



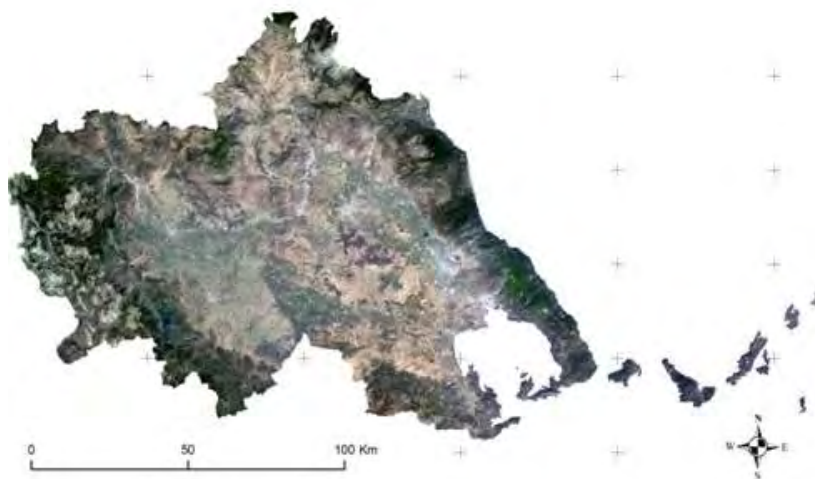
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών:-

Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Περιβάλλοντος



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Δείκτες βιοποικιλότητας στην Περιφέρεια Θεσσαλίας"

Υπεύθυνος Καθηγητής: Σταθάκης Δημήτριος

Μπούρδαλας Αντώνιος

ΒΟΛΟΣ 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα Πινάκων.....	- 6 -
Περιεχόμενα Σχημάτων	- 6 -
Περιεχόμενα Χαρτών	- 7 -
Περιεχόμενα Διαγραμμάτων	- 8 -
Περίληψη	- 9 -
Abstract.....	- 9 -
1. Εισαγωγή	- 10 -
1.1 Σκοπός – αντικείμενο της εργασίας	- 10 -
1.2 Πλάνο εργασίας.....	- 10 -
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο	- 12 -
2.1 Περιοχή μελέτης.....	- 12 -
2.1.1 Μεσογειακά οικοσυστήματα	- 12 -
2.1.2 Φυσικό περιβάλλον.....	- 13 -
2.1.3 Κλίμα	- 14 -
2.1.4 Γεωλογία	- 14 -
2.2 Στοιχεία οικολογίας.....	- 15 -
2.3 Βιοποικιλότητα	- 15 -
2.3.1 Ορισμός.....	- 15 -
2.3.2 Χαρακτηριστικά βιοποικιλότητας	- 17 -
2.3.3 Παράγοντες που σχετίζονται με την βιοποικιλότητα	- 17 -
2.3.4 Μέθοδος εύρεσης ειδών.....	- 19 -
2.3.5 Χάρτης πιθανής (δυνητικής) βλάστησης.....	- 20 -
2.3.6 Σημαντικότητα βιοποικιλότητας στα συστήματα παραγωγής του πρωτογενή τομέα – Ένα παράδειγμα.....	- 20 -
2.3.7 Η έννοια της οικοσυστημικής υπηρεσίας	- 21 -
2.4 Περιφερειακό τοπίο και βιοποικιλότητα.....	- 22 -

3.	Τα πρωτογενή δεδομένα και η επεξεργασία τους.....	- 23 -
3.1	Δορυφορικά δεδομένα.....	- 23 -
3.1.1	Παράγοντες που επηρεάζουν τη γεωμετρία της δορυφορικής εικόνας -	23 -
3.1.2	Ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων	- 23 -
3.1.3	Το πρόγραμμα Landsat	- 24 -
3.1.4	Μεταδεδομένα (Metadata).....	- 25 -
3.1.5	Μεθοδολογία επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων.....	- 26 -
3.1.6	Επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	- 27 -
3.1.7	Έλεγχος σφάλματος επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Accuracy Assessment)..-	29 -
3.1.8	Δείκτης NDVI.....	- 36 -
3.2	Χωρικά δεδομένα	- 38 -
3.2.1	Οδικό δίκτυο	- 38 -
3.2.2	Υδρογραφικό δίκτυο	- 40 -
3.3	Το πρόγραμμα Corine	- 42 -
4.	Μέθοδος.....	- 43 -
4.1	Τηλεπισκόπηση	- 44 -
4.1.1	Ορισμός.....	- 44 -
4.1.2	Η εικόνα και η γεωμετρία της.....	- 44 -
4.1.3	Ο ρόλος της τηλεπισκόπησης στην βιοποικιλότητα	- 44 -
4.2	Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών.....	- 45 -
4.2.1	Ορισμός.....	- 45 -
4.2.2	Σχέση ΣΓΠ και βιοποικιλότητας	- 45 -
4.3	Μέθοδος ομαδοποίησης τιμών “Natural Breaks”	- 46 -
4.4	Μέθοδος δημιουργίας μοντέλου αθροίσματος σταθμισμένων βαρών και πολυκριτηριακή ανάλυση.....	- 47 -
4.5	Κάλυψη / Χρήσεις Γης.....	- 50 -
4.5.1	Σχέσεις: Κάλυψη γης / χρήση γης / βιοποικιλότητα.....	- 51 -

4.6	NDVI.....	- 55 -
4.7	Οδικό δίκτυο	- 58 -
4.7.1	Άμμεση και έμμεση απώλεια ενδιαιτημάτων	- 58 -
4.7.2	Ιεράρχιση ειδικών βαρών απόστασης από οδικό δίκτυο	- 59 -
4.8	Υδρογραφικό δίκτυο	- 61 -
4.8.1	Επιφανειακά ύδατα	- 61 -
4.8.1	Η σημασία των υδάτινων οικοσυστημάτων στην εκτίμηση της χερσαίας βιοποικιλότητας	- 62 -
5.	Αποτελέσματα.....	- 65 -
5.1	Εκτίμηση βιοποικιλότητας.....	- 65 -
5.2	Σύγκριση αποτελεσμάτων με διαφορετικά ειδικά βάρη	- 67 -
5.3	Hotspots Βιοποικιλότητας.....	- 68 -
5.4	Σύγκριση δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας με χρήσεις γης (Corine 2000)-	70
	-	
5.5	Σύγκριση δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας με δεδομένα βιοποικιλότητας (WWF)	- 72 -
5.6	Εκτίμηση βιοποικιλότητας και προστατευόμενες περιοχές.....	- 77 -
6.	Συμπεράσματα – Συζήτηση	- 79 -
6.1	Πλεονεκτήματα δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας	- 79 -
6.2.	Μειονεκτήματα δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας	- 80 -
6.3.	Προτάσεις για αναβάθμιση του δείκτη	- 80 -
	Βιβλιογραφία	- 82 -
	Ελληνική βιβλιογραφία.....	- 82 -
	Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	- 83 -
	Πηγές διαδικτύου	- 85 -

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1 - Το πρόγραμμα Landsat διαχρονικά (USGS, 2015, ίδια επεξεργασία). .	- 25 -
Πίνακας 2 - Μεταδεδομένα δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν	- 26 -
Πίνακας 3 - Φασματικές υπογραφές εκπαιδευόμενων περιοχών	- 28 -
Πίνακας 4 - Συχνότητα κάλυψης γης - αληθούς κάλυψης γης.....	- 32 -
Πίνακας 5 - Παράδειγμα error matrix (Story et Congalton, 1986).....	- 33 -
Πίνακας 6 - Πίνακας σφαλμάτων ταξινόμησης (error matrix).....	- 33 -
Πίνακας 7 - Producer's accuracy.....	- 34 -
Πίνακας 8 - User's accuracy	- 35 -
Πίνακας 9 - Κωδικοποίηση και ερμηνεία Corine (Σταθάκης κα, 2008)	- 43 -
Πίνακας 10 - Παράδειγμα εφαρμογής του μοντέλου σταθμισμένων βαρών στην ανάπτυξη του μοντέλου της εργασίας.	- 50 -
Πίνακας 11 - Ειδικά βάρη καλύψεων γης.....	- 53 -
Πίνακας 12 - Ειδικά βάρη NDVI.....	- 56 -
Πίνακας 13 - Ειδικά βάρη οδικού δικτύου	- 59 -
Πίνακας 14 - Αναταξινόμηση απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο	- 63 -
Πίνακας 15 - Τιμές ειδικών βαρών ανά περιβαλλοντικό κριτήριο.....	- 65 -
Πίνακας 16 - Έκταση χρήσεων γης στις θερμές περιοχές βιοποικιλότητας βάση του τρίτου επίπεδου Corine	- 71 -
Πίνακας 17 - Σύγκριση προβλεπόμενων και πραγματικών εκτάσεων υψηλής βιοποικιλότητας (km ²)	- 76 -

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1 - Επίπεδα βιοποικιλότητας - http://betournay.wikispaces.com	- 16 -
Σχήμα 2 - Εννοιολογική σχέση μεταξύ οικοσυστημάτων και βιοποικιλότητας και ευημερίας του ανθρώπου (από τους Haines-Young & Potschin 2010).....	- 21 -
Σχήμα 3 - Το πρόγραμμα Landsat διαχρονικά (USGS, 2015).....	- 24 -
Σχήμα 4 - Συγχώνευση κλάσεων κάλυψης γης (ιδία επεξεργασία).....	- 30 -
Σχήμα 5 - Παράδειγμα εκτέλεσης του δείκτη NDVI (Πηγή: http://earthobservatory.nasa.gov/)	- 37 -
Σχήμα 6 - Διαδικασία ΣΓΠ - Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (Perpina et al., 2013)....	- 49 -
Σχήμα 7 - Οι σχέσεις μεταξύ των καλύψεων γης, των χρήσεων γης, της βιοποικιλότητας και της συνεισφοράς των οικοσυστημικών υπηρεσιών (Haines – Young R., 2009). -	51 -

Σχήμα 8 - Καμπύλες παλινδρόμησης μεταξύ της αφθονίας των πτηνών (A) και τον πλούτο των ειδών των πτηνών σε σχέση με τον δείκτη NDVI (Mcfarland et al., 2012) ... - 55 -

Σχήμα 9 - Σχέση ανθρώπινου πληθυσμού και θερμών σημείων βιοποικιλότητας. (Hua and Ashibindu, 2002)..... - 69 -

Περιεχόμενα Χαρτών

Χάρτης 1 - Περιοχή Μελέτης - Περιφέρεια Θεσσαλίας (ιδία επεξεργασία).....	- 12 -
Χάρτης 2 - Δορυφορική απεικόνιση Θεσσαλίας (Ιούνιος 2000).....	- 27 -
Χάρτης 3 - Επιβλεπόμενη ταξινόμηση κάλυψης γης περιφέρειας Θεσσαλίας (ιδία επεξεργασία)	- 28 -
Χάρτης 4 - Αναταξινόμηση επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε 4 κατηγορίες καλύψεων γης (Ιδία επεξεργασία)	- 30 -
Χάρτης 5 - Σημεία ελέγχου για την εκτίμηση αξιοπιστίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Ιδία επεξεργασία).....	- 31 -
Χάρτης 6 - Δείκτης φυσικής βλάστησης NDVI	- 38 -
Χάρτης 7 - Οδικό δίκτυο περιφέρειας Θεσσαλίας.....	- 39 -
Χάρτης 8 - Απόσταση από οδικό δίκτυο στην περιφέρεια Θεσσαλίας	- 39 -
Χάρτης 9 - Υδρογραφικό δίκτυο στην περιφέρεια Θεσσαλίας	- 40 -
Χάρτης 10 - Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM)	- 41 -
Χάρτης 11 - Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο στην περιφέρεια Θεσσαλίας	- 41 -
Χάρτης 12 - Χάρτης αναταξινόμησης κάλυψης γης με ειδικά βάρη.....	- 54 -
Χάρτης 13 - Αναταξινόμηση δείκτη NDVI.....	- 57 -
Χάρτης 14 - Αναταξινόμηση απόστασης από οδικό δίκτυο.....	- 61 -
Χάρτης 15 - Αναταξινόμηση απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο.....	- 64 -
Χάρτης 16 - Εκτίμηση βιοποικιλότητας κλίμακας 1-10 (Περιφέρεια Θεσσαλίας)...	- 66 -
Χάρτης 17 - Οι 25 περιοχές θερμών σημείων βιοποικιλότητας παγκοσμίως (Norman et al., 2000)	- 68 -
Χάρτης 18 - Θερμά σημεία βιοποικιλότητας στην Περιφέρεια Θεσσαλίας σύμφωνα με τον δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας (ιδία επεξεργασία)	- 70 -
Χάρτης 19 - Χρήσεις γης (Corine 2000) στις θερμές περιοχές βιοποικιλότητας.....	- 71 -
Χάρτης 20 - Εκτίμηση βιοποικιλότητας στην περιφέρεια Θεσσαλίας και Σημεία Υψηλής Βιοποικιλότητας (WWF, 2012, Ιδία επεξεργασία).....	- 73 -

Χάρτης 21 - Περιοχές υψηλής βιοποικιλότητας στην Περιφέρεια Θεσσαλίας (WWF, 2012, Ιδία επεξεργασία).....	- 74 -
Χάρτης 22 - Σύγκριση περιοχών προβλεπόμενων και πραγματικών περιοχών υψηλής βιοποικιλότητας	- 75 -
Χάρτης 23 - Σύγκριση περιοχών Natura 2000 (SCI) και δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας	- 77 -

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 - Σχέση έκτασης και ποικιλότητας ειδών στα μεσογειακά οικοσυστήματα. Τα σημεία είναι από τις 5 παγκόσμια περιοχές μεσογειακού κλίματος (Richard et al., 1996).....	- 13 -
Διάγραμμα 2 - Τιμές pixel για κάθε κανάλι στις καλύψεις γης.....	- 29 -
Διάγραμμα 3 - Υποθετικές σχέσεις μεταξύ της έντασης χρήσεων γης, του δείκτη MSA (Means Species Abundance Index). Key: 0 = πλήρης αλλαγή του συνόλου των ειδών, 1= αναλοίωτος αριθμός ειδών (Braat et ten Brink, 2008)	- 52 -
Διάγραμμα 4 - Διάγραμμα τιμών ειδικών βαρών καλύψεων γης	- 54 -
Διάγραμμα 5 - Ειδικά βάρη τιμών NDVI	- 57 -
Διάγραμμα 6 - Τιμές απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο - κλίμακας 1-10	- 63 -
Διάγραμμα 7 - Έκταση ανά χρήση γης στις θερμές περιοχές βιοποικιλότητας	- 72 -
Διάγραμμα 8 - Ποσοστό συμμετοχής σε έκταση της προβλεπόμενης βιοποικιλότητας σε σχέση με την πραγματική (WWF, 2012, Ιδία επεξεργασία)	- 76 -
Διάγραμμα 9 - Συμμετοχή % θερμών περιοχών βιοποικιλότητας στις περιοχές Natura 2000 (SCI).....	- 78 -

Περίληψη

Η βιοποικιλότητα παρουσιάζει πολύ σημαντικό αντίκτυπο σε οικολογικό επίπεδο αλλά και στην υγεία του ανθρώπου. Η εκτίμηση της βιοποικιλότητας με δορυφορικά και άλλα χωρικά δεδομένα μπορεί να συμβάλει στην μελέτη και την έρευνα των επιστημών που εμπλέκονται στο πεδίο της οικολογίας και του περιβάλλοντος. Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται ένας δείκτης - με χρήση περιβαλλοντικών κριτηρίων και του μοντέλου αθροίσματος σταθμισμένων βαρών - που έγκειται στην εκτίμηση της βιοποικιλότητας σε περιφερειακό επίπεδο. Γίνεται ανάλυση της μεθοδολογίας και των βημάτων που ακολουθήθηκαν. Η περιοχή στην οποία εξελίχθηκε η μελέτη είναι η Περιφέρεια Θεσσαλίας. Παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων του δείκτη με δεδομένα σχετικά με την βιοποικιλότητα και γίνονται προτάσεις για την περαιτέρω μελλοντική ανάπτυξη του.

Λέξεις κλειδιά: «*Εκτίμηση Βιοποικιλότητας*» «*Δείκτης Βιοποικιλότητας*» «*Μοντέλο Σταθμισμένων Βαρών*», «*Περιφέρεια Θεσσαλίας*»

Abstract

Biodiversity has a very significant impact ecologically but also on human's health. The assessment of biodiversity with satellite and other spatial data can contribute to the study and research of the sciences involved in the field of ecology and the environment. In this paper is being developed an index - using environmental criteria and the weighted sum model - which is to assess the biodiversity at the regional level. Analysis of methodology and step by step sequencing are done. The area in which the study took place is the region of Thessaly. It is presented a comparison of the results of the index relative to biodiversity data and proposals are made for further future development.

Key words: “*Assessment of Biodiversity*”, “*Index of Biodiversity*”. “*Weighted Sum Model*”. “*Region of Thessaly*”.

1. Εισαγωγή

1.1 Σκοπός – αντικείμενο της εργασίας

Η βιοποικιλότητα είναι μία έννοια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά βιολογικά επίπεδα. Από το γενετικό επίπεδο μέχρι και το επίπεδο του τοπίου η βιοποικιλότητα μπορεί να υπολογιστεί με διαφορετικές μεθόδους κάτι το οποίο την κάνει εξαιρετικά πολύπλοκη σαν έννοια είτε σε σχέση με την ερμηνεία της είτε σε σχέση με τον προσδιορισμό της. Σε επίπεδο βιοποικιλότητας τοπίου ή οικοσυστημάτων ο πιο συνήθης και ακριβής τρόπος μέτρησής της είναι ο αριθμός των ειδών στην υπό μελέτη περιοχή. Σκοπός της εργασίας είναι να παράξει μια μεθοδολογία εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας της βιοποικιλότητας χωρίς την χρήση αριθμού ειδών σε μία περιοχή σε περιφερειακό επίπεδο. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι επί το πλείστον δορυφορικά δεδομένα ή χωρικά δεδομένα συμβατά με τα ΣΓΠ και το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι προσδιορίζουν αβιοτικές συνθήκες. Η μέθοδος που δημιουργήθηκε παρουσιάζει το εξής ενδιαφέρον χαρακτηριστικό: μπορεί να εκτιμήσει σε μία κλίμακα έντασης (1-10) την φέρουσα ικανότητα της βιοποικιλότητας με γρήγορο τρόπο και δωρεάν δεδομένα ώστε ο επιστήμονας που ασχολείται με οικολογικά ζητήματα να έχει μια άμεση εικόνα που θα τον οδηγήσει σε συμπεράσματα για τα επόμενα βήματα της έρευνάς του. Η περιοχή που μελετήθηκε είναι η περιφέρεια Θεσσαλίας.

1.2 Πλάνο εργασίας

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν παράχθηκαν εξ' αρχής εκτός από το οδικό δίκτυο. Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν έχουν ως πηγή το πρόγραμμα Landsat. Επίσης λόγω της ανάλυσης (30x30 μέτρα) και λόγω της ερευνητικής ιδιαιτερότητας της εργασίας αποφασίστηκε η κλίμακα της περιοχής μελέτης να είναι σχετικά μεγάλη (περιφέρεια Θεσσαλίας) ώστε το αποτέλεσμα να έχει το δυνατόν μικρότερο σφάλμα. Τα δορυφορικά δεδομένα προεπεξεργάστηκαν (δημιουργία μωσαϊκού, γεωμετρική διόρθωση κτλ) για να φτάσουν στο τελικό στάδιο επεξεργασίας.

Επίσης υπάρχει αυξημένη περιβαλλοντική σύνδεση ώστε τα αποτελέσματα να έχουν μειωμένη περίπτωση σφάλματος. Οι κατηγορίες των δεδομένων είναι: α) Κάλυψη γης, β) Δείκτης NDVI, γ) οδικό δίκτυο, δ) υδρογραφικό δίκτυο. Έγινε ο απαραίτητος μετασχηματισμός ώστε να εφαρμοστεί ένας δείκτης εκτίμησης της βιοποικιλότητας. Παρακάτω θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο παράχθηκαν και μετασχηματίστηκαν τα πρωταρχικά δεδομένα στην τελική μορφή επεξεργασίας τους. Στην εργασία αναλύεται η σημασία της βιοποικιλότητας σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς είναι σημαντική η εκτίμησή της με νέους τρόπους εκτός δειγματοληψίας στο πεδίο.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Περιοχή μελέτης

Το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας καταλαμβάνει το ανατολικό τμήμα του ηπειρωτικού κορμού της Ελλάδας. Το κύριο χαρακτηριστικό της Θεσσαλίας είναι ο κάμπος όπου κύρια χρήση γης είναι οι καλλιέργειες. Ο κάμπος περικλείεται από μεγάλους ορεινούς όγκους τον Όλυμπο και τον Τίταρο στα βόρεια, στα δυτικά τα Θεσσαλικά Άγραφα και το Αυγό, την Οθρύ στα νότια και στα ανατολικά την Όσσα (Κίσαβο), το Μαυροβούνι και το Πήλιο.

