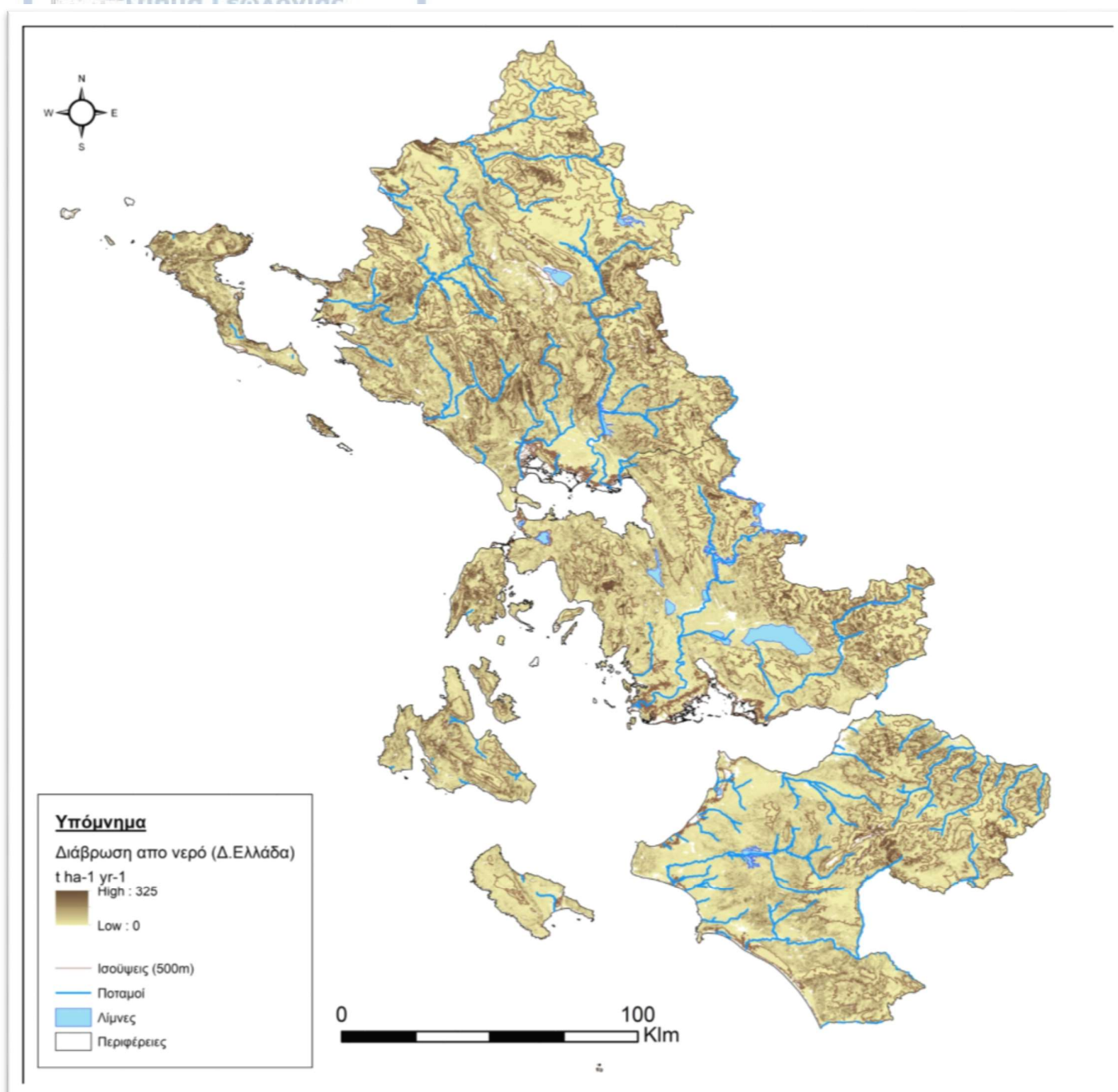
Χάρτης 2 : Οι τιμές του συντελεστή διάβρωσης K_{st} στην Ελλάδα

Στους Χάρτες 1 και 2 παρατηρούμε την διακύμανση των συντελεστών K και K_{st} αντίστοιχα, για την Ελλάδα. Οι χάρτες αυτοί απεικονίζουν την ευαισθησία του εδάφους στην δράση της διάβρωσης που εκφράζεται με τους συντελεστές K και K_{st} .