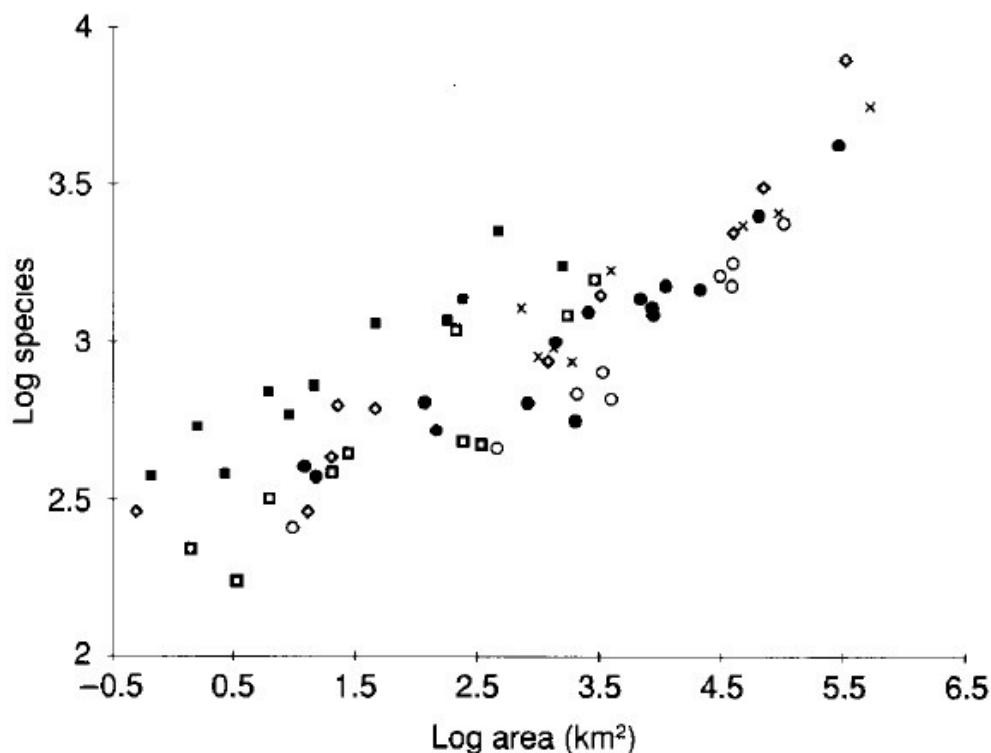


Χάρτης 1 - Περιοχή Μελέτης - Περιφέρεια Θεσσαλίας (ιδία επεξεργασία)

2.1.1 Μεσογειακά οικοσυστήματα

Οι πέντε περιοχές (σε παγκόσμιο επίπεδο) μεσογειακού κλίματος καταλαμβάνουν λιγότερο από το 5% της επιφάνειας της Γης. Στις περιοχές αυτές επιβιώνουν, αναπτύσσονται και αναπαράγονται 48.250 είδη γνωστών αγγειακών φυτών (τραχεόφυτα), δηλαδή το 20% των

τραχεόφυτων παγκοσμίως ενώ επίσης έχουν μεγάλο αριθμό σπάνιων και ενδημικών φυτών (Richard et al., 1996). Η κατάσταση διατήρησης των περιοχών αυτών είναι πολύ κακή, με αποτέλεσμα οι αρνητικές επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα να εντείνονται με ταχεία κλιμάκωση (Richard et al., 1996; Hobbs et al., 1995). Στην λεκάνη της Μεσογείου η γεωργία και η κτηνοτροφία έχουν ασκηθεί για 10000 χρόνια. Έτσι τα περισσότερα οικοσυστήματα έχουν υποστεί ανθρώπινη παρέμβαση. Η ποικιλότητα των μεσογειακών οικοσυστημάτων σε περιφερειακό επίπεδο ($10-10^6 \text{ km}^2$) είναι από τις υψηλότερες σε σχέση με άλλα οικοσυστήματα φυτών (Richard et al., 1996). Σύμφωνα με τους Cowling et al. (1992) η ποικιλότητα που εμφανίζεται στην περιφερειακή κλίμακα των μεσογειακών οικοσυστημάτων οφείλεται στην τοπική διαφοροποίηση της ποικιλότητας σε σχέση με την περιβαλλοντική ετερογένεια (Richard et al., 1996).



Διάγραμμα 1 - Σχέση έκτασης και ποικιλότητας ειδών στα μεσογειακά οικοσυστήματα. Τα σημεία είναι από τις 5 παγκόσμια περιοχές μεσογειακού κλίματος (Richard et al., 1996).

2.1.2 Φυσικό περιβάλλον

Στην περιφέρεια Θεσσαλίας εμφανίζεται σημαντική χλωριδική ποικιλότητα. Ειδικότερα, στην περιοχή του Κάτω Ολύμπου έχουν καταγραφεί σχεδόν 1000 φυτικά

είδη εκ των οποίων τα 155 θεωρούνται υψηλής σημασίας ενώ 45 από αυτά βρίσκονται υπό την προστασία διεθνών συμβάσεων (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιφέρειας Θεσσαλίας, 2011). Όσο το υψόμετρο μειώνεται συναντούνται υποαλπικά ή ψευδοαλπικά λιβάδια (<1600 μ), δάση μαύρης πεύκης (900 – 1400μ), δάση οξιάς, φυλλοβόλα δέντρα αποτελούμενα κυρίως από δρυς και καστασιά (700 – 900 μ) και στη συνέχεια θαμνώδεις διαπλάσεις σκληρόφυλλων με αριές ή και καλλιέργειες οπωροφόρων (WWF, 2012). Επίσης κατά μήκος των ποταμών κυριαρχούν δάση αποτελούμενα από πλατάνια, λεύκες, ιτιές και σκλήθρα (WWF, 2012). Το χαρακτηριστικό γνώρισμα στην περιφέρεια Θεσσαλίας σχετικά με την πανίδα είναι η πλούσια ποικιλία της ορνιθοπανίδας που συναντάται στην ευρύτερη περιοχή και ειδικότερα στην Όσσα, στα Τέμπη, στον Κάτω Όλυμπο και στο Δέλτα του Πηνειού όπου ανήκουν στις 113 σημαντικές περιοχές για τα πουλιά της Ελλάδας. Έχουν καταγραφεί κατ'ελάχιστον 120 είδη πουλιών (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιφέρειας Θεσσαλίας, 2011).

2.1.3 Κλίμα

Ο κάμπος της Θεσσαλίας, λόγω των βουνών που τον περικλείουν, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η άμεση επίδραση της θάλασσας, έχει ηπειρωτικό κλίμα με θερμό καλοκαίρι και ψυχρό χειμώνα. Δυτικά, στις ορεινές περιοχές το κλίμα είναι ορεινό και χαρακτηρίζεται για την αφθονία των χιονοπτώσεων και τον υψηλό βροχομετρικό δείκτη που παρουσιάζει. Ανατολικά, στο παράκτιο και ορεινό τμήμα της Θεσσαλίας, το κλίμα χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό με θερμό και ξηρό καλοκαίρι και ήπιο χειμώνα (WWF, 2012).

2.1.4 Γεωλογία

Στην περιοχή της Θεσσαλίας συναντώνται τέσσερις γεωλογικές ζώνες (Πελαγονική, Αξιού, Περιοδοπική, Σερβομακεδονική). Τα κυριότερα πετρώματα που απαντώνται είναι ασβεστόλιθος, δολομίτης, γρανίτης, οφιόλιθος, οι αμφιβολίτης, γνεύσιος,

οφθαλμογενεύσιος, σχιστόλιθος, άργιλος, αργιροπηλός άμμος, κροκαλοπαγή και κοκκινακώματα (WWF, 2012).

2.2 Στοιχεία οικολογίας

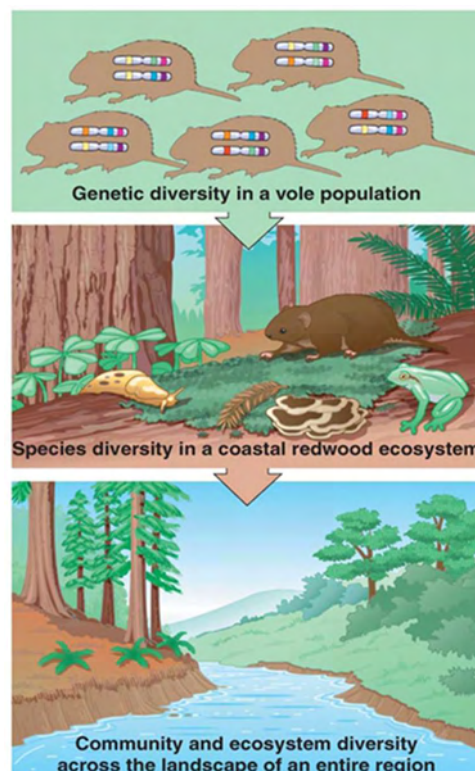
Σε κάθε κοινότητα οι οργανισμοί που την απαρτίζουν πέραν της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης, έχουν και λειτουργική σχέση με το περιβάλλον. Αυτό το δομικό και λειτουργικό σύστημα των κοινοτήτων και του περιβάλλοντός τους ονομάζεται οικολογικό σύστημα ή με τον πιο συνήθη όρο, ως οικοσύστημα (Δημόπουλος και Πανίτσα, 2009). Για να γίνει κατανοητό ότι στο οικοσύστημα συμπεριλαμβάνονται και οι αβιοτικοί παράγοντες ο Suchacher (1944) χρησιμοποίησε τον όρο βιογεωκοινότητα (Δημόπουλος και Πανίτσα, 2009). Σύμφωνα με τους παραπάνω «το οικοσύστημα είναι η θεμελιώδης έννοια της οικολογίας και αποτελείται από τους ζωντανούς οργανισμούς (βιοτικό περιβάλλον) και το φυσικό και χημικό τους περιβάλλον (αβιοτικό περιβάλλον), δηλαδή καθετί που τους περιβάλλει, τους επηρεάζει και που ουσιαστικά συνθέτει το περιβάλλον μέσα στο οποίο ζουν». «Πρόκειται για μια οργανωμένη ενότητα έμβιων όντων και αβιοτικών στοιχείων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και μέσα στην οποία ανταλλάσσονται υλικά και πληροφορίες».

2.3 Βιοποικιλότητα

2.3.1 Ορισμός

Βιολογική ποικιλότητα ή βιοποικιλότητα είναι το συνολικό άθροισμα της ποικιλίας των φυτικών και ζωικών οργανισμών και των μικροοργανισμών. Η βιοποικιλότητα εκφράζεται σε τρία επίπεδα: τη γενετική ποικιλότητα, την ποικιλότητα των ειδών και την ποικιλότητα των οικοσυστημάτων και τοπίων (Ηλίας Η. από Holgate, 2010). Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της βιοποικιλότητας είναι η δυνατότητα προσαρμοστικότητας που παρέχει στους οργανισμούς σε ένα περιβάλλον που μεταβάλλεται. Επίσης επηρεάζει τη λειτουργία και τη δυναμική των οικοσυστημάτων

και ως εκ τούτου ζωτικής σημασίας υπηρεσίες και αγαθά από τα οποία εξαρτάται η υγεία και η ευημερία, όπως η παραγωγή τροφίμων, η διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους, η ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων, η ποιότητα της ατμόσφαιρας, η παραγωγή φαρμάκων και η ρύθμιση του κλίματος. Εκτός αυτών πάρα πολλά είδη στη φυλογενετική τους εξέλιξη έχουν συνδεθεί στενά μεταξύ τους και συχνά η ύπαρξη του ενός εξαρτάται από την διατήρηση του άλλο (Ηλίας, Μπαμπίδης, Χατζηπλής, 2010). Η βιοποικιλότητα είναι η ποικιλία των ζωντανών οργανισμών και αναγνωρίζεται σε διαφορετικά επίπεδα: σε γενετικό επίπεδο, σε επίπεδο αριθμού ειδών (φυτικών και ζωικών), σε επίπεδο ποικιλότητας ενδιαιτημάτων και οικοσυστημάτων (Murthy M. et al., 2003). Σύμφωνα με την παγκόσμια εκτίμηση της βιοποικιλότητας (Global Biodiversity Assessment) ο συνολικός αριθμός φυτικών και ζωικών ειδών είναι μεταξύ 13 και 14 εκατομμυρίων ειδών (Murthy, 2003 : Heywood, 1995).



Σχήμα 1 - Επίπεδα βιοποικιλότητας - <http://betournay.wikispaces.com>

Η βιοποικιλότητα οικοσυστημάτων εκφράζεται μέσω του πλήθους (αριθμός) των οικοσυστημάτων (συνδιασμός ειδών φυτών και ζώων) που συναντώνται σε μία

περιοχή. Το τοπίο απαρτίζεται από φυσικά και τεχνητά οικολογικά συστήματα (πχ γεωργικές καλλιέργειες ή τύποι οικισμών). Η βιοποικιλότητα των τοπίων εκφράζεται με το πλήθος των τύπων τοπίων που εμφανίζονται σε μια περιοχή, την κατανομή τους στο χώρο και την αναλογία συμμετοχής τους σε αυτόν.

2.3.2 Χαρακτηριστικά βιοποικιλότητας

Όταν το περιβάλλον είναι χωρικά πολύ ετερογενές, οι ρυθμοί εξαφάνισης των ειδών είναι χαμηλοί γιατί υπάρχει μειωμένη ανταγωνιστική λειτουργία των οργανισμών. Επίσης η μεγάλη ποικιλότητα ενδαιτημάτων προωθεί την γέννεση ειδών (ειδογέννεση) με αποτέλεσμα την ύπαρξη πιθανοτήτων δημιουργίας μεγάλης ποικιλομορφίας στο περιβάλλον (Murthy, 2003). Οι παράγοντες της βιοποικιλότητας σε ένα οικοσύστημα μπορούν να είναι είτε βιοτικοί είτε αβιοτικοί, μέσω των οποίων καθορίζεται η δομή, η λειτουργία και η σύνθεσή του (Amis et al., 2009; Noss, 1990). Η σχέση μεταξύ φυσικών και ανθρωπογενών διεργασιών στην βιοποικιλότητα είναι πολύπλοκη (Murthy M. et al., 2003).

2.3.3 Παράγοντες που σχετίζονται με την βιοποικιλότητα

Ως γνωστόν η βιοποικιλότητα μπορεί να υπολογιστεί από τον αριθμό των ειδών σε μία περιοχή. Για μία ολοκληρωμένη αξιολόγηση των ειδών και της βιοποικιλότητας των οικοτόπων, οι παράγοντες των ενδαιτημάτων (πχ περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως το κλίμα, η φυσιογραφία, η βλάστηση, το έδαφος και η γεωλογία) πρέπει να συμπεριλαμβάνονται με την ίδια σημασία που έχει η ποικιλότητα των ειδών. Τα περιβαλλοντικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της σχετικής βιοποικιλότητας της υπό μελέτη περιοχής λόγω της περιβαλλοντικής διαφοροποίησης (του ενδαιτήματος ή του οικοσυστήματος) που σχετίζεται με την ποικιλότητα των ειδών (Salem, 2003). Το εύρος και ο πλούτος των ειδών συσχετίζονται με παράγοντες των ενδαιτημάτων αλλά και το αντίστροφο. Ορισμένες φορές αυτοί οι παράγοντες μπορούν να συνδιαστούν σε συνθετικούς οικολογικούς χάρτες (Salem, 2003: e.g. Bailey, 1976; Omernik, 1987).

Αλλαγές χρήσεων γης: Οι αλλαγές των χρήσεων/κάλυψης γης διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην αλλαγή ή όχι των χαρακτηριστικών και της ποιότητας της βιοποικιλότητας σε μία περιοχή (Murthy, 2003). Τέτοια παραδείγματα μπορούν να είναι η μετατροπή ενός δάσους σε περιοχή μη-δάσους (πχ καμμένη έκταση), ή η αλλαγή των χαρακτηριστικών ενός δασικού οικοσυστήματος (πχ από δάσος κουκουναριάς σε δάσος πεύκων ή από δασικά φυτικά είδη σε χορτολιβαδικά φυτικά είδη).

Κατακερματισμός και γειννίαση: Όταν ένα δάσος κατακερματίζεται (διάσπαση ενός συνόλου σε μικρότερα μέρη) δημιουργείται μία χωρική αλλαγή στο μωσαϊκό του (Murthy, 2003). Οι αλλαγές στο μωσαϊκό επηρεάζουν την συνδεσιμότητα οικολογικών διεργασιών κατά μήκος μιας περιοχής. Αυτές οι χωρικές μεταβολές μπορούν να επηρεάσουν την ικανότητα ενός οργανισμού να κινηθεί μέσα σε ένα τοπίο. Αυτό συμβαίνει γιατί ορισμένοι οργανισμοί χρησιμοποιούν συγκεκριμένους τύπους φυτικής βλάστησης για να μετακινηθούν (διάδρομοι). Επίσης ορισμένες ομάδες φυτικής βλάστησης μπορούν να λειτουργήσουν σαν εμπόδιο στους οργανισμούς και να μειωθεί η μετακίνηση και η διασπορά τους (Murthy, 2003).

Αλλαγές ενδιαιτημάτων: Οι αλλαγές στα χαρακτηριστικά των ενδιαιτημάτων μπορούν να προκαλέσουν περιβαλλοντικές αλλαγές που να επηρεάσουν τα είδη (Murthy, 2003).

Απώλεια των ειδών: Ορισμένες ανθρώπινες παρεμβάσεις προκαλούν άμεση απώλεια των ειδών (Murthy, 2003). Η απώλεια ενός είδους μπορεί αλυσιδωτά να προκαλέσει την απώλεια ορισμένων άλλων ειδών.

Κλίμα και βλάστηση: Το κλίμα θεωρείται ένας από τους κυρίαρχους βιοκλιματικούς παράγοντες που σχετίζονται με την δυναμικότητα της ποικιλότητας των ειδών. Βιοκλιματικοί παράγοντες όπως είναι η απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία και η ετήσια θερμοκρασία είναι περιοριστικοί παράγοντες σε περιοχές κατανομής των ειδών. Η βλάστηση είναι επίσης μία σημαντική μεταβλητή που σχετίζεται με την ποικιλότητα των ειδών και κυρίως των ειδών ζώων (Salem, 2003).

Σπανιότητα: Το κάθε οικοσύστημα έχει διαφορετική βαρύτητα σε περιβαλλοντική αξία σχετικά με την σημαντικότητά του ως προς την διατήρηση της βιοποικιλότητας. Το πιο σημαντικό κριτήριο βαρύτητας είναι η σπανιότητά του. Όπως αναφέρει και ο D. Geneletti (2003) : «Η σπανιότητα προτείνεται ως κριτήριο για την αξιολόγηση των

διαφόρων οικοσυστημάτων από την άποψη της διατήρησης της βιοποικιλότητας. Στον ευρύτερο ορισμό, η σπανιότητα αναφέρεται στο πόσο συχνά ένας τύπος οικοσυστήματος βρίσκεται σε μια δεδομένη περιοχή. Ως εκ τούτου, φαίνεται λογικό ότι η πραγματική έκταση και διάδοση ενός τύπου οικοσυστήματος επηρεάζουν τη σημασία και την αξία της προστασίας. Η λογική πίσω από τη χρήση του κριτηρίου της σπανιότητας είναι η εκτίμηση ότι όσο σπανιότερο είναι ένα οικοσύστημα τόσο υψηλότερη είναι η πιθανότητα της εξαφάνισής του». Η σπανιότητα σχετίζεται άμεσα με την κλίμακα αναφοράς (τοπικό επίπεδο, περιφερειακό επίπεδο κλπ). Επομένως είναι απαραίτητο να καθοριστεί η περιοχή αναφοράς εντός της οποίας η σπανιότητα θα μετρηθεί. Ένας τύπος οικοσυστήματος μπορεί να έχει, για παράδειγμα, μια υψηλή τοπική σπανιότητα, αλλά σε περιφερειακό επίπεδο η σπανιότητα να είναι χαμηλή.

Ποικιλότητα ενδιαιτημάτων: Η ποικιλότητα των αγγειακών φυτών είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των οικοσυστημάτων (Gould, 2000: Hooper and Vitousek 1997: Tilman et al., 1997) και ένας τρόπος για να χαρακτηριστεί η βιοποικιλότητα μια περιοχής (Gould, 2000). Η εκτίμηση της ποικιλότητας μπορεί να προέλθει από την χρησιμοποίηση της σχέσης μεταξύ της ποικιλότητας των ειδών και την ποικιλία των ενδιαιτημάτων, όπου ο αριθμός των ειδών αυξάνεται βάση της περιβαλλοντικής ετερογένειας σε πολλών ειδών κλίμακες (Gould, 2000).

2.3.4 Μέθοδος εύρεσης ειδών

Μία συνήθης μέθοδος εύρεσης ειδών είναι όταν οι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι γνωστοί για ένα είδος ή έναν οικοτόπο και βάση αυτών εκτιμούνται τα είδη στην περιοχή μελέτης. Τα μοντέλα καταγραφής των ειδών μέσω περιβαλλοντικών παραγόντων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση της βιοποικιλότητας σε περιφερειακή κλίμακα και να προβλεφθούν αλλαγές με περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Salem, 2003: Aspinall, 1995).

2.3.5 Χάρτης πιθανής (δυναμικής) βλάστησης

Το πιο κοινό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση της αρχικής χωρικής κατανομής των διαφορετικών οικοσυστημάτων σε ένα τοπίο είναι ο χάρτης πιθανής βλάστησης. Ένας τέτοιος χάρτης σκιαγραφεί δυναμικά τους τύπους βλάστησης που θα μπορούσαν να υπάρχουν σε μια δεδομένη περιοχή με βάση τις κλιματολογικές συνθήκες, το έδαφος, το νερό, την λιθολογία και την τοπογραφία. Οι χάρτες της πιθανής βλάστησης μπορούν να αναπαραστήσουν τα χαρακτηριστικά της βλάστησης όπως ήταν πριν από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις (Geneletti, 2003). Η ποικιλότητα του τοπίου, για παράδειγμα, πρέπει να μελετάται μόνο όταν η περιοχή μελέτης περιέχει διαφορετικά είδη του τοπίου με αποτέλεσμα να επηρεάζουν την χωρική μεταβλητότητα και διαμόρφωση.