Παρατηρούμε ότι οι τιμές του K_{st} είναι μικρότερες από τις τιμές του K καθώς η πετρώδης κάλυψη λειτουργεί σαν προστατευτικό κάλυμμα του εδάφους έναντι στην δράση της διάβρωσης. Οι περιοχές που εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές διαβρωσιμότητας και για τους δύο συντελεστές εντοπίζονται στις περιοχές δυτικά της οροσειράς της Πίνδου και σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο (Κ. Μακεδονία, Θράκη, Θεσσαλία και Στερεά Ελλάδα). Στο δέλτα του Αξιού και του Αλιάκμονα παρατηρείται έντονη διάβρωση του εδάφους. Κατά μήκος του ποταμού Στρυμόνα μέχρι την κατάληξη του στον Στρυμονικό κόλπο και στις καλλιεργούμενες εκτάσεις στην περιοχή γύρω από τον ποταμό Νέστο, υπάρχει έντονη απώλεια εδάφους σύμφωνα με τις υψηλές τιμές που εμφανίζουν οι δυο συντελεστές K και K_{st} . Τέλος στην πεδιάδα του Πηνειού, δυτικά του Ολύμπου παρατηρείται μια περιοχή μεγάλης έκτασης με έντονη δράση της διάβρωσης. Συνεπώς γίνεται φανερό ότι οι περιοχές που επηρεάζονται από την δράση της διάβρωσης έχουν κοινά μορφολογικά χαρακτηριστικά. Είναι πεδινές εκτάσεις με χαμηλό υψόμετρο, υπάρχει έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα λόγω των καλλιεργειών και διασχίζονται από ποτάμια.



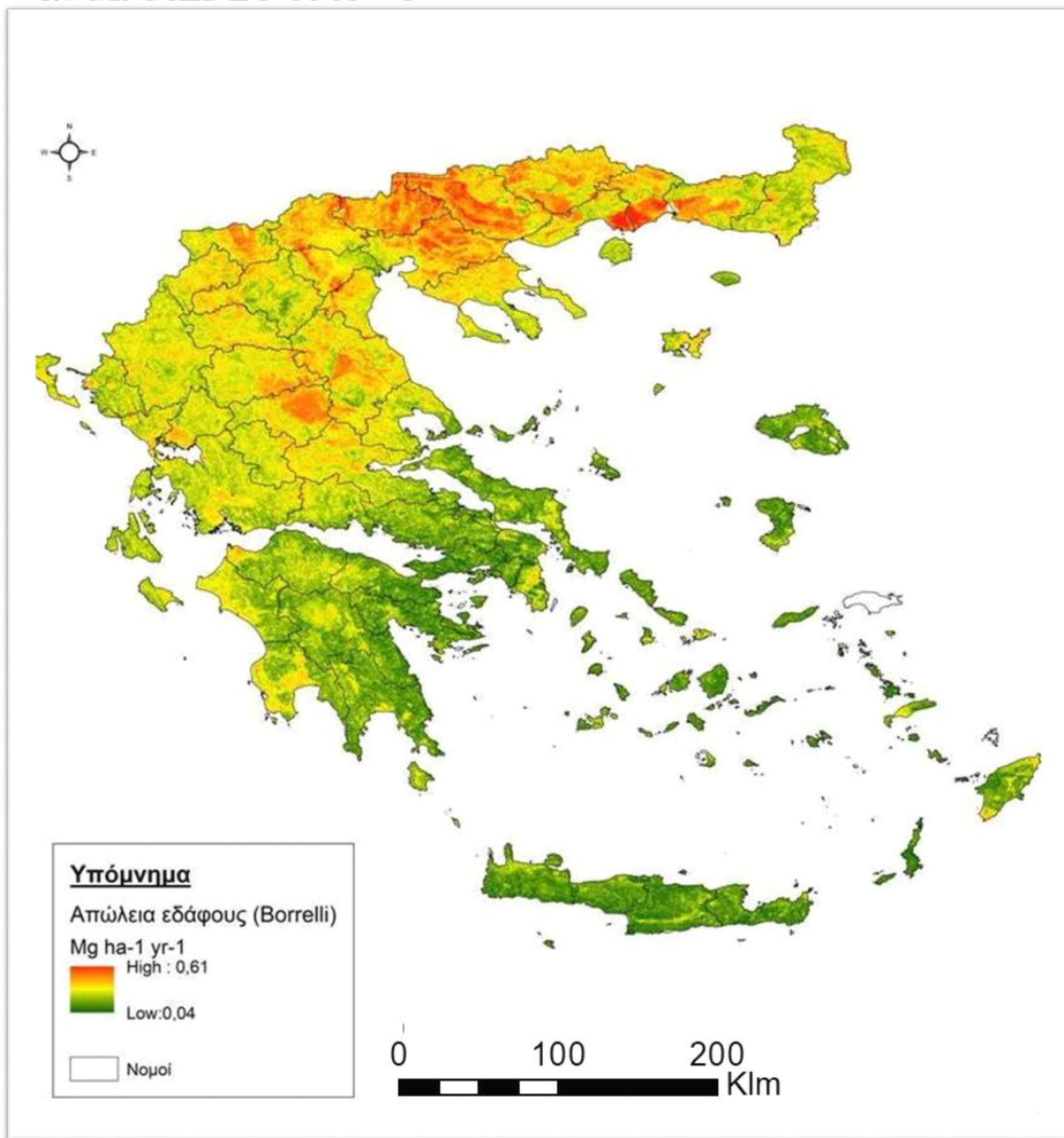
Χάρτης 3 : Η διάβρωση του εδάφους από το νερό στον Ελλαδικό χώρο



Χάρτης 4:Χάρτης διάβρωσης λόγω δράσης του νερού στα Ιόνια νησιά, Ήπειρος και Δ. Στερεά Ελλάδα

Η διάβρωση του εδάφους από το νερό υπολογίστηκε βάσει του βελτιωμένου μοντέλου RUSLE 2015 (Panagos et al. 2015) που προβλέπει την απώλεια εδάφους λόγω της πτώσης των βροχοσταγόνων και της απορροής κατά μήκος των ποταμών.

Παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στην Κρήτη, στα νησιά του Ιονίου, στις παράλιες περιοχές της Ηπείρου και της Δυτικής Ελλάδας καθώς και σε περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας. Στα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ στην Πτολεμαΐδα παρατηρείται έντονη διάβρωση λόγω της υποβάθμισης και της καταστροφής του εδάφους από τις εργασίες εξόρυξης. Η κατανομή των ορεινών όγκων έχει άμεση επίδραση στο βροχομετρικό καθεστώς στην κάθε χώρα. Στην Δυτική Ελλάδα παρατηρείται ότι η κατανομή των ορεινών όγκων επηρεάζει το ύψος της βροχής, η οποία εκτείνεται δυτικά του ορεινού όγκου της Πίνδου μέχρι τις δυτικές ακτές της Πελοποννήσου με αποτέλεσμα να παρατηρούνται οι μεγαλύτερες βροχοπτώσεις, σε αντίθεση με την υπόλοιπη ανατολική Ελλάδα. Επιπλέον στην δυτική Ελλάδα υπάρχουν πολλοί ποταμοί με σημαντική απορροή με τις πηγές τους να βρίσκονται δυτικά της Πίνδου μέχρι την προέκταση της στην Πελοπόννησο (Βουβαλίδης, 2011). Στον Χάρτη 4, απεικονίζονται οι περιοχές της Δ. Ελλάδας όπου η δράση του νερού (βροχόπτωση, ποτάμια) είναι έντονη με αποτέλεσμα την έντονη διάβρωση του εδάφους, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