2.3.6 Σημαντικότητα βιοποικιλότητας στα συστήματα παραγωγής του πρωτογενή τομέα – Ένα παράδειγμα

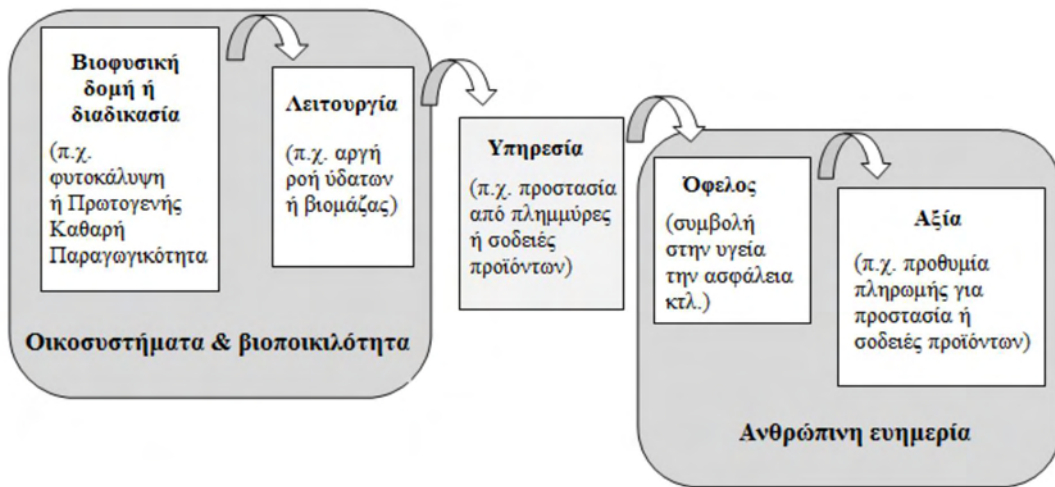
Η βιοποικιλότητα παρουσιάζει θετικό ρόλο και σε συστήματα παραγωγής του πρωτογενή τομέα. Για παράδειγμα με βάση τις τρέχουσες οικολογικές και γεωπονικές θεωρίες, χαμηλά δυναμικά παρασίτων αναμένονται σε αγροοικοσυστήματα που παρουσιάζουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: (Altieri, 1994b)

- Υψηλή ποικιλότητα των καλλιεργειών σε σχέση με το χρόνο και τον χώρο
- Ασυνέχεια των μονοκαλλιεργειών στον χρόνο μέσω εναλλαγών καλλιέργειας, περιόδων χωρίς καλλιέργεια, καλλιέργεια ποικιλιών σύντομης ωρίμανσης κ.ά.
- Μικρές, διασκορπισμένες και ακαλλιέργητες εκτάσεις ανάμεσα στις καλλιέργειες που δυναμικά παρέχουν καταφύγιο και εναλλακτική τροφή για τους φυσικούς εχθρούς.
- Αγροκτήματα με κυρίαρχη συνιστώσα την πολυετή καλλιέργεια. Οι οπωρώνες θεωρούνται ημι-μόνιμα οικοσυστήματα και πιο σταθερά από τις ετήσιες καλλιέργειες.
- Υψηλή πυκνότητα καλλιέργειας ή η παρουσία του ανεκτού επιπέδου ειδικών ειδών ζιζανίων.

- Υψηλή γενετική ποικιλομορφία με μίξη καλλιεργειών ή με χρήση πολλαπλών γραμμών καλλιέργειας (multiline).

2.3.7 Η έννοια της οικοσυστημικής υπηρεσίας

Το σημαίνον έργο «Η οικονομική του Οικοσυστήματος και της Βιοποικιλότητας» ορίζει τις οικοσυστημικές υπηρεσίες ως συμβολή άμεση ή έμμεση στην ανθρώπινη ευημερία (TEEB 2010). Σε πρόσφατες δημόσιες συζητήσεις τονίζεται η έντονη ανάγκη να διαφοροποιηθούν τα οφέλη, οι υπηρεσίες, οι οικολογικές λειτουργίες, δομές και διαδικασίες μεταξύ τους (Σχήμα 2) για να δοθεί έμφαση τους μηχανισμούς που ενισχύουν τις συνδέσεις μεταξύ φυσικού κεφαλαίου και ανθρώπινης ευημερίας (Haines-Young & Potschin, 2010).



Σχήμα 2 - Εννοιολογική σχέση μεταξύ οικοσυστημάτων και βιοποικιλότητας και ευημερίας του ανθρώπου (από τους Haines-Young & Potschin 2010).

Οι εργασίες για τη χαρτογράφηση της παροχής οικοσυστημικών υπηρεσιών, ζήτησης και προϋπολογισμού, και την ποσοτικοποίηση και εφαρμογή στα αγαθά και τις υπηρεσίες οικοσυστήματος είναι μεταξύ των μεγαλύτερων προκλήσεων της σύγχρονης επιστήμης οικοσυστήματος (Wallace 2007, Burkhard et al., 2012). Σύμφωνα με τον Burkhard et al. (2012), η παροχή των οικοσυστημικών υπηρεσιών εξαρτάται από τις

βιοφυσικές συνθήκες και τις αλλαγές στο χώρο και το χρόνο που επιφέρει ο άνθρωπος στην κάλυψη του εδάφους, τη χρήση γης και τις κλιματικές αλλαγές. Οι χωρικές κατανομές της εδαφοκάλυψης και των μεταβολών της μπορούν να συνδεθούν με μεγάλες περιοχές και να παρέχουν άμεση μέτρηση της ανθρώπινης δραστηριότητας (Riitters et al., 2000). Λόγω της χωρικής ιδιαιτερότητας των οικοσυστημικών υπηρεσιών, χαρτογραφώντας τις κατανομές και τις αλλαγές τους στο χρόνο είναι δυνατή η συγκέντρωση σύνθετων πληροφοριών. Αυτή η απεικόνιση των οικοσυστημικών υπηρεσιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους ιθύνοντες, π.χ. διαχειριστές της γης, ως ένα ισχυρό εργαλείο για τη στήριξη των αξιολογήσεων βιωσιμότητας του τοπίου (Swetnam et al., 2011). Η ακριβής ποσοτικοποίηση και χαρτογράφηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών θεωρείται μια από τις κύριες απαιτήσεις για την εφαρμογή της έννοιας των οικοσυστημικών υπηρεσιών στους περιβαλλοντικούς θεσμούς και τη λήψη αποφάσεων (Daily και Matson 2008, Burkhard et al., 2012). Στα πλαίσια της οικοσυστημικής υπηρεσίας εντάσσεται σε μεγάλο βαθμό και η έννοια της βιοποικιλότητας.

2.4 Περιφερειακό τοπίο και βιοποικιλότητα

Ο όρος περιφερειακό τοπίο (Moss, 1990; Noss, 1983) δίνει έμφαση στην χωρική πολυπλοκότητα των περιφερειών. Το τοπίο αναφέρεται σε ένα μωσαικό ετερογενών τύπων γης, βλάστησης και χρήσεων γης (Moss, 1990; Urban et al., 1987). Η χωρική κλίμακα ενός περιφερειακού τοπίου μπορεί να διαφέρει στην έκταση. Από την έκταση ενός εθνικού δρυμού με τα περίχωρά του, στην έκταση μιας φυσιογεωγραφικής περιοχής, έως και την έκταση μιας βιογεωγραφικής περιοχής. Η σχέση μεταξύ ενός τοπίου με την βιοποικιλότητα είναι αποδεκτή λόγω της ογκώδους βιβλιογραφίας όσο αναφορά τον κατακερματισμό των ενδιαιτημάτων (eg Moss, 1990; Burgess and Sharpe, 1981; Harris, 1984; Wilcove et al., 1986). Τα χαρακτηριστικά του τοπίου, όπως το μέγεθος διαφόρων τύπων γης, η ετερογένεια, η περίμετρος και η συνδεσιμότητα είναι σημαντικοί ρυθμιστικοί παράγοντες της σύνθεσης και της αφθονίας των ειδών αλλά και της βιωσιμότητας των ευαίσθητων ειδών (Moss, 1990; Noss and Harris, 1986). Επίσης άλλοι σχετικοί παράγοντες του τοπίου με την βιοποικιλότητα είναι η ταυτότητα και οι αναλογίες συγκεκριμένων ενδιαιτημάτων. Ο συνδιασμός των ενδιαιτημάτων σε μία

περιοχή είναι ζωτικής σημασίας για πολλά είδη ζώων. Η μεταβαλλόμενη περιοχή μεταξύ των ενδιαιτημάτων για παράδειγμα είναι πολύ σημαντική για ζωικά είδη των οποίων ο κύκλος ζωής επηρεάζεται από διαφορετικά ενδιαιτήματα (Moss, 1990).

3. Τα πρωτογενή δεδομένα και η επεξεργασία τους

3.1 Δορυφορικά δεδομένα

3.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη γεωμετρία της δορυφορικής εικόνας

Οι παράγοντες που επιδρούν στη γεωμετρία των εικόνων έχουν να κάνουν με τον τρόπο λειτουργίας του δορυφορικού συστήματος. Κατά κανόνα οι διάφορες πηγές γεωμετρικών παραμορφώσεων των εικόνων μπορούν να συνοψιστούν (Μέρτικας, 2006): στην περιστροφή της γης κατά τη διάρκεια της λήψης, στην πεπερασμένη ταχύτητα σάρωσης (μερικών ανιχνευτών), στο ευρύ οπτικό πεδίο (ορισμένων ανιχνευτών), στην καμπυλότητα της γης, στα σφάλματα των ανιχνευτών, στις μεταβολές των γωνιών στροφής, του ύψους και της ταχύτητας της πλατφόρμας και στις πανοραμικές παραμορφώσεις.

3.1.2 Ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων

Η ταξινόμηση μπορεί να είναι επιβλεπόμενη (supervised) ή μή επιβλεπόμενη (unsupervised). Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, ο ταξινομητής, εφοδιάζεται με το εκπαιδευτικό δείγμα (training set) που είναι ένα γνωστής ταξινόμησης (ερμηνευμένο) υποσύνολο των δεδομένων. Με βάση τις πληροφορίες από το εκπαιδευτικό δείγμα, και σύμφωνα με τον αλγόριθμο του κάθε ταξινομητή, καθορίζονται οι παράμετροι του ταξινομητή, οι οποίες θα του επιτρέψουν στη συνέχεια να ταξινομήσει το σύνολο των δεδομένων. Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μια διαδικασία με την οποία κάθε ξεχωριστό στοιχείο ταξινομείται στην αντίστοιχη κλάση με βάση την πληροφορία που έχουμε για ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά της όπως αυτή προκύπτει από τις περιοχές εκπαίδευσης που έχει επιλέξει ο χρήστης. Ειδικότερα με τον όρο Ταξινόμηση

(classification) εννοούμε την κατάταξη των στοιχείων ενός συνόλου δεδομένων σε διάφορες κατηγορίες σύμφωνα με κάποια χαρακτηριστικά κριτήρια (Duda 1973, Richards 1994). Η ταξινόμηση γίνεται είτε από τον άνθρωπο (π.χ. στην περίπτωση των δορυφορικών εικόνων από τον φωτο-ερμηνευτή), είτε από τον υπολογιστή, με τη βοήθεια ειδικών αλγορίθμων που καλούνται ταξινομητές. Η βασική παραδοχή στην οποία στηρίζεται ένας ταξινομητής είναι η ύπαρξη κάποιων (γνωστών ή όχι) κοινών χαρακτηριστικών, βάσει των οποίων μπορούν να καθοριστούν διάφορες ομάδες μέσα στα δεδομένα. Τα χαρακτηριστικά αυτά, συνήθως, συμβολίζονται με ένα διάνυσμα που λέγεται διάνυσμα χαρακτηριστικών (feature vector).

3.1.3 Το πρόγραμμα Landsat

Το πρόγραμμα Landsat δημιουργήθηκε στις ΗΠΑ από τη NASA το οποίο τελικά απαρίθμησε οκτώ (8) δορυφόρους από τους οποίους οι επτά (7) είχαν επιτυχή λειτουργία ενώ στις 11 Φεβρουαρίου του 2013 πραγματοποιήθηκε επιτυχώς η εκτόξευση του LDCM, του 8^{ου} δορυφόρου του προγράμματος Landsat (Σχήμα 3). Για 40 χρόνια, το πρόγραμμα Landsat έχει συλλέξει φασματικές πληροφορίες από την επιφάνεια της Γης, δημιουργώντας ένα ιστορικό αρχείο καταγραφής της γης (USGS, 2015).



Σχήμα 3 - Το πρόγραμμα Landsat διαχρονικά (USGS, 2015).

Το πρόγραμμα Landsat προσφέρει τη μεγαλύτερη σε συνέχεια και χρονική διάρκεια παγκόσμια καταγραφή της γήινης επιφάνειας. Συνεχίζει να μεταδίδει οπτικό και επιστημονικά αξιόπιστο φωτογραφικό υλικό του πλανήτη μας από το 1972 μέχρι και σήμερα (Πίνακας 1).

Δορυφόρος	Χρονική διάρκεια	Παρατηρήσεις
Landsat 1	1972-1978	-
Landsat 2	1975-1982	-
Landsat 3	1978-1983	-
Landsat 4	1982-2001	Τα δεδομένα του 1993 δεν υπάρχουν λόγω σφαλμάτων στο σύστημα μετάδοσης δεδομένων
Landsat 5	1984-Σήμερα	-
Landsat 6	-	Αποτυχία κατά την εκτόξευση το έτος 1993
Landsat 7	1999-Σήμερα	-
LDCM	2013- Σήμερα	-

Πίνακας 1 - Το πρόγραμμα Landsat διαχρονικά (USGS, 2015, Ιδία επεξεργασία).

3.1.4 Μεταδεδομένα (Metadata)

Ένα πολύ σημαντικό είδος δεδομένων είναι τα μεταδεδομένα (Metadata) ή τα δεδομένα για τα δεδομένα. Τα μεταδεδομένα (Metadata) επιτρέπουν (Hohl, 1998) την μεταφορά σημαντικών πληροφοριών για τα δεδομένα μέσω ενός συνόλου δεδομένων. Πληροφορίες όπως η πηγή των δεδομένων, τα χαρακτηριστικά τους και άλλες συναφείς λεπτομέρειες, είναι απαραίτητες για μια συνετή και οργανωμένη χρήση των δεδομένων. Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες και τις παρατηρήσεις από τα μεταδεδομένα, ο χρήστης μπορεί να κατανοήσει για παράδειγμα την προέλευση των δεδομένων του ώστε να πάρει σωστές αποφάσεις όσο αναφορά την μετατροπή των δεδομένων του από μία μορφή σε μία άλλη. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, θεωρώντας σημαντικό τον τρόπο που διαμορφώνονται και διαχέονται τα γεωχωρικά δεδομένα, έχει εκδώσει την οδηγία inspire με σκοπό την χάραξη, εφαρμογή, παρακολούθηση και αξιολόγηση κοινοτικών πολιτικών και την παροχή πληροφοριών του δημόσιου τομέα (Ζδράλης Σταθάκης, Χατζηχρήστος, 2010). Ένας σημαντικός τομέας των χωρικών δεδομένων είναι τα μεταδεδομένα όπου περιγράφονται από την οδηγία inspire ως «πληροφορίες οι οποίες περιγράφουν σύνολα ή υπηρεσίες χωρικών δεδομένων και καθιστούν την εξεύρεση, απογραφή και χρήση τους». Σκοπός της οδηγίας inspire είναι ότι τα μεταδεδομένα θα πρέπει να περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με (Ζδράλης, Σταθάκης, Χατζηχρήστος, 2010):

- Τους όρους που ισχύουν για την πρόσβαση στα σύνολα και τις υπηρεσίες χωρικών δεδομένων και τη χρήση τους και ανάλογα με την περίπτωση τα αντίστοιχα τέλη.

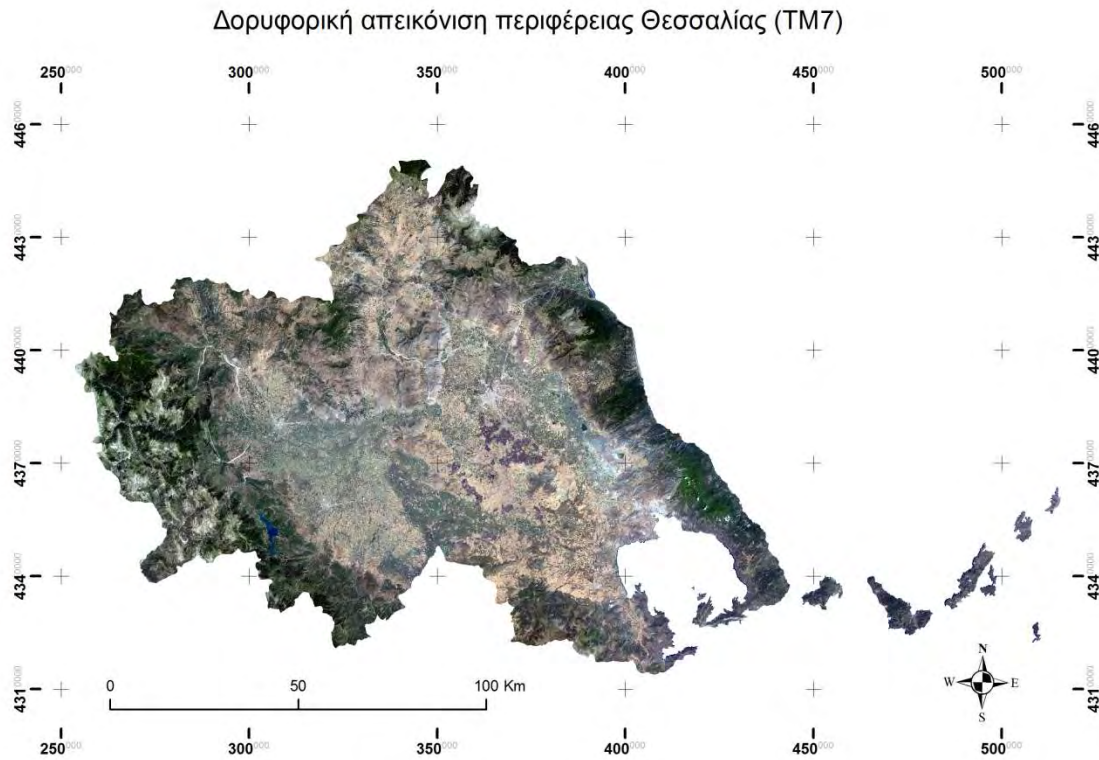
- Την ποιότητα και την εγκυρότητα του συνόλου των χωρικών δεδομένων.
- Τις δημόσιες αρχές που είναι αρμόδιες για τη δημιουργία, τη διαχείριση, τη συντήρηση και τη διανομή των του συνόλου και των υπηρεσιών των χωρικών δεδομένων.
- Τους περιορισμούς πρόσβασης του κοινού και τους λόγους των περιορισμών αυτών.

3.1.5 Μεθοδολογία επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων

Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι στο σύνολό τους τρεις. Προέρχονται από το πρόγραμμα Landsat και συγκεκριμένα από τον δορυφόρο TM7. Αρχικά τα κανάλια των δορυφορικών εικόνων συνενώθηκαν εκτός του παγχρωματικού (μέσω της εντολής stuck). Στη συνέχεια δημιουργήθηκε το μωσαϊκό και έγινε μετατροπή συστήματος αναφοράς (γεωμετρική διόρθωση) από WGS84 στο ΕΓΣΑ87. Τέλος ο πίνακας raster κόπηκε (clip) στα όρια της περιφέρειας Θεσσαλίας. Παρακάτω παρουσιάζεται πίνακας με τα δεδομένα Landsat που χρησιμοποιήθηκαν (Πίνακας 2). Δώθηκε προσοχή στα εξής χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων: α) Μειωμένη νέφωση (μικρότερη του 10%), β) Κοντινές ημερομηνίες λήψης των εικόνων (λόγω δημιουργίας μωσαϊκού), γ) Μεγάλη ποιότητα εικόνας (από 9 έως 10), δ) Καλοκαιρινή περίοδος λήψης των εικόνων ώστε να υπάρχει καρποφορία στις αγροτικές καλλιέργειες στα περισσότερα είδη της καλλιεργητικής περιόδου.

Landsat 7	Path	Row	Acquisition Date
1η	183	033	Jun 21, 2000
2η	184	032	Jun 28, 2000
3η	184	033	Jun 28, 2000

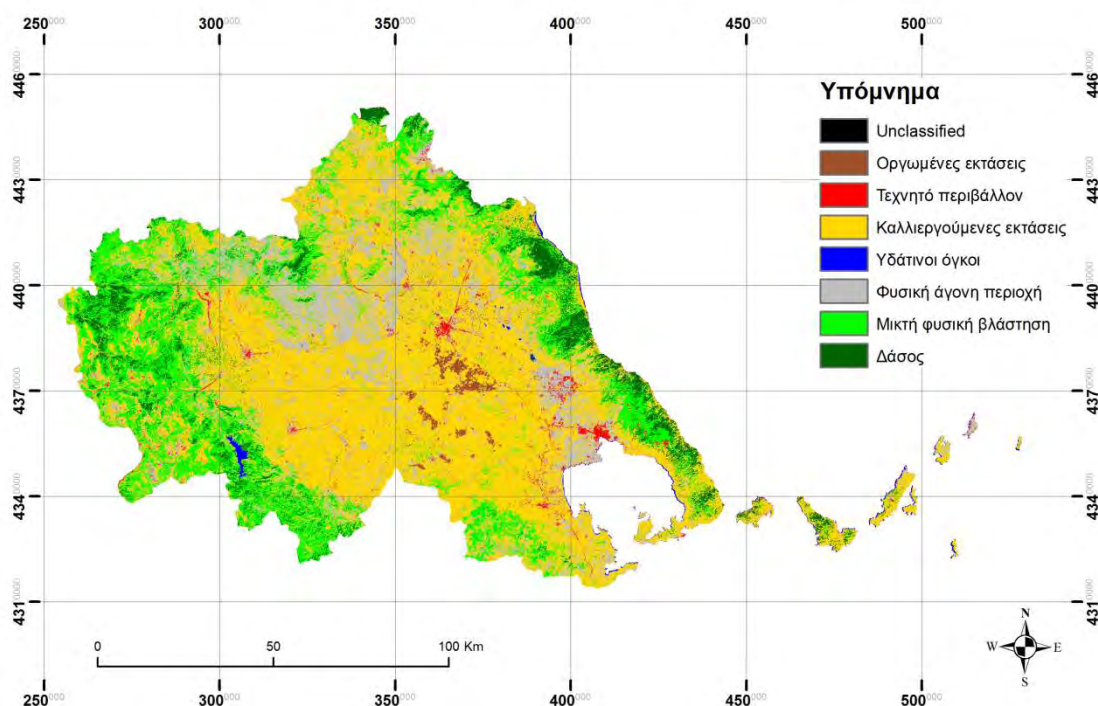
Πίνακας 2 - Μεταδεδομένα δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν



3.1.6 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Τα είδη καλύψεων γης που επιλέχθηκαν για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι: **οργωμένες εκτάσεις** (την ημερομηνία λήψης της εικόνας ήταν οργωμένες καλλιεργήσιμες εκτάσεις, άρα χρειάστηκε να ταξινομηθούν σαν διαφορετική κλάση), **τεχνητό περιβάλλον** (οτιδήποτε έχει να κάνει με τεχνητά έργα, πχ δρόμοι, αστικό περιβάλλον κτλ), **καλλιεργούμενες εκτάσεις**, **υδάτινοι όγκοι**, **φυσική άγρονη περιοχή** (πετρώδεις περιοχές, γυμνές από βλάστηση ή με πολύ αραιή βλάστηση κτλ), **μικτή φυσική βλάστηση** (δηλαδή φυσική βλάστηση που απαρτίζεται από ποώδη βλάστηση και δέντρα) και **δάσος**.

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση κάλυψης γης περιφέρειας Θεσσαλίας



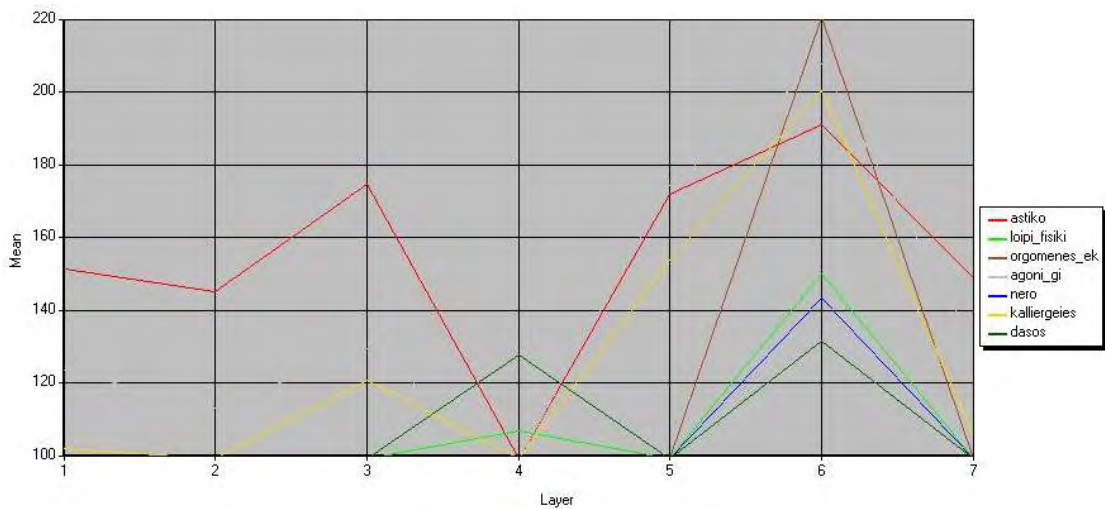
Χάρτης 3 - Επιβλεπόμενη ταξινόμηση κάλυψης γης περιφέρειας Θεσσαλίας (ιδία επεξεργασία)

Παρακάτω παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των εκπαιδευόμενων περιοχών για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

Class #	>	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1		astiko	Red	1.000	0.000	0.000	2	22	1405	1.000	X	X	X	X	
2		loipi_fisiki_vlastisi	Green	0.000	1.000	0.000	10	35	1327	1.000	X	X	X	X	
3		orgomenes_ektaseis	Brown	0.627	0.322	0.176	1	36	3438	1.000	X	X	X	X	
4		agoni_gi	Grey	0.753	0.753	0.753	9	44	1497	1.000	X	X	X	X	
5		nero	Blue	0.000	0.000	1.000	7	59	2472	1.000	X	X	X	X	
6		kalliergeies	Yellow	1.000	0.843	0.000	5	62	2588	1.000	X	X	X	X	
7	>	dasos	Dark Green	0.000	0.392	0.000	4	64	2138	1.000	X	X	X	X	

Πίνακας 3 - Φασματικές υπογραφές εκπαιδευόμενων περιοχών

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι τιμές των pixel σε κάθε κανάλι για κάθε κάλυψη γης που επιλέχθηκε για την ταξινόμηση.



Διάγραμμα 2 - Τιμές pixel για κάθε κανάλι στις καλύψεις γης

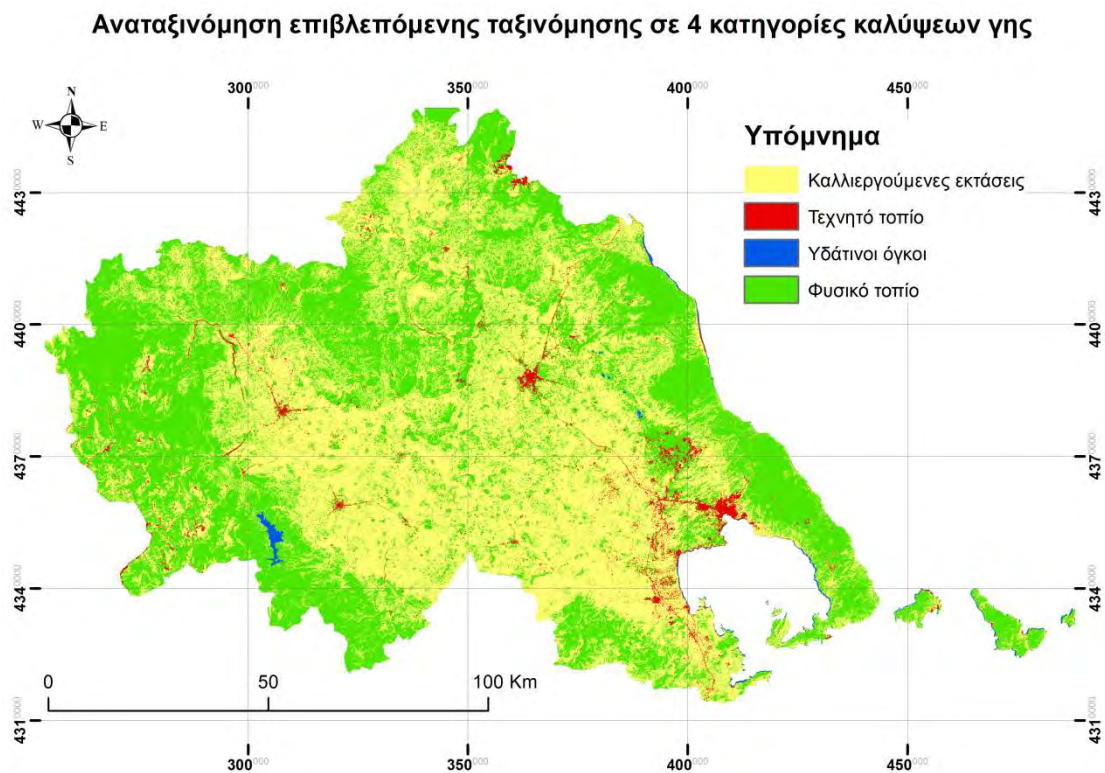
3.1.7 Έλεγχος σφάλματος επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Accuracy Assesment)

Οι χάρτες βοηθούν στην μέτρηση και την κατανομή των πόρων, την ανάλυση των αλληλεπιδράσεων των πόρων, τον εντοπισμό κατάλληλων θέσεων για συγκεκριμένες δράσεις και για πρόβλεψη πιθανών αλλαγών (Congalton et Green, 2008) Αν οι αποφάσεις βασίζονται στις πληροφορίες του χάρτη τότε πρέπει να είναι γνωστή η ακρίβεια των χαρτών. Σε αντίθετη περίπτωση η εφαρμογή τέτοιων αποφάσεων θα οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα με ανυπολόγιστες συνέπειες. Η αξιολόγηση της ακρίβειας καθορίζει την ποιότητα ενός χάρτη που δημιουργήθηκε από τηλεπισκοπικά δεδομένα. Η εκτίμηση της ακρίβειας μπορεί να είναι ποιοτική ή ποσοτική, υψηλού ή χαμηλού κόστους, καλά σχεδιασμένη και αποτελεσματική ή τυχαία (Congalton et Green, 2008) Ο στόχος της ποσοτικής εκτίμησης της ακρίβειας είναι ο προσδιορισμός και η μέτρηση των σφαλμάτων του χάρτη. Υπάρχουν δύο τύποι εκτίμησης της ακρίβειας: η εκτίμηση ακρίβειας της θέσης και η θεματική ακρίβεια. Η θεματική ακρίβεια ασχολείται με τις ιδιότητες των χαρακτηριστικών ενός χάρτη και ελέγχει αν τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά ενός θέματος είναι αληθή σε σχέση με την πραγματικότητα (Congalton et Green, 2008) Προς διευκόλυνση της φωτοερμηνείας κατά την δημιουργία των σημείων ελέγχου αποφασίστηκε οι 7 κατηγορίες κάλυψης γης να γίνουν 4 όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4 - Συγγώνευση κλάσεων κάλυψης γης (ιδία επεξεργασία)

Με τον ίδιο τρόπο έγινε μετατροπή των κατηγοριών καλύψεων γης στον χάρτη της επιβλεπόμενης ταξινόμησης ώστε να γίνει επιτυχής ο έλεγχος της αξιοπιστίας του χάρτη.



Χάρτης 4 - Αναταξινόμηση επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε 4 κατηγορίες καλύψεων γης (Ιδία επεξεργασία)

Υπάρχουν τρία στάδια κατά την εκτίμηση ακρίβειας ενός χάρτη: 1) ο σχεδιασμός των σημείων επιλογής δειγμάτων, 2) η επιλογή των δειγμάτων και 3) η ανάλυση των αποτελεσμάτων (Congalton et Green, 2008). Στην επικείμενη εργασία τα δείγματα είναι τυχαία, το υπόβαθρο του ελέγχου είναι κτηματολογικά δεδομένα και η ανάλυση έγινε με βάση την θεματική αξιοπιστία της κάλυψης γης μεταξύ του κτηματολογίου και της επιβλεπόμενης ταξινόμησης της περιφέρειας Θεσσαλίας από δορυφορικές εικόνες Landsat χρονολογίας του 2000. Το υπόβαθρο του κτηματολογίου έχει προβολικό σύστημα WGS84, έτσι ο πίνακας χωρικών δεδομένων (χάρτης καλύψεων γης) μετατράπηκε στο ίδιο σύστημα (από ΕΓΣΑ) για την αποφυγή σφαλμάτων (απόκλιση μεταξύ των συστημάτων αναφοράς). Η μετατροπή έγινε και για τα σημεία ελέγχου. Στη συνέχεια κατά τον έλεγχο τα σημεία μετατράπηκαν σε μορφή raster με μέγεθος pixel ίδιο με το μέγεθος pixel του χάρτη των καλύψεων γης (30 m). Μια γενική κατευθυντήρια γραμμή (εμπειρικός κανόνας) προτείνει ότι χρειάζονται τουλάχιστον 50 δείγματα για κάθε κατηγορία (κλάση) του χάρτη όταν ο χάρτης είναι μεγέθους έως και 1 εκατομμυρίου στρεμμάτων με λιγότερες από 12 κατηγορίες (Congalton et Green, 2008; Congalton, 1988b). Σε αντίθετη περίπτωση χρειάζονται 75 έως 100 σημεία ελέγχου όπως και στην περίπτωση της εργασίας όπου η έκταση υπερβαίνει τα 3 εκατομμύρια στρέμματα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα σημεία ελέγχου που επιλέχθηκαν για τον έλεγχο ακρίβειας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.



Χάρτης 5 - Σημεία ελέγχου για την εκτίμηση αξιοπιστίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Ιδία επεξεργασία)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η συχνότητα που συμπίπτει η κάλυψη γης των σημείων ελέγχου σε σχέση με την αληθή κάλυψη γης. Οι κατηγορίες είναι 4: γεωργικές εκτάσει (1), τεχνητό τοπίο (2), υδάτινοι όγκοι (3), φυσικό τοπίο (4).

FREQUENCY	TRUTH	PREDICT
71	1	1
7	1	4
2	2	1
65	2	2
7	2	4
2	3	1
64	3	3
12	3	4
6	4	1
1	4	2
64	4	4

Πίνακας 4 - Συχνότητα κάλυψης γης - αληθούς κάλυψης γης

Ο πίνακας ελέγχου σφαλμάτων (error matrix) είναι πολύ αποτελεσματικός στην παρουσίαση της ακρίβειας του χάρτη. Τα σφάλματα της ταξινόμησης χωρίζονται στα σφάλματα ένταξης (commission errors) και στα σφάλματα αποκλεισμού (omission errors). Το σφάλμα ένταξης συμβαίνει στην περίπτωση όπου μια περιοχή δηλώνεται σε μια λανθασμένη κλάση. Το σφάλμα παράλειψης συμβαίνει όταν μια περιοχή εξαιρείται από την περιοχή στην οποία ανήκει. Αποτέλεσμα είναι ότι ξεχωριστά κάθε λάθος της ταξινόμησης παραλείπεται από την σωστή κλάση και συμπεριλαμβάνεται σε λάθος κλάση.

		j = Στήλες (Δειγματοληψία)			Άθροισμα γραμμών
		1	2	k	n_{i+}
i = Γραμμές (Ταξινόμηση)	1	n_{11}	n_{12}	n_{1k}	n_{1+}
	2	n_{21}	n_{22}	n_{2k}	n_{2+}
	k	n_{k1}	n_{k2}	n_{kk}	n_{k+}
Άθροισμα στηλών		n_{+1}	n_{+2}	n_{+k}	n

Πίνακας 5 - Παράδειγμα error matrix (Story et Congalton, 1986)

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας των σφαλμάτων (error matrix). Διαγωνίως είναι οι περιπτώσεις που η πρόβλεψη για την κάλυψη γης (από την επιβλεπόμενη ταξινόμηση) συμπίπτει με την πραγματική κάλυψη γης. Οριζοντίως παρατηρούνται περιπτώσεις που δεν συμπίπτουν με την πρόβλεψη της κάλυψης γης ενώ φαίνεται η κάλυψη γης με την οποία συνδέεται το σφάλμα.

Πρόβλεψη ταξινόμησης	Δείγμα καλλιεργειών	Δείγμα αστικού τοπίου	Δείγμα υδάτινων όγκων	Δείγμα φυσικού τοπίου	Άθροισμα γραμμών
Καλλιέργειες	71	0	0	7	78
Αστικό τοπίο	2	65	0	7	74
Υδάτινοι όγκοι	2	0	64	12	78
Φυσικό τοπίο	6	1	0	64	71
Άθροισμα στηλών	81	66	64	90	301

Πίνακας 6 - Πίνακας σφαλμάτων ταξινόμησης (error matrix)

Ο πίνακας ελέγχου σφαλμάτων επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων με τρεις διαφορετικές μεθόδους: την συνολική ακρίβεια (overall accuracy), 2) την ακρίβεια ένταξης (producer's accuracy) και 3) την ακρίβεια του χρήστη (user's accuracy) (Story et Congalton, 1986). Η συνολική ακρίβεια είναι το άθροισμα της διαγωνίου του πίνακα ελέγχου (δηλαδή οι σωστά ταξινομημένες μονάδες δείγματος) διαιρούμενο με το σύνολο του αθροίσματος των τιμών του πίνακα ελέγχου σφαλμάτων.

$$\text{Συνολική ακρίβεια} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n}$$

Αυτή η τιμή είναι η πιο συχνά αναφερόμενη εκτίμηση της ακρίβειας στατιστικά και η πιο εξοικειωμένη στον αναγνώστη. Η συνολική ακρίβεια του πίνακα ελέγχου ακρίβειας είναι 87,76%, το οποίο θεωρείται ποσοστό αποδεκτό για την αξιόπιστη διεξαγωγή αποτελεσμάτων του χάρτη καλύψεων γης. Η ακρίβεια ένταξης και η ακρίβεια χρήστη είναι τρόποι παρουσίασης της ακρίβειας επιμέρους κάθε κλάσης (κατηγορίας ταξινόμησης). Η ακρίβεια ένταξης βρίσκεται υπολογίζοντας την διαίρεση της τιμής των σωστών μονάδων μιας κατηγορίας προς το άθροισμα όλων των τιμών της ίδιας κατηγορίας από τις τιμές της δειγματολήψιας (άθροισμα στήλης).

$$\text{producer's accuracy } j = \frac{n_{jj}}{n_{+j}}$$

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας producer's accuracy. Παρατηρείται χαμηλό ποσοστό ακρίβειας (71,11%) στην κάλυψη γης του φυσικού τοπίου.

Κάλυψη γης	producer's accuracy
Καλλιέργειες	87,65%
Αστικό τοπίο	98,48%
Υδάτινοι όγκοι	100,00%
Φυσικό τοπίο	71,11%

Πίνακας 7 - Producer's accuracy

Αντίστροφα υπολογίζεται η τιμή ακρίβειας του χρήστη, δηλαδή για κάθε κλάση, η τιμή του δείγματος (τιμή διαγωνίου) προς το άθροισμα των τιμών της ταξινόμησης (άθροισμα γραμμής).

$$\text{user's accuracy } i = \frac{n_{ii}}{n_{+i}}$$

Ο πίνακας ακρίβειας του χρήστη παρουσιάζεται παρακάτω. Οι τιμές είναι θετικές ως προς το ποσοστό ακρίβειας με χαμηλότερη της κλάσης των υδάτινων όγκων με ποσοστό 82,05%.

Κάλυψη γης	user's accuracy
Καλλιέργειες	91,03%
Αστικό τοπίο	87,84%
Υδάτινοι όγκοι	82,05%
Φυσικό τοπίο	90,14%

Πίνακας 8 - User's accuracy

Τέλος παρουσιάζεται η τιμή kappa coefficient. Η ανάλυση Kappa είναι ένα βασικό μέρος των περισσότερων εκτιμήσεων ακρίβειας και θεωρείται απαιτούμενο «συστατικό» των περισσότερων εκτιμήσεων ελέγχου ακρίβειας σχετικές με ανάλυση ψηφιακών εικόνων (Congalton et al., 1983; Rosenfield and Fitzpatrick-Lins, 1986; Hudson and Ramm, 1987; Congalton, 1991). Αυτό το είδος εξαγωγής αποτελέσματος του ελέγχου ακρίβειας βασίζεται στη διαφορά μεταξύ της πραγματικής «συμφωνίας» μεταξύ των δεδομένων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης και των δειγματοληπτικών δεδομένων ελέγχου (δηλαδή οι τιμές της διαγωνίου του πίνακα ελέγχου) και τις τιμές συμφωνίας μεταξύ των αθροισμάτων στηλών και γραμμών για κάθε κατηγορία (κλάση κάλυψης γης). Παρακάτω παρουσιάζεται η μαθηματική έκφραση της εξαγωγής του kappa coefficient.