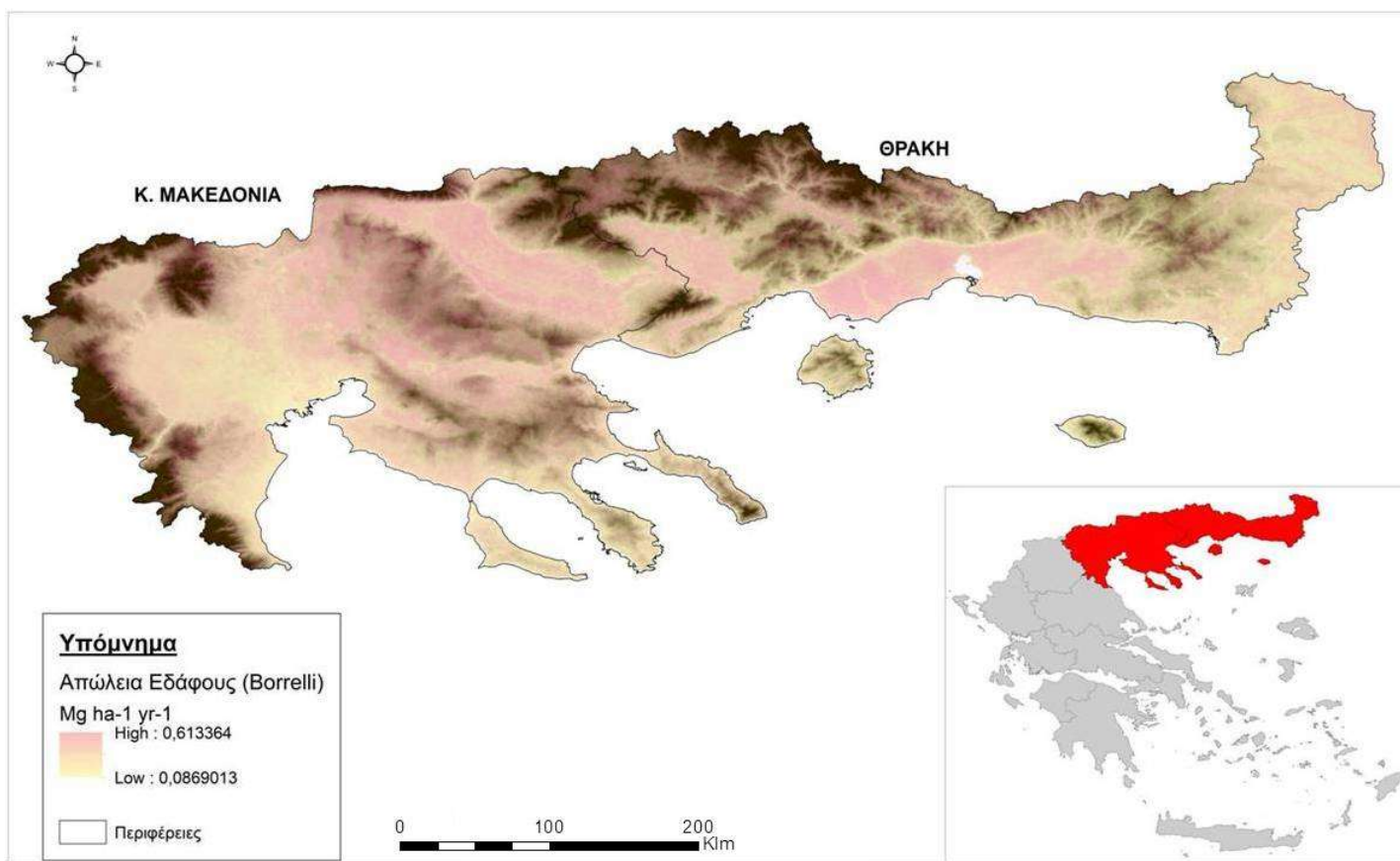


Χάρτης 5 : Η διάβρωση λόγω της δράσης του αέρα σύμφωνα με την εξίσωση του Borrelli et al 2017

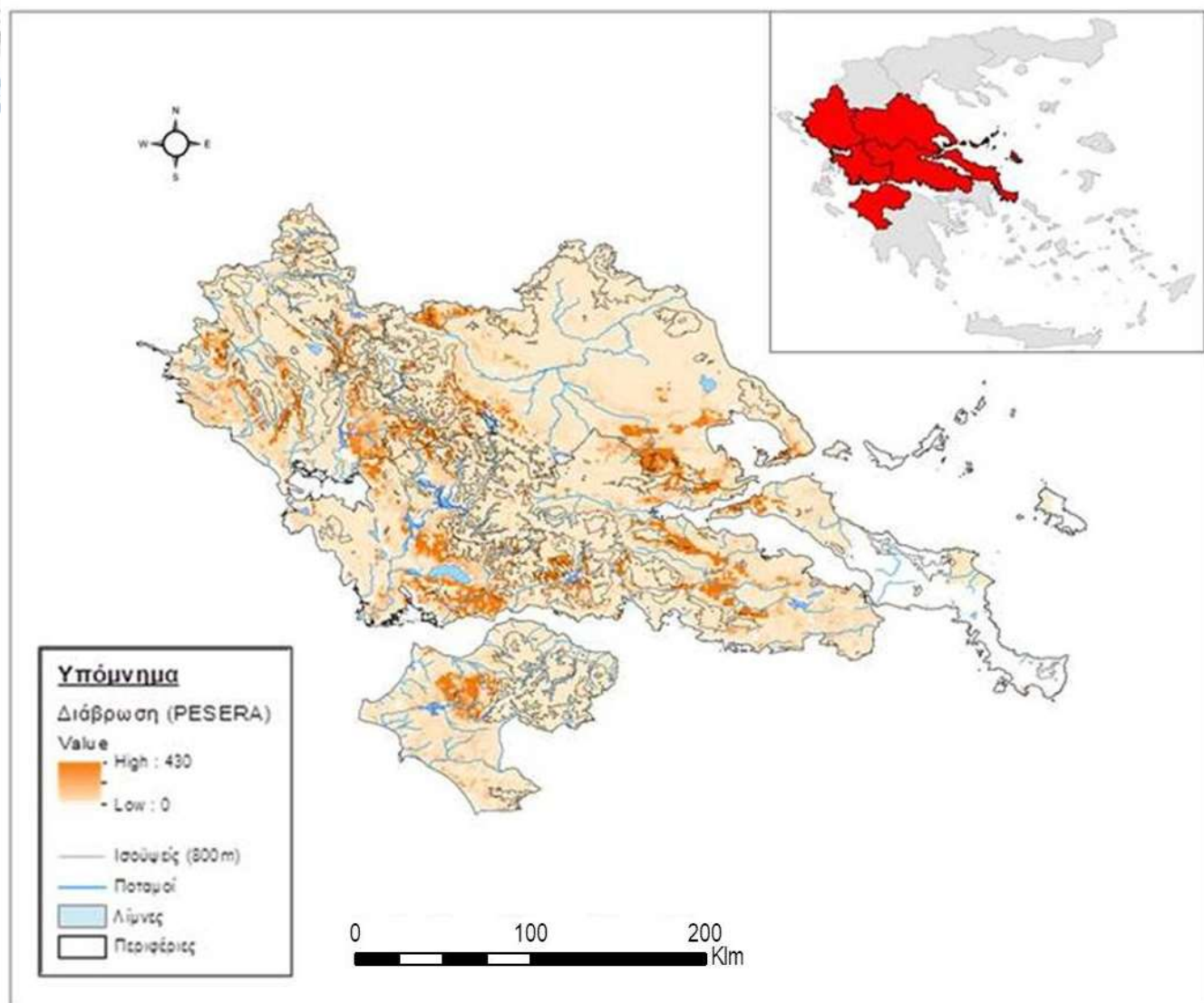
Η αιολική διάβρωση φαίνεται ότι επηρεάζει μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας από την δράση της διάβρωσης λόγω του νερού και οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στις περιοχές της Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας, Θράκη και Θεσσαλία (Χάρτης 5). Η αυξημένη