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}$$

Η τιμή k coefficient που προέκυψε από τις τιμές του πίνακα ελέγχου ακρίβειας είναι:

$$kappa\ coefficient = 0,84$$

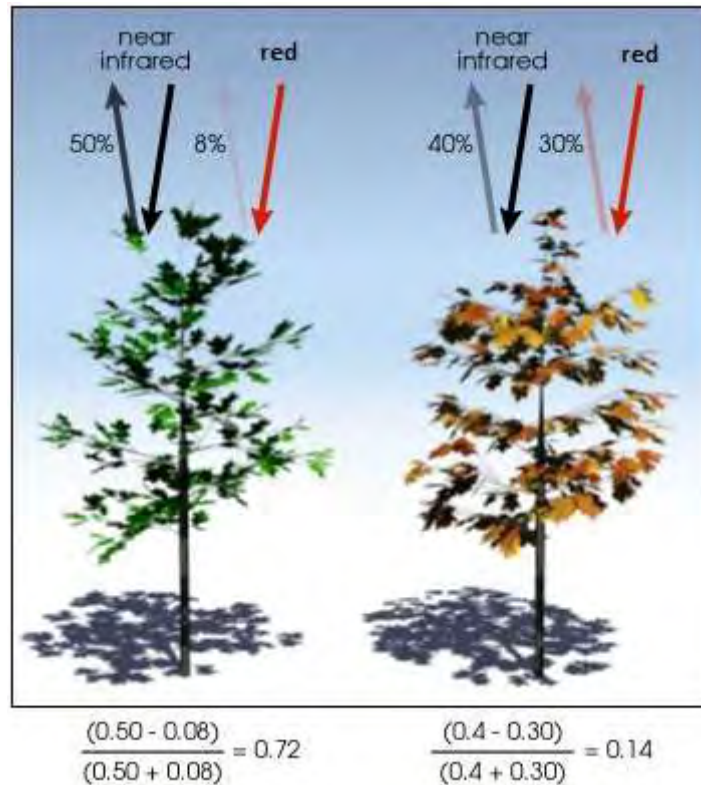
3.1.8 Δείκτης *NDVI*

Για τον προσδιορισμό της πυκνότητας του πράσινου σε ένα κομμάτι της γης, οι ερευνητές πρέπει να παρατηρούν τα διαφορετικά χρώματα (μήκη κύματος) του ορατού και εγγύς υπέρυθρου φωτός του ήλιου που ανακλάται από τα φυτά. Όπως μπορεί να φανεί μέσα από ένα πρίσμα, πολλά διαφορετικά μήκη κύματος συνθέτουν το φάσμα του ηλιακού φωτός. Όταν το φως του ήλιου χτυπά αντικείμενα, ορισμένα μήκη κύματος του φάσματος απορροφούνται και τα άλλα μήκη κύματος ανακλούνται (NASA Earth Observatory, 2015). Η χρωστική ουσία στα φύλλα των φυτών, η χλωροφύλλη, απορροφά ισχυρά το ορατό φως (από 0,4 έως 0,7 μm) για χρήση στη φωτοσύνθεση. Η κυτταρική δομή των φύλλων, από την άλλη πλευρά, αντανακλά έντονα το εγγύς υπέρυθρο φως (0,7 έως 1,1 μm) το οποίο σαρώνουν τα δορυφορικά σύστήματα. Ο δείκτης *NDVI* υπολογίζεται από το ορατό και το εγγύς υπέρυθρο φως που ανακλάται από τη βλάστηση. Η υγιής βλάστηση απορροφά το μεγαλύτερο μέρος του ορατού φωτός που δέχεται, και αντανακλά ένα μεγάλο τμήμα του εγγύς υπέρυθρου φωτός. Η λιγότερο υγιής ή η αραιή βλάστηση αντανακλά περισσότερο ορατό φως και λιγότερο εγγύς υπέρυθρο φως (Σχήμα 2). Ο μαθηματικός τύπος για την ποσοτικοποίηση της πυκνότητας της ανάπτυξης των φυτών εκφράζεται ως η εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία μείον την ορατή ακτινοβολία διαιρούμενο με την εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία συν την ορατή ακτινοβολία. Το αποτέλεσμα αυτού του τύπου ονομάζεται Normalized Difference Vegetation Index (*NDVI*). Ο μαθηματικός τύπος είναι:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Τα αποτελέσματα του δείκτη *NDVI* για ένα δεδομένο εικονοστοιχείο πάντοτε έχει σαν αποτέλεσμα έναν αριθμό που κυμαίνεται από μείον ένα (-1) έως συν ένα (1). Όταν δεν υπάρχουν πράσινα φύλλα δίνει μια τιμή κοντά στο μηδέν. Το μηδέν σημαίνει ότι δεν

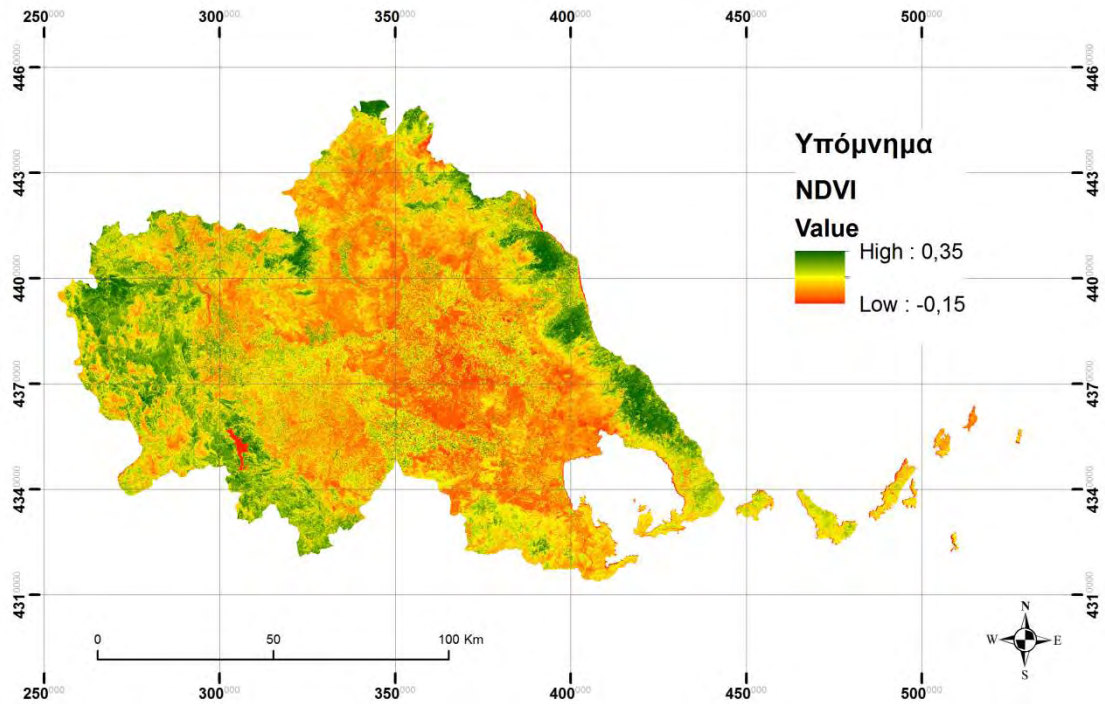
υπάρχει βλάστηση και κοντά στο +1 (0,8 - 0,9) υποδηλώνει την υψηλότερη δυνατή πυκνότητα πράσινων φύλλων άρα και βλάστησης (NASA Earth Observatory, 2015).



Σχήμα 5 - Παράδειγμα εκτέλεσης του δείκτη NDVI (Πηγή:<http://earthobservatory.nasa.gov/>)

Ο δείκτης NDVI εκτελέστηκε στο λογισμικό Erdas Imagine. Όπως είναι αναμενόμενο οι μεγαλύτερες τιμές βρίσκονται σε περιοχές δάσους και μειώνονται όσο τα pixel πλησιάζουν προς το κέντρο της περιοχής μελέτης. Στο κέντρο της περιοχής μελέτης οι τιμές αυτές είναι αισθητά μειωμένες, αν εξαιρεθούν σποραδικά σημεία που λόγω καλλιεργειών έχουν τιμές μεγαλύτερες του μηδενός στην κλίμακα [-1,1] του NDVI. Η δορυφορική εικόνα Landsat δεν υποβλήθηκε σε ατμοσφαιρική διόρθωση εφόσον στη συνέχεια οι τιμές που θα παραχθούν θα αναταξινομηθούν με ειδικά βάρη σχετικά με την συμμετοχή τους στην επίδραση ως προς την βιοποικιλότητα.

Δείκτης φυσικής βλάστησης NDVI



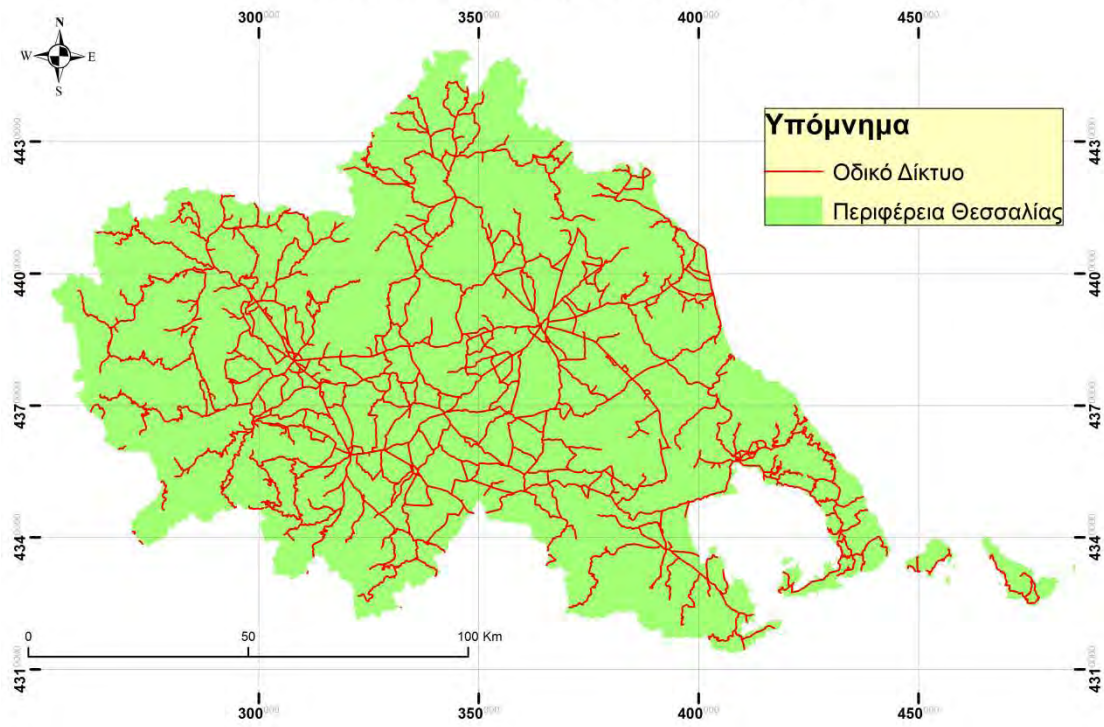
Χάρτης 6 - Δείκτης φυσικής βλάστησης NDVI

3.2 Χωρικά δεδομένα

3.2.1 Οδικό δίκτυο

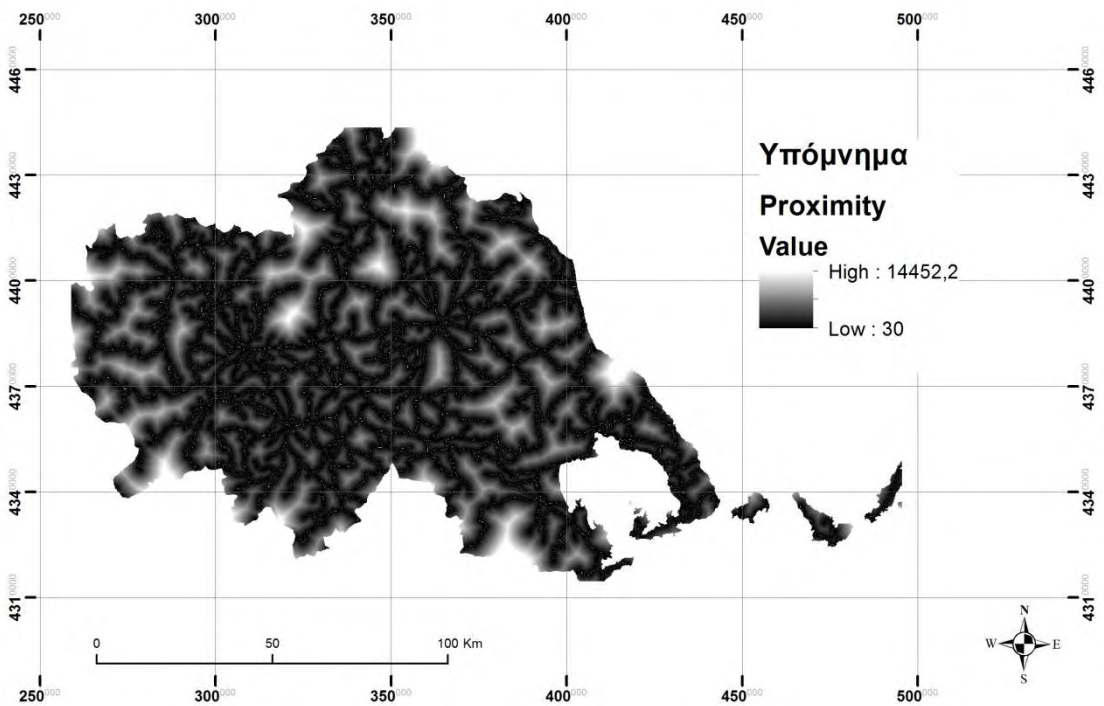
Ανακτήθηκαν ανοιχτά δεδομένα (Παν. Αιγαίου, 2005) vector σχετικά με το οδικό δίκτυο της Ελλάδας. Τα δεδομένα προσαρμόστηκαν στην περιφέρεια Θεσσαλίας (clip). (Χάρτης) Στη συνέχεια έγινε μετατροπή σε μορφή raster και πραγματοποιήθηκε η εντολή “proximity” ώστε να βρεθεί η απόσταση κάθε pixel από το κοντινότερο σημείο στο οδικό δίκτυο. Έτσι δημιουργήθηκε ένας πίνακας raster όπου κάθε pixel έχει μια τιμή σε μέτρα, απόστασης από το πιο κοντινό σημείο οδικού δικτύου (Χάρτης).

Οδικό δίκτυο περιφέρειας Θεσσαλίας



Χάρτης 7 - Οδικό δίκτυο περιφέρειας Θεσσαλίας

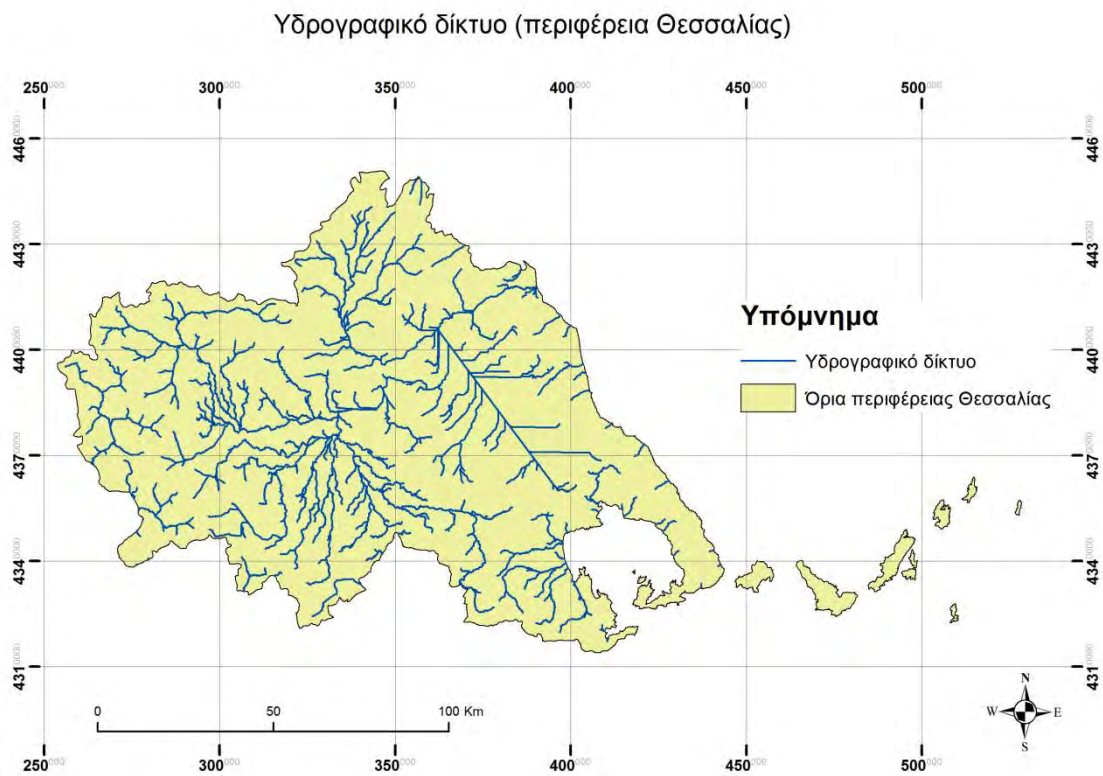
Χάρτης απόστασης από οδικό δίκτυο στην περιφέρεια Θεσσαλίας



Χάρτης 8 - Απόσταση από οδικό δίκτυο στην περιφέρεια Θεσσαλίας

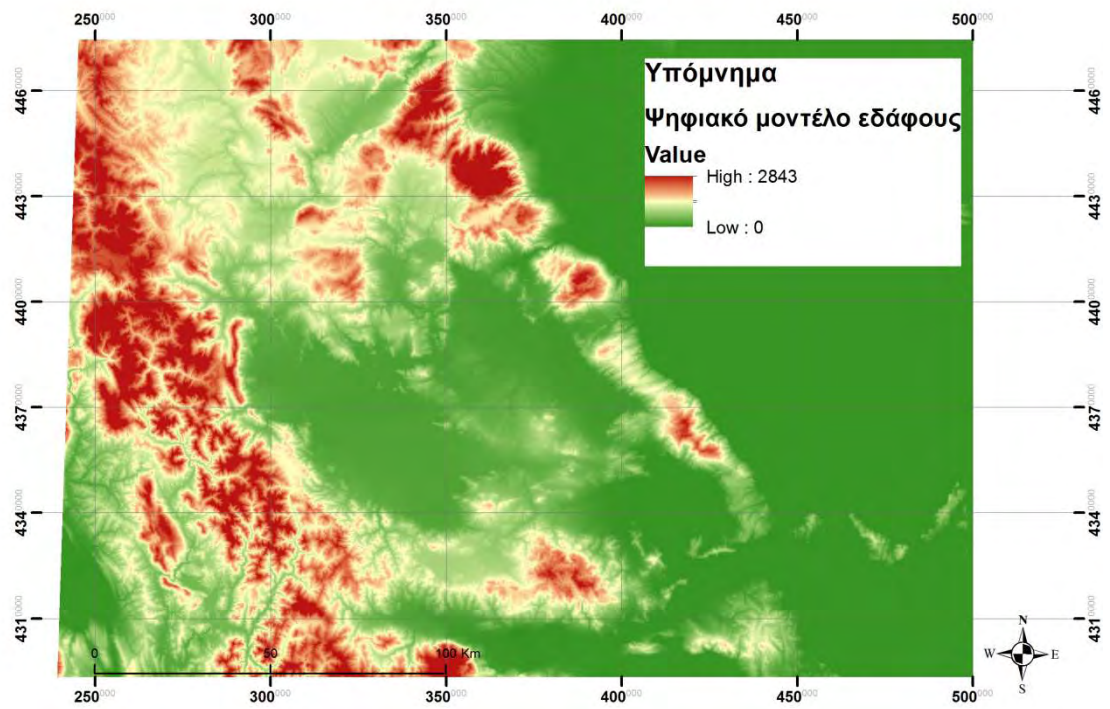
3.2.2 Υδρογραφικό δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο δημιουργήθηκε μέσω ψηφιακού μοντέλου εδάφους από ανοιχτά δεδομένα (DEM-USGS) το οποίο διαμορφώθηκε μέσω δημιουργίας μωσαϊκού. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε raster αρχείο στο οποίο κάθε ρixel έχει πληροφορία για την πιο κοντινή απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο. Η πληροφορία απόστασης έχει μονάδες μέτρησης τα μέτρα. Τέλος, παρουσιάζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του υδρογραφικού δικτύου.



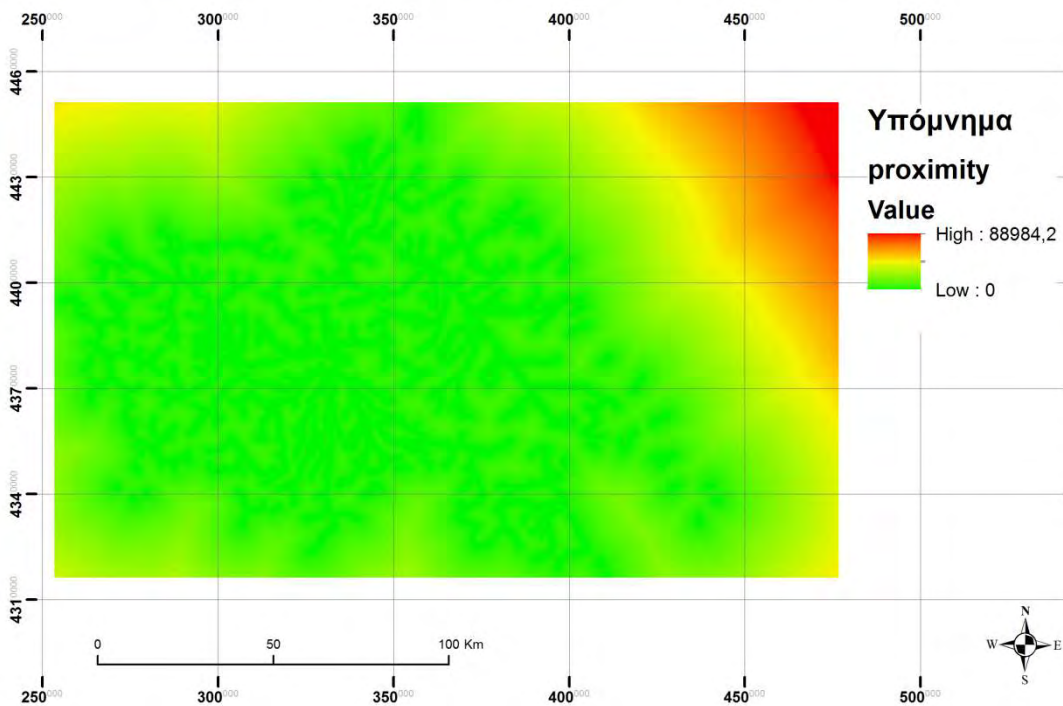
Χάρτης 9 - Υδρογραφικό δίκτυο στην περιφέρεια Θεσσαλίας

Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM)



Χάρτης 10 - Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM)

Χάρτης απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο στην περιφέρεια Θεσσαλίας



Χάρτης 11 - Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο στην περιφέρεια Θεσσαλίας σε μέτρα

3.3 Το πρόγραμμα Corine

Το πρόγραμμα Corine είναι μία χρονολογική σειρά δεδομένων κάλυψης γης το οποίο επιβλέπεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Οι χρονολογίες των δεδομένων είναι για το 1990, το 2000 (Σταθάκης, Περάκης, Φαρασλής, 2008) και το 2006 (εκτός της Ελλάδας). Οι πιο συνηθισμένες χρήσεις του CORINE είναι για τη διαχείριση γης, για την προστασία της φύσης και για τη διαχείριση υδάτινων πόρων (De Lima, 2000). Η κωδικοποίηση των καλύψεων βασίζεται σε ιεραρχική κωδικοποίηση τριών επιπέδων. Το πρώτο επίπεδο παρουσιάζει τις χρήσεις γης σε πιο γενικό επίπεδο (τεχνητές επιφάνειες, γεωργικές περιοχές, δάσος και φυσικές περιοχές, υδροβιότοπους και υδάτινοι όγκοι) στο δεύτερο επίπεδο όπου οι καλύψεις έχουν 15 κλάσεις και είναι πιο αναλυτικές μέχρι το τρίτο επίπεδο όπου οι καλύψεις είναι 44 με πιο λεπτομερή ερμηνεία (Σταθάκης, Περάκης, Φαρασλής, 2008).

Level	Αγγλική ονομασία	Ελληνική ονομασία
3		
111	Continuous urban fabric	Συνεχής αστικές κατασκευές
112	Discontinuous urban fabric	Ασυνεχής αστικές κατασκευές
121	Industrial or commercial units	Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες
122	Road and rail networks and associated land	Δρόμοι και σιδηροδρομικές γραμμές και οι σχετικές εκτάσεις
123	Port areas	Λιμάνια
124	Airports	Αεροδρόμια
131	Mineral extraction sites	Χώροι εξόρυξης μεταλλευμάτων
132	Dump sites	Σκουπιδότοποι
133	Construction sites	Εργοτάξια
141	Green urban areas	Αστικοί χώροι πρασίνου
142	Sport and leisure facilities	Χώροι αναψυχής και αθλητισμού
211	Non-irrigated arable land	Μη αρδευόμενες οργώσιμες εκτάσεις
212	Permanently irrigated land	Μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις
213	Rice fields	Ορυζώνες
221	Vineyards	Αμπελώνες
222	Fruit trees and berry plantations	Δενδροκαλλιέργειες
223	Olive groves	Ελαιώνες
231	Pastures	Βοσκοτόπια
241	Annual crops associated with permanent crops	Ετήσιες αγροτικές καλλιέργειες σε συνδυασμό με μόνιμες
242	Complex cultivation patterns	Πολύπλοκα σχέδια καλλιέργειας
243	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	Αγροτικές εκτάσεις με σημαντικό ποσοστό κάλυψης από φυσική βλάστηση
244	Agro-forestry areas	Αγροτικές-δασικές εκτάσεις
311	Broad-leaved forest	Δάση πλατύφυλλων
312	Coniferous forest	Κωνοφόρα δάση
313	Mixed forest	Μικτά δάση

321	Natural grassland	Φυσικά χορτολίβαδα
322	Moors and heathland	Χέρσα γη
323	Sclerophyllous vegetation	Σκληρόφυλλα βλάστηση
324	Transitional woodland shrub	Παραδοσιακοί ξυλώδεις θάμνοι
331	Beaches, dunes, and sand plains	Παραλίες, αμμοθίνες
332	Bare rock	Γυμνά βράχια
333	Sparsely vegetated areas	Εκτάσεις με σποραδική βλάστηση
334	Burned areas	Καμένες εκτάσεις
335	Glaciers and perpetual snow	Παγετώνες και αιώνια χιονοσκεπείς εκτάσεις
411	Inland marshes	Έλη της ενδοχώρας
412	Peatbogs	Εκτάσεις με τύρφη
421	Salt marshes	Αλατώδη έλη
422	Salines	Αλυκές
423	Intertidal flats	Επίπεδα από παλίρροιες
511	Water courses	Υδάτινα ρεύματα
512	Water bodies	Υδάτινοι όγκοι
521	Coastal lagoons	Παράκτιες λιμνοθάλασσες
522	Estuaries	Εκβολές (Δέλτα) ποταμών
523	Sea and ocean	Πελάγη και ωκεανοί

Πίνακας 9 - Κωδικοποίηση και ερμηνεία Corine (Σταθάκης κα, 2008)

4. Μέθοδος

Στην μελέτη που έγινε από τους Paruelo, Jobbagy και Sala (2001), συνδιάστηκαν οι μετρήσεις του NDVI με κλιματολογικά δεδομένα ώστε να αποσαφηνιστεί και χαρτογραφηθεί η ετερογένεια των εκτάσεων σε σχέση με τις οικολογικές λειτουργίες. Στην εργασία συνδιάζονται περιβαλλοντικοί παράμετροι για την εκτίμηση της βιοποικιλότητας. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την παραγωγή των αποτελεσμάτων της εκτίμησης βιοποικιλότητας. Αναλύονται επιστημονικοί τομείς, στατιστικά εργαλεία και βιβλιογραφικές παρόμοιες μελέτες. Για να κατανοηθούν συνολικά οι πολύπλοκοι μηχανισμοί που συγκροτούν την λειτουργία της βιοποικιλότητας, είτε χρονικά είτε χωρικά, χρειάζεται συνδιασμός μεθοδολογιών και εργαλείων μέτρησης τεχνολογικά ανεπτυγμένων. Έτσι σημαντικός είναι ο ρόλος της τηλεπισκόπησης και των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) (Murthy, Giriraj, Dutt, 2003).

4.1 Τηλεπισκόπηση

4.1.1 Ορισμός

Σύμφωνα με τον Rees (2001), τηλεπισκόπηση, είναι η επιστήμη εκείνη, η οποία, ασχολείται με την εξ' αποστάσεως παρατήρηση. Με άλλα λόγια, είναι η συλλογή πληροφοριών για ένα αντικείμενο, με το οποίο δεν υπάρχει φυσική επαφή. Ένας πιο σύνθετος και ολοκληρωμένος τρόπος απόδοσης του όρου τηλεπισκόπηση δίνεται από τον Short (1982). Σύμφωνα με αυτόν, ως τηλεπισκόπηση ορίζεται «η απόκτηση δεδομένων και παράγωγων πληροφοριών για αντικείμενα ή υλικά (στόχοι), τα οποία βρίσκονται στη γήινη επιφάνεια ή στην ατμόσφαιρα, με τη χρησιμοποίηση αισθητήρων ανίχνευσης τοποθετημένων σε πλατφόρμες που βρίσκονται σε κάποια απόσταση από τον στόχο, για να καταγραφούν μετρήσεις (συνήθως πολυφασματικές) των αλληλεπιδράσεων μεταξύ στόχων και της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας».

4.1.2 Η εικόνα και η γεωμετρία της

Η φωτογραφία μιας περιοχής από κάποιο ύψος δεν μπορεί να θεωρηθεί χάρτης. Για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια εικόνα σε ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών πρέπει πρώτα να υποστεί μια προεπεξεργασία ώστε να διαθέτει τις κατάλληλες πληροφορίες. Η προεπεξεργασία της εικόνας ονομάζεται γεωμετρική διόρθωση. Κατά τη γεωμετρική διόρθωση η εικόνα μετασχηματίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διαθέτει τις γεωμετρικές ιδιότητες και το σύστημα αναφοράς συντεταγμένων μιας χαρτογραφικής προβολής (Μέρτικας, 2006).

4.1.3 Ο ρόλος της τηλεπισκόπησης στην βιοποικιλότητα

Μέσω της τηλεπισκόπησης η επιφάνεια της γης παρακολουθείται σε πολλά επίπεδα κλίμακας (παγκόσμιο επίπεδο, τοπικό επίπεδο κα). Έτσι, η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται σαν εργαλείο που καταγράφει δεδομένα μέσω των οποίων μπορούν να αξιολογούνται καταστάσεις και αποτελέσματα όσο αναφορά την προσπάθεια

διατήρησης της φύσης. Πιο συγκεκριμένα η τηλεπισκόπηση μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικές με την βλάστηση, τις αλλαγές των χρήσεων γης, τον κατακερματισμό, την γειτνίαση κα (Murthy, 2003).

4.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

4.2.1 Ορισμός

Ένα Σ.Γ.Π. αποτελείται από εξοπλισμό Η/Υ και λογισμικό για την εισαγωγή, αποθήκευση, ανάκτηση, μετασχηματισμό, μέτρηση, συνδυασμό, κερματισμό και απεικόνιση χωρικών (ή γεωγραφικών) δεδομένων τα οποία έχουν ψηφιοποιηθεί και έχουν καταχωρηθεί σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων. Για να έχουμε τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουμε τις παραπάνω (δι)-εργασίες, τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί σε ένα Σ.Γ.Π. πρέπει να περιέχουν πληροφορίες για την θέση τους στο χώρο όπως επίσης και για τις ιδιότητές τους. Κατ' ελάχιστον τα Σ.Γ.Π. πρέπει να είναι ικανά για τα παρακάτω (Μανιάτης, 1996):

- Εισαγωγή δεδομένων, διόρθωση και διαχείριση αυτών
- Αποθήκευση δεδομένων και ανάκτηση
- Εκτέλεση ερωτήσεων (ή άντληση πληροφοριών) βασισμένες στις ιδιότητες των δεδομένων ή τη θέση τους στο χώρο ή συνδυασμό των παραπάνω
- Δημιουργία βάσεων δεδομένων βασισμένων στις παραπάνω ερωτήσεις
- Παραγωγή πινακοποιημένων γραφικών και ψηφιακών εξαγόμενων

4.2.2 Σχέση ΣΓΠ και βιοποικιλότητας

Ένα σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση της βιοποικιλότητας είναι τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) τα οποία μπορούν να διαχειριστούν μεγάλο εύρος χωρικών και μη χωρικών πληροφοριών (Salem, 2003). Η ανάγκη για εκτίμηση πληροφοριών βιοποικιλότητας έχει αντιμετωπιστεί από διαχειριστές προστατευόμενων περιοχών, επιστήμονες, φορείς λήψης αποφάσεων, ερευνητές κá.

Κάθε βάση δεδομένων που σχετίζεται με πληροφορίες βιοποικιλότητας πρέπει να έχει γεωγραφική αναφορά ώστε να είναι σε θέση να προβλέψει περιοχές με νέους πληθυσμούς απειλούμενων ειδών. Η προσθήκη της γεωγραφικής διάστασης στις βάσεις δεδομένων παρέχει μία άλλη προοπτική στα δεδομένα, ενώ συμβάλλει αποτελεσματικά στην ενίσχυση της διατήρησης της βιοποικιλότητας με την παροχή πληροφοριών σε χωρικές επικαλύψεις (layer) δημιουργώντας χάρτες και εικόνες για την ανάλυση και την ερμηνεία φαινομένων και καταστάσεων. Έτσι, μία σημαντική πτυχή στη διατήρηση της φύσης που αξίζει ιδιαίτερη προσοχή στα πλαίσια των ΣΓΠ είναι η ανάλυση, οι μετρήσεις και ο σχεδιασμός που μπορούν να σχετιστούν με την βιοποικιλότητα (Salem, 2003; Aspinall, 1995). Τα ΣΓΠ διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο ως εργαλείο για την περιβαλλοντική διαχείριση, ειδικά στο παρόν σχετικά με τις ανησυχίες και την προσπάθεια που καταβάλλεται για την αειφόρο διαχείριση των φυσικών πόρων, καθώς και την διατήρηση και παρακολούθηση της βιοποικιλότητας (Salem, 2003). Πολλά δεδομένα που αφορούν περιβαλλοντικά και οικολογικά συστήματα έχουν συλλεχθεί και αποθηκευτεί σε κατάλληλες μορφές επεξεργασίας στα ΣΓΠ για την ανάλυσή τους και την περαιτέρω διαχείριση (Salem, 2003; Aspinall, 1995). Σύμφωνα με τους Swetnam και Reyers (2011) η χρήση των ΣΓΠ μπορεί να υποστηρίξει τρεις βασικούς πυλώνες στην διατήρηση της βιοποικιλότητας: 1) Την διάγνωση των προβλημάτων διατήρησης και τις αιτίες τους, 2) την διαμόρφωση πολιτικών αποφάσεων σχετικές με τις περιβαλλοντικές αλλαγές στην βιοποικιλότητα, τις οικοσυστημικές υπηρεσίες και την ανθρώπινη ευημερία και 3) την ανάπτυξη διαχειριστικών λύσεων στα περιβαλλοντικά προβλήματα.

4.3 Μέθοδος ομαδοποίησης τιμών “Natural Breaks”

Η μέθοδος “Natural Breaks” είναι μία μέθοδος μη-αυτόματης κατάταξης δεδομένων η οποία επιδιώκει να επιμερίσει τα δεδομένα σε τάξεις βάσει των φυσικών ομάδων στην κατανομή των δεδομένων. Τα natural breaks παρουσιάζονται στο ιστόγραμμα στα σημεία που μειώνεται η συχνότητα τιμών με αποτέλεσμα η καμπύλη των τιμών στα σημεία αυτά να έχει φθίνουσα κατεύθυνση (low points of valleys). Η ομαδοποίηση εφαρμόζεται βάση την μεγαλύτερων αυτών περιοχών στο ιστόγραμμα, ανάλογα με τον αριθμό των ομάδων που έχει συσταθεί. (ESRI, 2015)

4.4 Μέθοδος δημιουργίας μοντέλου αθροίσματος σταθμισμένων βαρών και πολυκριτηριακή ανάλυση

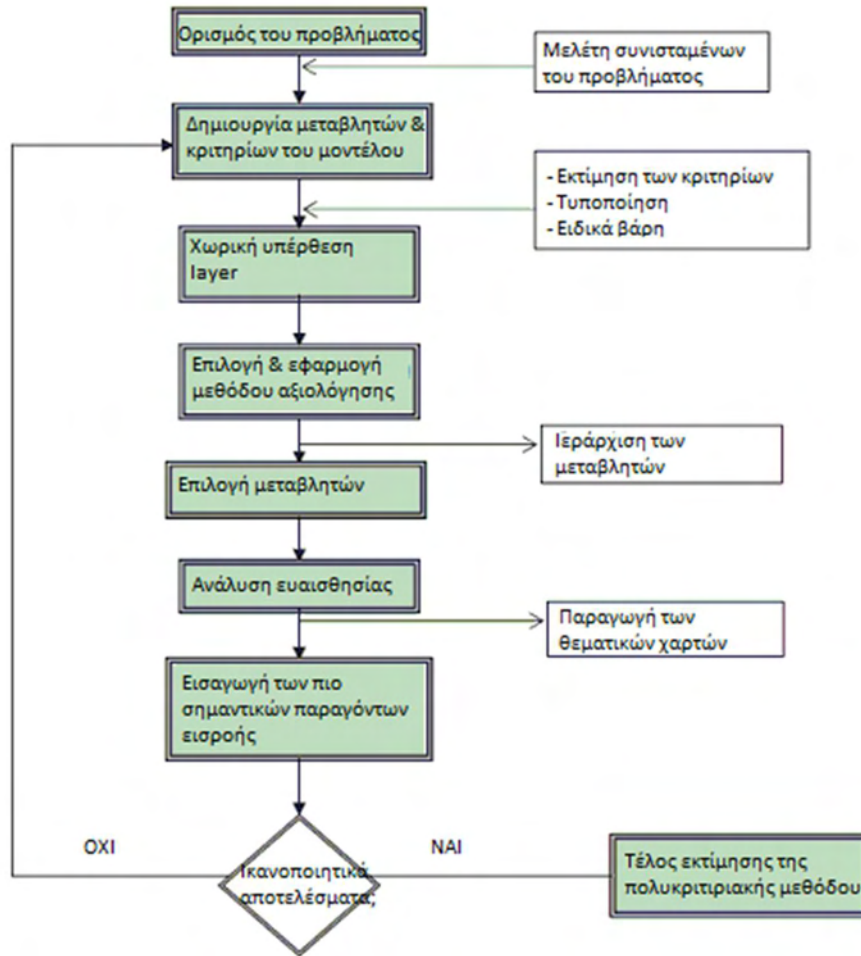
Το μοντέλο αθροίσματος σταθμισμένων βαρών μετατρέπει τις μεταβλητές μεταξύ τους συγκρίσιμες, προσθέτοντας βάρη με αποτέλεσμα να μειώνει την ποσότητα των πληροφοριών μέσω της άθροισης των σταθμισμένων (τυποποιημένων) τιμών. Αυτή η διαδικασία προτείνεται για την διαμόρφωση μια κατάταξης εναλλακτικών λύσεων με δυνατότητα κατανόησης πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των λύσεων (Herwijnen, 2006). Στην εργασία το μοντέλο χρησιμοποιείται για περιβαλλοντική εκτίμηση στον τομέα της βιοποικιλότητας τοπίου. Σύμφωνα με τους Συλαίο, Μπουλιγαράκη και Μουτζίκη (201X) «Ο αλγόριθμος είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για την υποστήριξη αποφάσεων σε περιφερειακό επίπεδο, όπου πολλές φορές η απόφαση στηρίζεται σε πολλούς παραμέτρους διαφορετικής φύσεως και βάρους. Ο αλγόριθμος είναι γενικής φύσεως και μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες εφαρμογές οι οποίες απαιτούν επίλυση και δημιουργία ενός δείκτη απόφασης όχι μόνο μέσα στα πλαίσια ενός γραμμικού μοντέλου ομοιογενών παραμέτρων, αλλά και μέσα στα πλαίσια συνδυασμού πολλών δεικτών.» Η μαθηματική έκφραση του μοντέλου είναι:

$$S_j = \sum_{i=1}^n (W_i * X_{ij})$$

Όπου S_j η τελική ταξινόμηση της κοινότητας j , n το πλήθος των μεταβλητών, W_i το βάρος της μεταβλητής i της κοινότητας j και X_{ij} η τιμή βαθμονόμησης της μεταβλητής i στην κοινότητα j

Στην περίπτωση του αλγόριθμου που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία, S_j είναι η τελική σταθμισμένη τιμή κάθε εικονοστοιχείου (το οποίο συμπίπτει σε κάθε κατηγορία layer), n το πλήθος των pixel του πίνακα raster, W_i είναι η τιμή του ειδικού βάρους για κάθε κατηγορία και X_{ij} η τιμή του εικονοστοιχείου για κάθε κατηγορία (το οποίο συμπίπτει σε κάθε κατηγορία layer). Οι τεχνικές που συνδιάζουν τα ΣΓΠ με την πολυκριτηριακή ανάλυση (GIS-MCA) έχουν εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο φάσμα ειδικοτήτων, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα κριτήρια και μεταβλητές, για επίλυση

προβλημάτων όπως ο σχεδιασμός αστικού και αγροτικού περιβάλλοντος, η χωροθέτηση διαφορετικών τύπων εγκαταστάσεων, δημιουργία χαρτών χρήσεων γης κλπ (Perpina et al., 2013; Bordas, 2006; Mena et al., 2006; Sumathi et al., 2008; Malczewski and Jackson, 2000). Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται η διαδικασία που συνδιαμορφώνεται από τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών με την πολυκριτηριακή ανάλυση (Perpina et al., 2013). Στην παρούσα εργασία η σειρά εκτέλεσης της διαδικασίας είναι: 1) ορισμός του προβλήματος (εκτίμηση βιοποικιλότητας), 2) δημιουργία μεταβλητών (κατηγορίες παραγόντων βιοποικιλότητας), 3) προεπεξεργασία μεταβλητών (πχ γεωμετρική διόρθωση, μέγεθος εικονοστοιχείου κλπ), 3) αναταξινόμηση τιμών σε κλίμακα 1-10 βάση βαρύτητας ως προς την βιοποικιλότητα τοπίου (τυποποίηση), 4) παραγωγή θεματικών χαρτών, 5) επιλογή ειδικών βαρών για κάθε μεταβλητή (κλίμακα 1-10), 6) εφαρμογή μοντέλου αθροίσματος σταθμισμένων βαρών, 7) σύγκριση τιμών με δεδομένα βιοποικιλότητας, 8) επανακαθορισμός ειδικών βαρών για κάθε μεταβλητή, 9) παραγωγή τελικού θεματικού χάρτη.