αιολική δράση οφείλεται στον βορειοδυτικό άνεμο Βαρδάρη (ξηρός και ψυχρός άνεμος) που φυσάει κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού ποταμού και καταλήγει στον Θερμαϊκό κόλπο, όπου και εξασθενεί. Η δράση της αιολικής διάβρωσης είναι έντονη στην κοιλάδα του ποταμού Στρυμόνα, στην περιοχή γύρω από την λίμνη Βιστωνίδα και στην κοιλάδα του Πηνειού. Παρατηρείται ότι οι περιοχές αυτές έχουν χαμηλό έως μέτριο σχετικά υψόμετρο και δεν παρατηρείται έντονη διάβρωση σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο (π.χ. Όλυμπος, Πίνδος)

Παρακάτω δημιουργήθηκε ένας χάρτης (Χάρτης 6) ο οποίος απεικονίζει τις περιοχές της Ελλάδας μόνο με τις μέγιστες τιμές αιολικής διάβρωσης, σύμφωνα με το μοντέλο του Borrelli et al, για τις περιοχές της κοιλάδας του Στρυμόνα, το εθνικό πάρκο της λίμνης Κερκίνης.



Χάρτης 6: Αιολική διάβρωση στην Θράκη και Κ. Μακεδονία.



Χάρτης 7: Η διάβρωση του εδάφους σύμφωνα με το μοντέλο PESERA

Το μοντέλο PESERA (Χάρτης 7) είναι ένα χωρικό μοντέλο το οποίο συνδυάζει την τοπογραφία, το κλίμα, το είδος του εδάφους, την βροχόπτωση και την απορροή για την ποσοτικοποίηση της εδαφικής διάβρωσης. Οι μέγιστες τιμές απώλειας εδάφους παρατηρούνται στην Δυτική Ελλάδα καθώς εκεί παρατηρούνται οι περιοχές με υψηλές τιμές βροχόπτωσης σε σύγκριση με την υπόλοιπη Ελλάδα, με αποτέλεσμα την ιδιαίτερη γεωγραφική κατανομή των ποταμών της Ελλάδας. Στην Δ. Ελλάδα υπάρχουν πολλοί ποταμοί με μεγάλη απορροή με συνέπεια την αύξηση της απώλειας εδάφους, σύμφωνα με το μοντέλο PESERA.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Συνοψίζοντας, η τεχνολογία της τηλεπισκόπησης είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την συλλογή, επεξεργασία και αξιολόγηση των χωρικών δεδομένων για την υδρομορφολογική μελέτη των ποτάμιων συστημάτων. Όπως έχει αναφερθεί, πλέον γίνονται πολλές προσπάθειες ενσωμάτωσης και δημιουργίας μια συνολικής βάσης δεδομένων για όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η διαθεσιμότητα δεδομένων στην Ευρώπη, όπως έχει φανεί από τις έρευνες που έχουν γίνει, έχει ήδη φτάσει σε ένα καλό επίπεδο λεπτομέρειας, επαρκές για υποστηρίξει την υδρομορφολογική αξιολόγηση βάσει της οδηγίας για νερά WFD. Ωστόσο, μετά την έρευνά μας σε πανευρωπαϊκό επίπεδο υπάρχουν μερικές δυνατότητες για την εύκολη αύξηση των δεδομένων τηλεπισκόπησης όσον αφορά τον υδρομορφολογικό χαρακτηρισμό των ποταμών: (1) η ταυτόχρονη λήψη τοπογραφικών και πολυφασματικών πληροφοριών και (2) η δημιουργία ενός τακτικού σχεδίου παρακολούθησης. Εξίσου σημαντικό είναι να αναπτυχθούν εναλλακτικές τεχνικές για να προσδιοριστούν τα υδρομορφολογικά χαρακτηριστικά από διάφορες πηγές δεδομένων.