Σχήμα 6 - Διαδικασία ΣΓΠ - Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (Perpina et al., 2013)

Το μοντέλο αθροίσματος σταθμισμένων βαρών χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της βιοποικιλότητας (σε επίπεδο τοπίου) με ειδικά βάρη για κάθε κατηγορία σχετικά με 1) την κάλυψη γης, 2) τον δείκτη NDVI, 3) την απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο και 4) την απόσταση από το οδικό δίκτυο. Για να εφαρμοστεί επιτυχώς το μοντέλο έγινε τυποποίηση των τιμών σε μία κλίμακα 1-10 (αυξητικά ως προς την μεγαλύτερη εκτίμηση βιοποικιλότητας). Η τελική εφαρμογή του μοντέλου έχει ειδικά βάρη ως προς τις 4 κατηγορίες ως εξής: 1) κάλυψη γης = 0,35 , 2) δείκτης NDVI = 0,35 , απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο = 0,15 και 4) απόσταση από οδικό δίκτυο 0,15 με τελικό αποτέλεσμα τιμές εύρους 1-10. Για κάθε κατηγορία έγινε βιβλιογραφική έρευνα για να διευρευνηθεί η σημαντικότητα της κατηγορίας αλλά και να υπολογιστούν οι τιμές της ενιαίας κλίμακας σχετικά με την θετική ή αρνητική εκτίμηση της ως προς την συμβολή

της στην βιοποικιλότητα. Παρακάτω δίνεται παράδειγμα του μοντέλου αθροίσματος σταθμισμένων βαρών όπως διαμορφώνεται στην εργασία:

Περίπτωση Pixel (Σύνολο pixel = n)	Weight i=1 (Κάλυψη γης)	Weight i=2 (NDVI)	Weight i=3 (Υδρογραφικό δίκτυο)	Weight i=4 (Οδικό δίκτυο)	Sj (Τελική σταθμισμένη τιμή)
Pixel j=1	X _{1,1}	X _{2,1}	X _{3,1}	X _{4,1}	S ₁
Pixel j=2	X _{1,2}	X _{2,2}	X _{3,2}	X _{4,2}	S ₂
Pixel j=3	X _{1,3}	X _{2,3}	X _{3,3}	X _{4,3}	S ₃
Pixel j=4	X _{1,4}	X _{2,4}	X _{3,4}	X _{4,4}	S ₄
Pixel j=n	X _{1,n}	X _{2,n}	X _{3,n}	X _{4,n}	S _n

Πίνακας 10 - Παράδειγμα εφαρμογής του μοντέλου σταθμισμένων βαρών στην ανάπτυξη του μοντέλου της εργασίας.

Για παράδειγμα ισχύει ότι: $S_1 = (X_{1,1} * W_1) + (X_{2,1} * W_2) + (X_{3,1} * W_3) + (X_{4,1} * W_4)$

4.5 Κάλυψη / Χρήσεις Γης

Σύμφωνα με τον Haines-Young (2009) η μελέτη των σχέσεων μεταξύ των χρήσεων γης και της βιοποικιλότητας είναι εκ φύσεως πολύπλοκη διότι και οι δύο έννοιες είναι πολυδιάστατες και δύσκολο να προσδιοριστούν με σαφήνεια. Η βιοποικιλότητα μπορεί να μετρηθεί με πολλούς τρόπους. Αυτό σημαίνει ότι ο πλούτος των ειδών δεν είναι ο μόνος τρόπος μέτρησής της σε μια περιοχή, αλλά περιλαμβάνονται και μετρήσεις για την ποικιλία των γονότυπων, λειτουργικές ομάδες, κοινότητες και οικοσυστήματα που θα μπορούσαν να εντοπιστούν και να υπολογιστούν. Ο ίδιος αναφέρει πως «η βιοποικιλότητα και οι χρήσεις γης συνδέονται σε γενικές γραμμές, αλλά πρέπει να είμαστε συγκεκριμένοι σχετικά με τα χαρακτηριστικά της βιοποικιλότητας και των χρήσεων γης τα οποία εξετάζονται, αν θέλουμε να κατανοήσουμε τις σχέσεις αιτίας-αποτελέσματος που μπορεί να υπάρχουν μεταξύ τους».



Όπου:

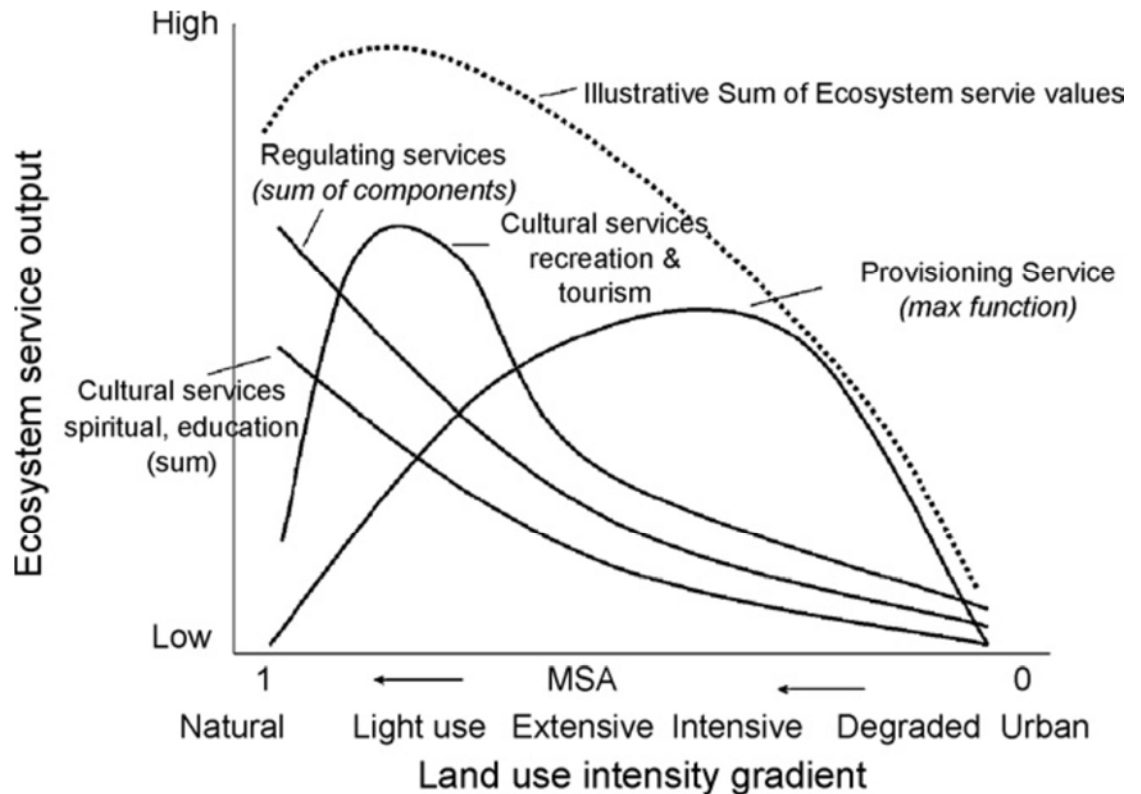
- Κάλυψη γης είναι τα φυσικά χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας καθορισμένα από τον συνδυασμό των βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων
- Οι χρήσεις γης καθορίζονται από τους σκοπούς της ενεργητικής ή παθητικής διαχείρισης της γης και τα αγαθά (υλικά ή μη) που απορρέουν από αυτή
- Βιοποικιλότητα είναι η ποικιλία των βιολογικών παραγόντων που παρουσιάζονται σε ένα μέρος (γενετική, ειδών, οικοσυστημάτων, οικοτόπων κλπ)
- Οι διεργασίες της γης και των οικοσυστημάτων είναι η δυνατότητα της γης και των οικοσυστημάτων να παράξουν χρήσιμα αποτελέσματα για τους ανθρώπους
- Οικοσυστημικές υπηρεσίες είναι η τελική συνεισφορά που παρέχουν τα οικοσυστήματα στην ανθρώπινη ευημερία

Σχήμα 7 - Οι σχέσεις μεταξύ των καλύψεων γης, των χρήσεων γης, της βιοποικιλότητας και της συνεισφοράς των οικοσυστημικών υπηρεσιών (Haines – Young R., 2009)

4.5.1 Σχέσεις: Κάλυψη γης / χρήση γης / βιοποικιλότητα

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η κάλυψη γης και η χρήση γης δεν είναι το ίδιο πράγμα (Haines-Young, 2009; Jansen and Di Gregorio, 2002; Comber, 2008). Η κάλυψη γης αναφέρεται στα φυσικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης (πχ η βλάστηση που βρέθηκε ή η παρουσία τεχνητά δομημένου περιβάλλοντος). Η χρήση γης περιγράφει τις οικονομικές και κοινωνικές λειτουργίες την εν λόγω γης. Σαφώς οι δύο όροι μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους αλλά η διασύνδεσή τους είναι πολύπλοκη. Παρ'όλα αυτά συχνά συγχέονται σε συστήματα ταξινόμησης με αποτέλεσμα οι πληροφορίες που προκύπτουν στις αλλαγές της γης να είναι δύσκολο να ερμηνευτούν, ιδίως όσον αφορά τις συνέπειες για την βιοποικιλότητα (Haines-Young, 2009). Τα διάφορα συστατικά της βιοποικιλότητας (σε επίπεδο ατόμου, πληθυσμού και βιοκοινότητας) και οι οικολογικές λειτουργίες που υποστηρίζουν έχουν κεντρική θέση στις ανερχόμενες θεωρήσεις για το πώς οι άνθρωποι και τα οικοσυστήματα συνδέονται μέσα από το πρίσμα των χρήσεων γης και των καλύψεων γης (Haines-Young, 2009). Τα αποτελέσματα των καλύψεων γης εξαρτώνται και επηρεάζονται από τις χρήσεις γης αλλά και από τα χαρακτηριστικά της βιοποικιλότητας της επικείμενης περιοχής. Ομοίως, το εύρος των πιθανών χρήσεων γης περιορίζεται και προσδιορίζεται από την

κάλυψης γης και την οικολογική κατάσταση της επικείμενης περιοχής (Haines-Young , 2009).



Διάγραμμα 3 - Υποθετικές σχέσεις μεταξύ της έντασης χρήσεων γης, του δείκτη MSA (Means Species Abundance Index). Key: 0 = πλήρης αλλαγή του συνόλου των ειδών, 1= αναλόγιωτος αριθμός ειδών (Braat et ten Brink, 2008)

Πρότυπα όπως αυτά που προτείνει ο Braat και ο ten Brink (2008) προσπαθούν να περιγράψουν την σχέση μεταξύ της έντασης των χρήσεων του εδάφους, του βαθμού τροποποίησης της βιοποικιλότητας (δείκτης MSA) και της παραγωγής των οικοσυστημικών υπηρεσιών (Haines-Young , 2009). Στα πλαίσια της εργασίας έγινε υποθετική ιεράρχηση των καλύψεων γης ως προς την ένταση της χρήσης γης σε αντιστοιχία με το υποθετικό πρότυπο που προτείνεται από τους Braat και ten Brink (2008). Στο παραπάνω σχήμα ενδιαφέρον παρουσιάζει η καμπύλη “regulating services” δηλαδή η μέση καμπύλη όλων των παραγόντων που παρουσιάζονται στο σχήμα. Οι «ρυθμιστικές υπηρεσίες» είναι πολύπλοκες διαδικασίες σε επίπεδο οικοσυστήματος. Καθώς τα οικοσυστήματα μεταβάλλονται, η δυνατότητα των ρυθμιστικών του παραγόντων (ώστε να παραμείνει σε ισοροπία) μειώνεται λιγότερο ή περισσότερο ανάλογα με τη μείωση του δείκτη MSA κατά μήκος της γραμμής της των χρήσεων γης

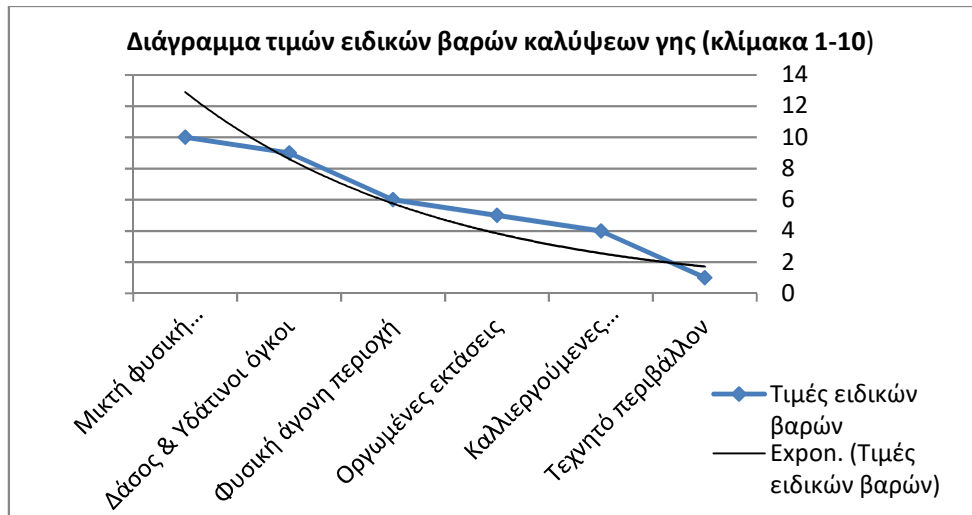
(Bratt et ten Brink, 2008). Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η βιοποικιλότητα σε επίπεδο ειδών αυξάνει την ισοροπία ενός οικοσυστήματος ανάλογα με τον αριθμό ειδών σε μια περιοχή (μεγαλύτερος αριθμός ειδών – μεγαλύτερη ισοροπία οικοσυστήματος). Κατα συνέπεια η καμπύλη των «ρυθμιστικών υπηρεσιών» είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τον πλούτο των ειδών σε μια περιοχή και κατ' επέκταση με την βιοποικιλότητα. Μέσω του παραπάνω σχήματος έγινε μια αντιστοίχιση στα δεδομένα κάλυψης γης της εργασίας ώστε να αποτυπωθεί η βαρύτητα που κατέχουν σε σχέση με την συμμετοχή ως προς την βιοποικιλότητα. Η ένταση της χρήσης γης του τεχνητού περιβάλλοντος είναι η υψηλότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες. Υψηλή προς μέτρια ένταση χρήση γης παρουσιάζουν οι καλλιεργούμενες και οργωμένες εκτάσεις ενώ μέτρια η φυσική άγρονη περιοχή. Μικρή έως ελάχιστη ένταση χρήση γης παρουσιάζουν οι καλύψεις γης μικτής φυσικής βλάστησης, υδάτινων όγκων και δασών. Αντιστρόφως ανάλογα συμπληρώνονται οι τιμές των ειδικών βαρών αφού υψηλή ένταση χρήση γης παρουσιάζει την ελάχιστη βαρύτητα ως προς τις οικοσυστημικές υπηρεσίες όπου συμμετέχει σαν παράγοντας και η βιοποικιλότητα. Με την ίδια λογική συμπληρώθηκαν οι τιμές των ειδικών βαρών για τους υπόλοιπες καλύψεις γης.

Είδος κάλυψης γης	Ένταση ως χρήση γης	Τιμές ειδικών βαρών
Τεχνητό περιβάλλον	Υψηλή	1
Καλλιεργούμενες εκτάσεις	Υψηλή προς μέτρια	4
Οργωμένες εκτάσεις	Υψηλή προς μέτρια	5
Φυσική άγρονη περιοχή	Μέτρια	6
Μικτή φυσική βλάστηση και υδάτινοι όγκοι	Μικρή	9
Δάσος	Ελάχιστη	10

Πίνακας 11 - Ειδικά βάρη καλύψεων γης

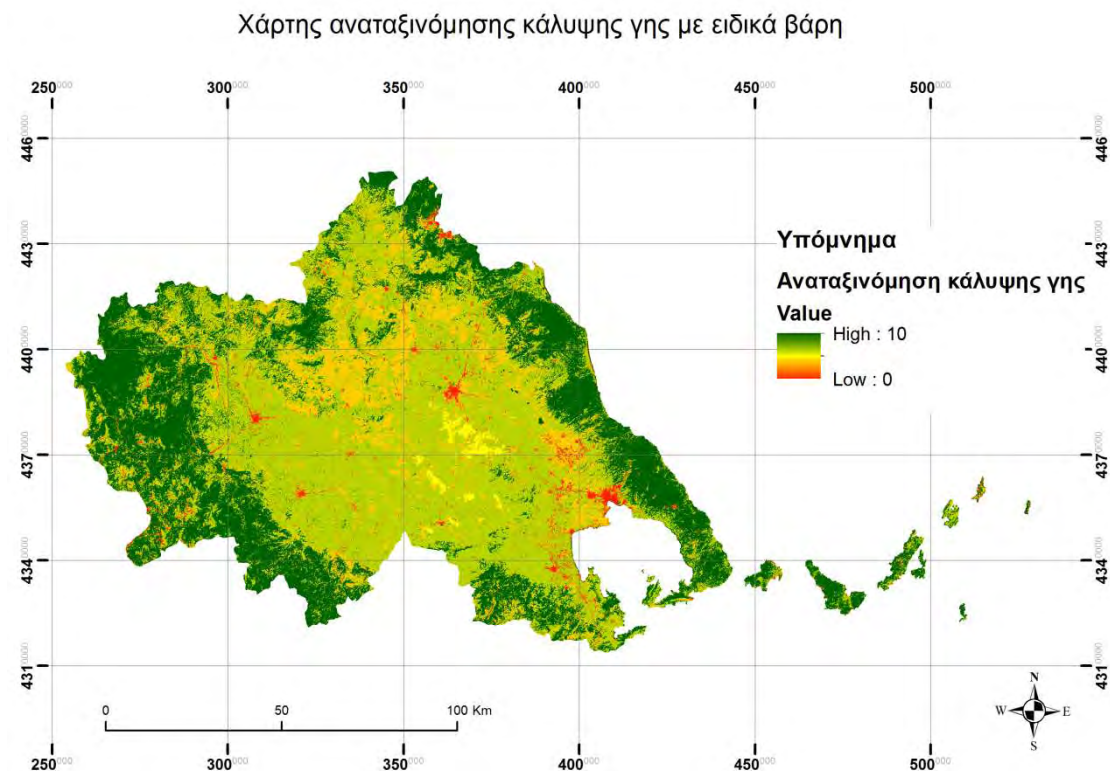
Παρακάτω παρουσιάζεται το διαγράμμα τιμών ειδικών βαρών των καλύψεων γης σε σχέση με την συνεισφορά τους ως προς την βιοποικιλότητα.

Η εκθετική καμπύλη συμβαδίζει με την καμπύλη “regulating components” του προτύπου που παρουσιάστηκε παραπάνω.



Διάγραμμα 4 - Διάγραμμα τιμών ειδικών βαρών καλύψεων γης

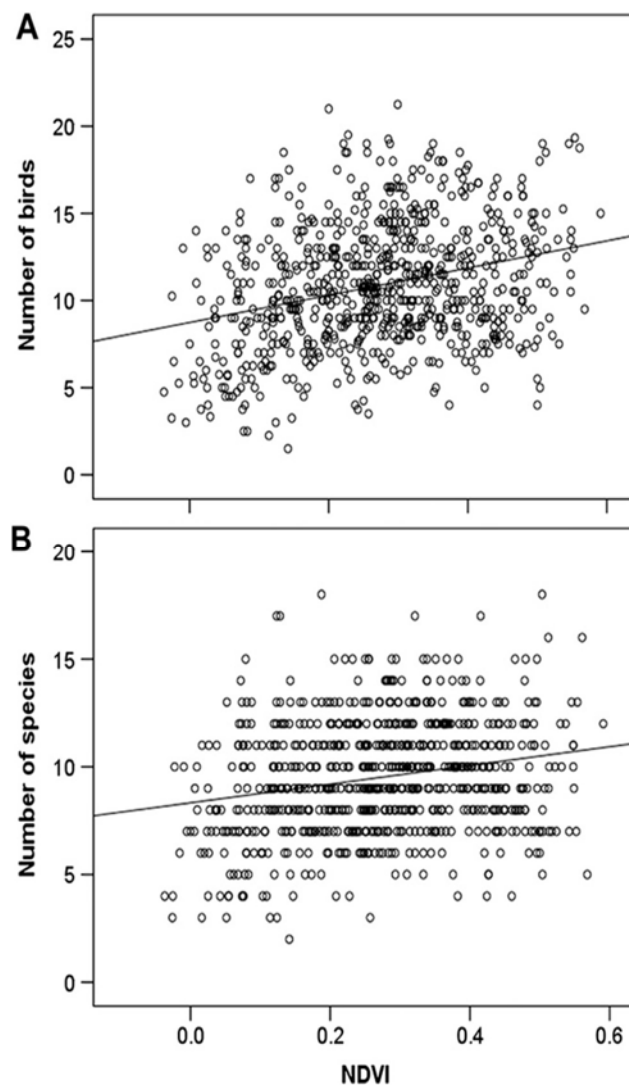
Παρακάτω παρουσιάζεται ο χάρτης των καλύψεων γης μετά από αναταξινόμηση (reclassification) των καλύψεων γης σε σχέση με την πιθανότητα εκτίμησης της βιοποικιλότητας. Οι τιμές των ειδικών βαρών είναι από το 1 έως το 10.



Χάρτης 12 - Χάρτης αναταξινόμησης κάλυψης γης με ειδικά βάρη

4.6 NDVI

Ο NDVI είναι ένας δημοφιλής δείκτης (Mcfarland et al., 2012; Jordan, 1969; Nixon et al., 1985; Tucker et al., 1985) για την μοντελοποίηση των ενδιαιτημάτων (Mcfarland et al., 2012; Gottschalk et al., 2005). Σε ορισμένες περιπτώσεις έχει αποδειχτεί ότι σχετίζεται με τον πλούτο των ειδών (Mcfarland et al., 2012; Foody, 2005; Lee et al., 2004; Maurer, 1994; Osborne et al., 2001; Seto et al., 2004).