Στην βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε σ' αυτή την εργασία (βλ. Πίνακα 1-4) υπάρχει ένας ικανοποιητικός αριθμός δεδομένων τηλεπισκόπησης. Σίγουρα υπάρχει χώρος βελτίωσης της με καλύτερα ή ακόμα και περισσότερα διαφορετικά δεδομένα. Ενδεικτικά παραδείγματα των δυνατοτήτων επεξεργασίας των δεδομένων είναι οι χάρτες του Κεφαλαίου 5, που δείχνουν κυρίως διάβρωση από διάφορους παράγοντες και απώλειες εδαφών. Τα πλεονεκτήματα συνδυασμού τέτοιων δεδομένων είναι πολλά γιατί βγαίνουν συμπεράσματα για τα εδάφη και τη διάβρωση που επικρατεί στις περιοχές αυτές, για την επικρατούσα υδρομορφολογία κ.λπ. Ο εκάστοτε ερευνητής μπορεί να κάνει μελέτες όσον αφορά πλημμυρικά φαινόμενα, έργα αποκατάστασης και τεχνικά έργα. Αυτοί οι τομείς είναι απλά κάποιες γενικές κατηγορίες οι οποίες μπορούν να φανούν χρήσιμες. Σήμερα, όλο και περισσότερες, αλλά και διαφορετικές ανάγκες προκύπτουν για τη διασκόπηση του περιβάλλοντος με σκοπό την οικολογική βιωσιμότητα του αλλά και την βιώσιμη εκμετάλλευση του, παρά τις δυσκολίες μόλυνσης και αλόγιστης εκμετάλλευσης πόρων.



Τέλος, παρόλο που η τεχνολογία της Τηλεπισκόπησης μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στην μελέτη της Υδρομορφολογίας, η επί τόπου έρευνα και η εξειδίκευση του ερευνητή θα παίζει πάντα καθοριστικό ρόλο στην μελέτη. Αυτό δεν σημαίνει ούτε ότι πρέπει να σταματήσει να αναπτύσσεται η τηλεπισκόπηση και όλες οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν, αλλά ούτε να παραγκωνιστεί ο ρόλος του ερευνητή και των πληροφοριών που μπορεί να αποκτήσει επισκεπτόμενος, όπου είναι δυνατόν, την περιοχή μελέτης.

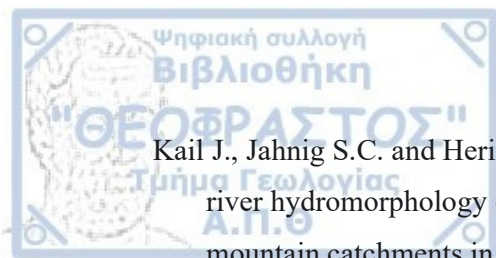
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

IGME	Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών
ΓΥΣ	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
AIST	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CORINE	COoRdinate of Information on the Enviroment
DEM	Digital Elevation Model
DTM	Digital Terrain Models
EO-1	Earth Observing Mission (NASA)
EUROSTAT	European Statistical System
ESTAT	Eurostat
ETM	Enhanced Thematic Mapper Plus
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
Hyperion	Hyperspectral Instrument
INSPIRE	Infrastructure for spatial information in Europe
IR	Infrared
-NIR	Near IR
-SWIR	Short-wave IR
-Mid-IR	Middle IR
-TIR	Thermal Infrared
JRC	Joint Research Center
LIDAR	Light Detection Ranging
LUCAS	Land Use/ Cover Area Frame Survey
MARS	Monitoring Agricultural Resources
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSS	Multispectral scanner
NASA	National Administration Space Agency
QuickBird	Satellite of Digital Globe Inc
PESERA	Pan-European Soil Erosion Risk Assessment
RADAR	Radar Detection And Ranging
RBVs	Return Beam Vidicons
RHS	River Habitat Survey
SAR	Synthetic Aperture Radar
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SPOT	Systeme Pour l'Observation de la Terre
TerraSAR-X1	X band Satellite
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
USGS	United States Geological Survey
WFD	Water Framework Directive

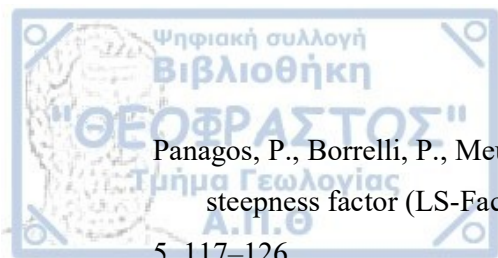
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

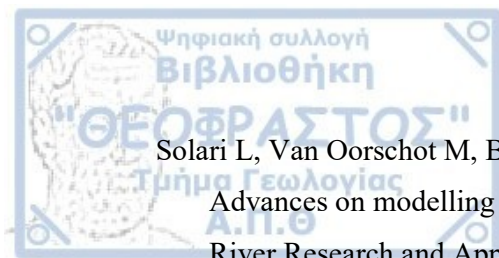
- Anderson MC, Allen RG, Morse A, Kustas WP. Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. *Remote Sensing of Environment*. 2012 Jul 1;122:50-65.
- Bizzi, S., Demarchi, L., Grabowski, R.C., Weissteiner, C.J. and Van de Bund, W., 2016. The use of remote sensing to characterise hydromorphological properties of European rivers. *Aquatic sciences*, 78(1), pp.57-70.
- Board SS, National Research Council. Earth science and applications from space: national imperatives for the next decade and beyond. National Academies Press; 2007 Oct 1, 118-120pp.
- Borrelli P, Lugato E, Montanarella L, Panagos P. A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach. *Land Degradation & Development*. 2017 Jan 1;28(1):335-44.
- Buffagni A., Casalegno C. and Erba S., 2009. Hydromorphology and land use at different spatial scales: expectations in a changing climate scenario for medium-sized rivers of the Western Italian Alps. *Fund. Appl. Limnol.*, 174, 7–25.
- Camporeale C, Perucca E, Ridolfi L, Gurnell AM. 2013. Modelling the interactions between river morphodynamics and riparian vegetation. *Reviews of Geophysics* 51. DOI: 10.1002/rog.20014.
- Fryrear DW, Bilbro JD, Saleh A, Schomberg H, Stout JE, Zobeck TM. RWEQ: Improved wind erosion technology. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2000 Apr 1;55(2):183-9.
- GRAS D. EU-DEM Statistical Validation Report. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. 2014.
- Gurnell AM. 2014. Plants as river ecosystem engineers. *Earth Surface Processes and Landforms* 39(1): 4–25.
- Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2008, Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database (<http://srtm.csi.cgiar.org>).
- Johnson L.B., Richards C., Host G.E. and Arthur J.W., 1997. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems. *Freshwater Biol.*, 37, 193–208.



- Kail J., Jahnig S.C. and Hering D., 2009. Relation between floodplain land use and river hydromorphology on different spatial scales - a case study from two lower-mountain catchments in Germany. *Fund. Appl. Limnol.*, 174, 63–73.
- Kirkby, M.J., Jones, R.J.A., Irvine, B., Gobin, A., Govers, G., Cerdan, O., Van Rompaey, A.J.J., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., King, D., Montanarella, L., Grimm, M., Vieillefont, V., Puigdefabregas, J., Boer, M., Kosmas, C., Yassoglou, N., Tsara, M., Mantel, S., Van Lynden, G.J. and Huting, J. (2004). Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Kolka RK, Thompson JA. Wetland geomorphology, soils, and formative processes. *Ecology of Freshwater and Estuarine Wetlands*. 2006:7-42.
- Lyles L. 1975. Possible effects of wind erosion on soil productivity. *Journal of Soil and Water Conservation* 30: 279–283.
- NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems, and U.S./Japan ASTER Science Team. ASTER Global Digital Elevation Model. 2009, distributed by NASA EOSDIS Land Processes DAAC, <https://doi.org/10.5067/ASTER/ASTGTM.002>
- Orr H.G., Large A.R.G., Newson M.D. and Walsh C.L., 2008. A predictive typology for characterizing hydromorphology. *Geomorphology*, 100, 32–40.
- Panagos P, Meusburger K, Alewell C, Montanarella L. Soil erodibility estimation using LUCAS point survey data of Europe. *Environ Model Software* 2012a;30:143–5.
- Panagos P, Meusburger K, Ballabio C, Borrelli P, Alewell C. Soil erodibility in Europe: a high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of the total environment*. 2014 May 1;479:189-200.
- Panagos P, Borrelli P, Poesen J, Ballabio C, Lugato E, Meusburger K, Montanarella L, Alewell C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental science & policy*. 2015a Dec 1;54:438-47.
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., et al., 2015b. Rainfall erosivity in Europe. *Science of Total Environment* 511, 801–814.



- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., 2015c. A new European slope length and steepness factor (LS-Factor) for modeling soil erosion by water. *Geosciences* 5, 117–126.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., van der Zanden, E.H., Poesen, J., Alewell, C., 2015d. Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European Scale. *Environmental Science & Policy* 51, 23–34.
- Poesen J, Ingelmo-Sanchez F. Runoff and sediment yield from topsoils with different porosity as affected by rock fragment cover and position. *Catena* 1992;19(5):451–74.
- Poff N. L., Bledsoe BP, Cuhacyan CO. Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems. *Geomorphology*. 2006 Sep 30;79(3-4):264-85.
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B, Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. R., Sparks, R. E. & Stromberg, J. C., 1997: The natural flow regime. – *Bioscience* **47**: 769–784.
- Renard KG, Foster GR, Weessies GA, McCool DK. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In: Yoder DC, editor. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703; 1997.
- Richardson JL, Arndt JL, Montgomery JA. Hydrology of wetland and related soils. Wetland soils–Genesis, hydrology, landscapes, and classification. 2001:35-84.
- Riksen MJ, Goossens D. Off-site effects of wind erosion on agricultural land in northwestern Europe. *Wind Erosion and Dust Dynamics: Observations, Simulations, Modelling*. ESW Publications, Department of Environmental Sciences, Erosion and Soil and Water Conservation Group, Wageningen University, Wageningen. 2004:103-22.
- Rubio José L, Recatalá L. The relevance and consequences of Mediterranean desertification including security aspects. *Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue NATO Security Through Science Series*, vol. 3; 2006:133–65.



Solari L, Van Oorschot M, Belletti B, Hendriks D, Rinaldi M, Vargas-Luna A. Advances on modelling riparian vegetation—hydromorphology interactions. *River Research and Applications*. 2016 Feb 1;32(2):164-78.

Tudesque L, Gevrey M, Lek S. Links between stream reach hydromorphology and land cover on different spatial scales in the Adour-Garonne Basin (SW France). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 2011(403):01.

Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H., Tilman, D.G., 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: causes and consequences. *Ecological Society of America*, Washington D.C..

Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L., 2000. Soil erosion risk assessment in Europe. European Soil Bureau. European Commission, JRC Scientific and Technical Report, EUR 19044 EN, 52 pp.

Winter SM. Soil geomorphology of the Copper River Basin, Alaska, USA. Retrieved from [www Nov. 2007;19:2007](http://www.nov.2007;19:2007).

Ελληνική

Ασάρας, Θ., Οικονομίδης, Δ., Μουρατίδης, Α. 2011. Ψηφιακή χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Θεσσαλονίκη, Δίσιγμα.

Ασάρας, Θ., 2011. Τηλεπισκόπηση – Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες, Θεσσαλονίκη, Αϊβάζη.

Βουβαλίδης, Κ., 2011. Φυσική Γεωγραφία, Θεσσαλονίκη, Δίσιγμα.

Σιούτας, Κ., 2015. Τεχνικές διασταύρωσης ελέγχου των δηλώσεων των τύπων καλλιεργειών με τη χρήση μεθόδων Τηλεπισκόπησης και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Μελέτη περίπτωσης σε ζώνη του ν. Τρικάλων (μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Πηγές από το διαδίκτυο

- <http://land.copernicus.eu/global/products/fcover>
- <http://srtm.csi.cgiar.org/index.asp>
- <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem#tab-original-data>
- <http://worldDEM-database.infoterra.de/>
- <http://cce.nasa.gov/pdfs/LIST.pdf>
- <http://glovis.usgs.gov/>
- <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- <http://www.e-geos.it/products/pdf/prices.pdf>
- <https://apollomapping.com>
- http://www.era.ie/Price_List.pdf
- <https://eol.usgs.gov/>
- http://web.gys.gr/portal/page?_pageid=33,46034&_dad=portal&_schema=PORTAL : Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ)
- <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012>
- https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/aster
- https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/aster/aster_products_table/astgtm_v002
- <http://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/elevation>
- <https://www.intelligence-airbusds.com>
- http://www.e-geos.it/images/brochures/satellite%20data/DG_IKONOS_DS.compressed.pdf
- <http://coedu.belspo.be/en/satellites/spot.htm>
- https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2_overview
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview>
- <https://www.intelligence-airbusds.com/terrasar-x/>
- <https://mdacorporation.com/geospatial/international/satellites/RADARSAT-2>