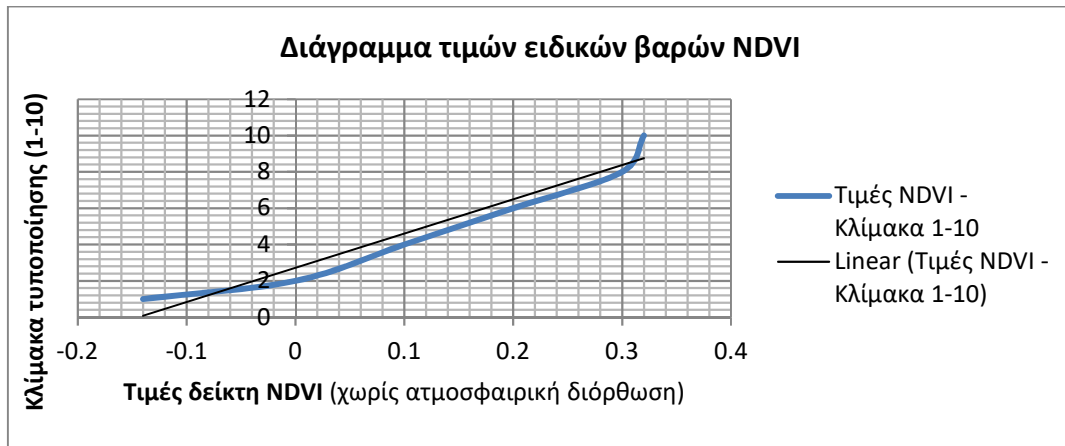
Σχήμα 8 - Καμπύλες παλινδρόμησης μεταξύ της αφθονίας των πτηνών (A) και τον πλούτο των ειδών των πτηνών σε σχέση με τον δείκτη NDVI (Mcfarland et al., 2012)

Είναι ευαίσθητος στη φωτοσυνθετική διαδικασία της βλάστησης (Mcfarland et al., 2012; Jordan, 1969; Nixon et al., 1985; Tucker, 1979; Tucker et al., 1985) και οι υψηλότερες τιμές αντιστοιχούν σε υψηλότερα ποσά φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και ως εκ τούτου παχύτερα στρώματα φυτικής βλάστησης (Mcfarland et al., 2012; Tucker et al., 1985). Έχει αποδειχθεί (Foody, 2005) ότι ο NDVI συσχετίζει τον πλούτο των ειδών ακόμα και από δορυφορικές εικόνες με μικρή χωρική ανάλυση (Mcfarland et al., 2012). Ο NDVI μπορεί να υπολογιστεί εύκολα από δορυφορικές εικόνες και μπορεί να προσφέρει μια γρήγορη αξιολόγηση δυνητικών περιοχών που χρήζουν διαχείρισης και προστασίας (Mcfarland et al., 2012). Ο NDVI και άλλα τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορούν να αντικατασταθούν από δεδομένα έρευνας πεδίου όταν υπάρχει η ανάγκη για γρήγορα αποτελέσματα όσο αναφορά την εύρεση περιοχών υψηλής αφθονίας ορνιθοπανίδας (Mcfarland et al., 2012). Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η σχέση του δείκτη NDVI (για μία συγκεκριμένη έκταση, 30m²) (ο μέσος όρος των τιμών για τρία χρόνια) με την αφθονία των πτηνών (Α περίπτωση) και με τον αριθμό των ειδών των πτηνών (Β περίπτωση) (Mcfarland et al., 2012). Θεωρήθηκε ότι η σχέση του δείκτη NDVI έχει ανάλογη συνάφεια με το σύνολο των ειδών για μια περιοχή (βιοποικιλότητα ειδών). Σύμφωνα με το μοτίβο που παρουσιάστηκε έγινε μια αναπροσαρμογή τιμών στην κλίμακα που τυποποιούνται οι παράμετροι της εκτίμησης της βιοποικιλότητας στην παρούσα εργασία. Οι τιμές αναταξινομήθηκαν βάση της σύνδεσης που μπορεί να έχουν με την βιοποικιλότητα. Μεγαλύτερη και υγιέστερη βλάστηση σημαίνει μεγαλύτερη πιθανότητα βιοποικιλότητας και το αντίθετο σε μια κλιμακωτή μορφή. Στον πίνακα 12 παρουσιάζονται τα ειδικά βάρη που εκχωρήθηκαν για κάθε ομάδα τιμών pixel από τα αποτελέσματα της εκτέλεσης του δείκτη NDVI σε σχέση με την βαρύτητα τους ως προς την βιοποικιλότητα. Η παρουσία του νερού μειώνει τις τιμές του δείκτη NDVI όταν τα εικονοστοιχεία βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις (Mcfarland et al., 2012; Pettorelli et al., 2005; Justice et al., 1985).

Κλίμακα NDVI	Βαρύτητα ως προς την βιοποικιλότητα	Τιμές ειδικών βαρών
-0,14 έως -0.1	Ελάχιστη	1
-0,1 έως 0	Ελάχιστη	2
0 έως 0,1	Μικρή	4
0,1 έως 0,2	Μέτρια	6
0,2 έως 3	Μεγάλη	8
3 έως 3,2	Μέγιστη	10

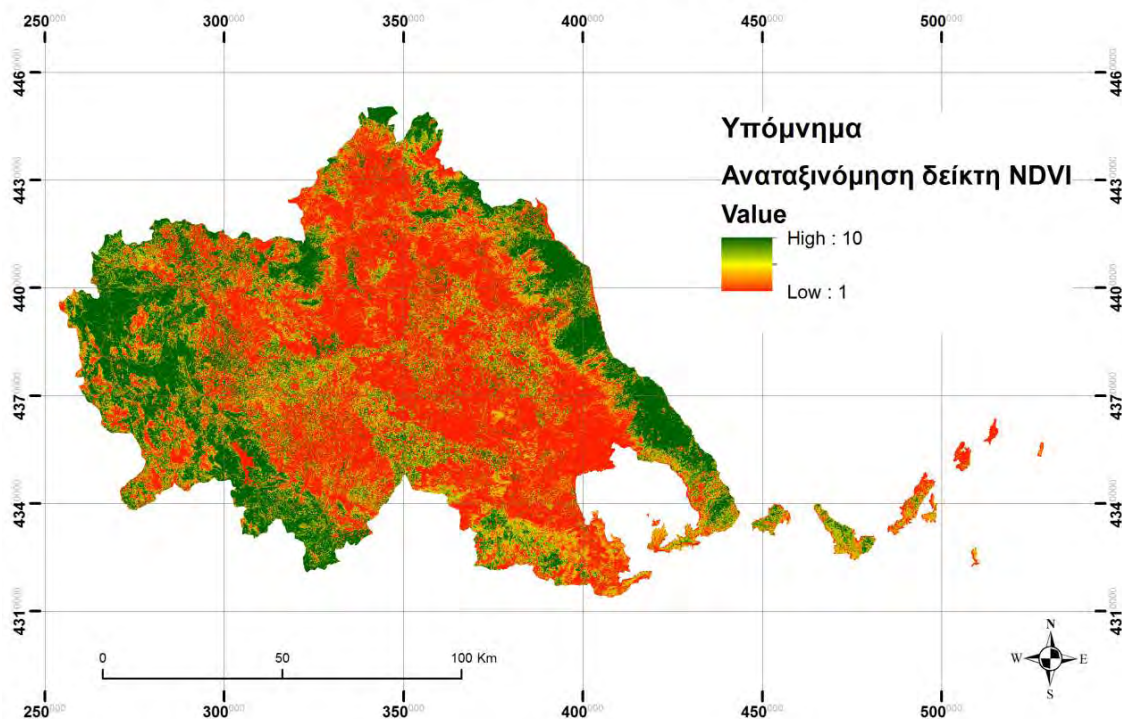
Πίνακας 12 - Ειδικά βάρη NDVI

Περιμετρικά όμως των υδάτινων όγκων ή κατά την διάρκεια ξηρών περιόδων οι περιοχές που βρίσκονται σε λεκάνες απορροής εμφανίζουν μεγάλες τιμές στην κλίμακα NDVI (Mcfarland et al., 2012) όπως διαπιστώθηκε και από τις τιμές του χάρτη NDVI (Χάρτης 6). Παρ' όλα αυτά υφίσταται μια προβληματική κατάσταση στους μεγάλους υδάτινους όγκους της περιοχής μελέτης. Για την εξισσορόπηση της παραπάνω κατάστασης δόθηκε μεγάλο ειδικό βάρος στην κάλυψη γης των υδάτινων όγκων. Το αποτέλεσμα της αναταξινόμησης του NDVI παρουσιάζεται στον χάρτη 13.



Διάγραμμα 5 - Ειδικά βάρη τιμών NDVI

Αναταξινόμηση δείκτη NDVI



Χάρτης 13 - Αναταξινόμηση δείκτη NDVI

4.7 Οδικό δίκτυο

Οι μεταφορικές υποδομές και κυρίως τα οδικά δίκτυα θεωρούνται ως αρνητικά συμβαλλόμενες υποδομές ως προς το περιβάλλον, μειώνοντας τις φυσικές παραμέτρους τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Οι πιο σοβαρές επιπτώσεις σε ένα οικοσύστημα συμβαίνουν όταν αυτό μετατρέπεται σε τεχνητό σύστημα, όπως συμβαίνει με την κατασκευή των δρόμων, με αποτέλεσμα τη μείωση των ενδιαιτημάτων. Οι δρόμοι αντιπροσωπεύουν μία από τις πιο διαδεδομένες μορφές της τροποποίησης του τοπίου που συνέβησαν κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, και ιδιαίτερα μετά τον Β Παγκόσμιο Πόλεμο (Trombulak and Frissell, 2000; Smith, 1990). Η ραγδαία ανάπτυξη των οδικών δικτύων επηρεάζει και τροποποιεί τις φυσικές συνθήκες (αβιοτικοί παράγοντες) των ενδιαιτημάτων με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η αφθονία και η κατανομή των φυτικών και ζωικών ειδών (Geneletti, 2002).

4.7.1 Άμεση και έμμεση απώλεια ενδιαιτημάτων

Οι δρόμοι προκαλούν τόσο άμεση όσο και έμμεση απώλεια των ενδιαιτημάτων. Η άμεση απώλεια αναφέρεται στη μείωση της συνολικής έκτασης του οικοσυστήματος που προκαλείται από την παρουσία του οδικού δικτύου, δηλαδή με τη μετατροπή της αρχικής κάλυψης της γης (π.χ. δασικές εκτάσεις, λειμώνες, υγρά τοπία, κ.λπ.) σε μια τεχνητή επιφάνεια (Geneletti, 2002). Σύμφωνα με τον Geneletti (2002), η έμμεση απώλεια αναφέρεται σε επιπτώσεις, όπως ο κατακερματισμός του τοπίου (δηλαδή, όταν αλλάζει η κάλυψη γης σε ένα οικοσύστημα από φυσικό σε τεχνητό και έτσι η περιοχή του οικοσυστήματος μετατρέπεται χωρικά από μία ενιαία έκταση σε μικρότερες και πιο απομονωμένες ζώνες) και την υποβάθμιση των οικοσυστημάτων σε περιβαλλοντικό επίπεδο (δηλαδή, η βιοφυσική μεταβολή ενός οικοσυστήματος που προκαλείται από το θόρυβο, την ρύπανση των υδάτινων απορροών, την ατμοσφαιρική ρύπανση, την φωτορύπανση κ.λπ.). Οι επιδράσεις αυτές προκαλούν μια έμμεση απώλεια των ενδιαιτημάτων αφού παρατηρείται μείωση της ικανότητας ενός οικοσυστήματος να διατηρήσει την αρχική της βιοποικιλότητα (Geneletti, 2002).

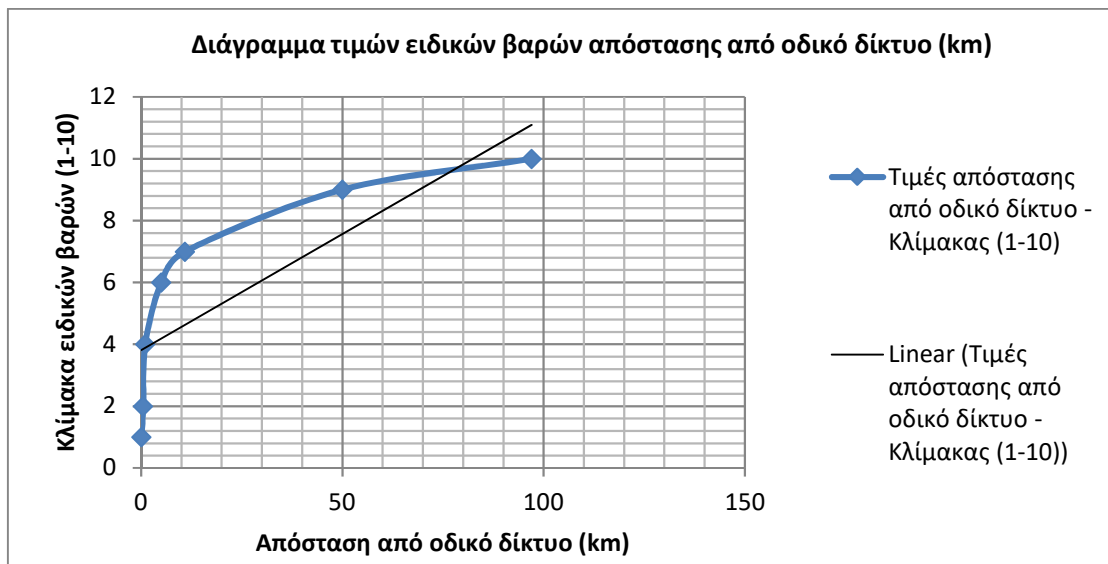
4.7.2 *Ιεράρχηση ειδικών βαρών απόστασης από οδικό δίκτυο*

Το επίπεδο βιοποικιλότητας το οποίο είναι πιο διαδεδομένο σε μελέτες με οδικά δίκτυα είναι η βιοποικιλότητα οικοσυστημάτων. Επιπλέον σε παλαιότερη μελέτη αναφέρεται ότι (Geneletti, 2002; Noss et Cooperrider, 1994) η διατήρηση της βιοποικιλότητας είναι πιο αποτελεσματική όταν επικεντρώνεται άμεσα στα οικοσυστήματα: διατηρώντας ανέπαφο ένα οικοσύστημα τα είδη που ζουν σε αυτό θα προστατευτούν και θα διατηρηθούν αποτελεσματικά. Η ύπαρξη δρόμων μπορεί να επηρεάσει έναν οικότοπο με διάφορους τρόπους. Σύμφωνα με τους Forman και Alexander (1998) οι θανατηφόροι τραυματισμοί ειδών πανίδας από την διέλευση οχημάτων σπάνια περιορίζει το μέγεθος των πληθυσμών επηρεάζει όμως τα οικοσυστήματα σε τοπικό επίπεδο όπως και τα σπάνια είδη. Όμως η αποφυγή των περιοχών με δρόμους από τα είδη πανίδας – που οφείλεται κυρίως στον θόρυβο της κυκλοφορίας - ασκεί μεγαλύτερη οικολογική επίδραση. Μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε κοινότητες της Ολλανδίας δείχνουν ένα σημαντικό μοτίβο: σε αμφοτέρες τις δασικές και λιβαδικές εκτάσεις δίπλα σε δρόμους, το 60% των ειδών των πτηνών είχε μία χαμηλότερη πυκνότητα κοντά στους αυτοκινητόδρομους (Forman et Alexander, 1998). Στην ζώνη επίδρασης των δρόμων, η συνολική πυκνότητα της ορνιθοπανίδας ήταν περίπου το ένα τρίτο χαμηλότερο από τα συνήθη μεγέθη, και ο πλούτος των ειδών μειώθηκε σταδιακά έως ότου και εξαφανίστηκε με την εγγύτητα προς το δρόμο. Διάφορα μεγάλα θηλαστικά τείνουν να έχουν μικρότερη πυκνότητα πληθυσμού σε ακτίνα 100 μέτρων από το οδικό δίκτυο. Άλλα ζώα που φαίνεται να αποφεύγουν δρόμους περιλαμβάνουν αρθρόποδα, μικρά θηλαστικά, πουλιά των δασών και χορτολιβαδικών περιοχών και γενικότερα της ορνιθοπανίδας (Forman et Alexander, 1998).

Ομάδες απόστασης από οδικό δίκτυο (μέτρα)	Βαρύτητα ως προς την βιοποικιλότητα	Τιμές ειδικών βαρών
0-100	Μέγιστη	1
100-500	Μεγάλη	2
500-1000	Μεγάλη προς μέτρια	4
1000-5000	Μέτρια	6
5000-10000	Μέτρια προς μικρή	7
10000-50000	Μικρή	9
50000-97080	Ελάχιστη	10

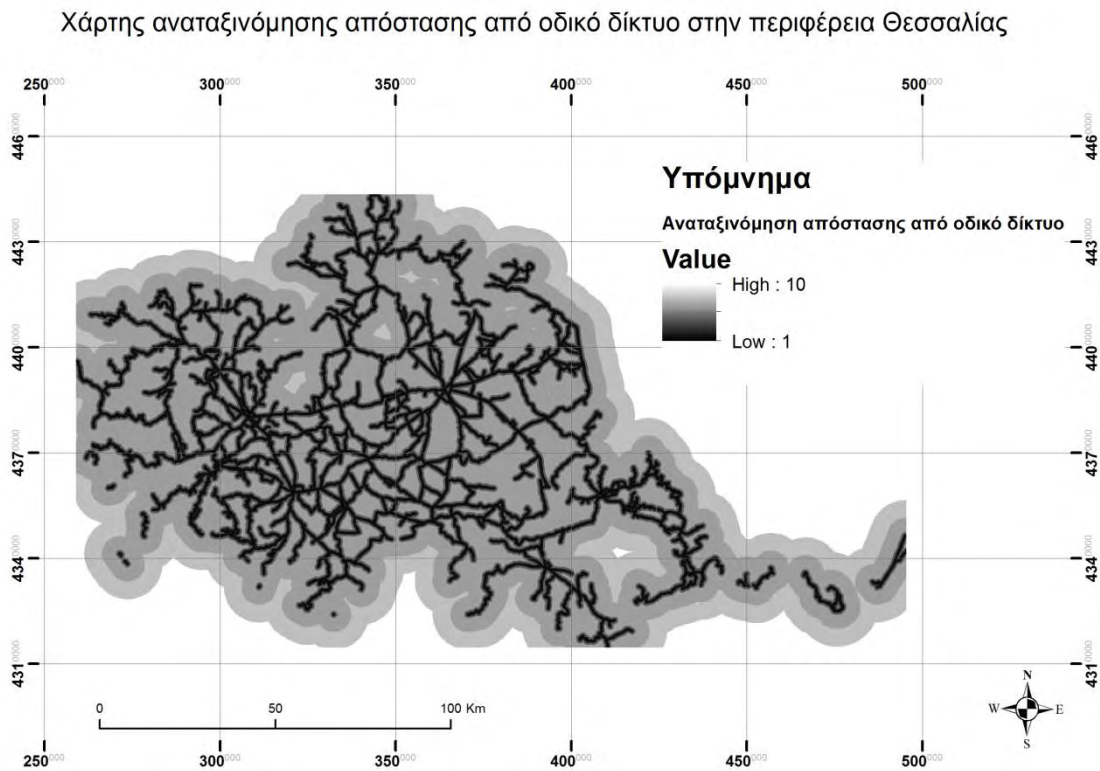
Πίνακας 13 - Ειδικά βάρη οδικού δικτύου

Στον πίνακα 13 παρουσιάζεται η ιεράρχιση των ειδικών βαρών ανά ομάδα απόστασης από το οδικό δίκτυο. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία η μεγαλύτερη ώχληση παρατηρείται σε αποστάσεις μικρότερες των 500 μέτρων και παραμένει σε σημαντική ένταση έως και το 1 χιλιόμετρο. Οι δρόμοι είτε με τεχνητά εμπόδια στα πλαϊνά είτε απλά με την ύπαρξη τους μπορεί να χωρίσουν ένα οικοσύστημα στη μέση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να «υποδιαιρούνται οι πληθυσμοί με δημογραφικές και πιθανώς γενετικές συνέπειες». (Forman and Alexander, 1998). Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα των τιμών των ομάδων απόστασης από οδικό δίκτυο σε σχέση με την κλίμακα τυποποίησης.



Το οδικό δίκτυο υποβαθμίζει την οικολογία σε ένα τόπιο διότι κάθε δρόμος τεμαχίζει ένα οικοσύστημα σε δύο μέρη, δυσκολεύοντας την μετακίνηση ειδών πανίδας ή και μειώνοντας τον πλυθησμό τους. Ο παρακάτω θεματικός χάρτης παρουσιάζει την αναταξινόμηση των τιμών απόστασης από οδικό δίκτυο σε 7 ομάδες ειδικών βαρών της κλίμακας 1-10. Άρα όσο αυξάνεται η απόσταση από το οδικό δίκτυο αυξάνονται οι τιμές της αναταξινόμησης.

Ο παράγοντας οδικό δίκτυο παρ'όλα αυτά δεν επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό το τελικό αποτέλεσμα της εκτίμησης της βιοποικιλότητας στο τελικό στάδιο (μικρό ειδικό βάρος).



Χάρτης 14 - Αναταξινόμηση απόστασης από οδικό δίκτυο

4.8 Υδρογραφικό δίκτυο

4.8.1 Επιφανειακά ύδατα

Σε παγκόσμια κλίμακα τα επιφανειακά νερά είναι σχετικά ασήμαντα από άποψη έκτασης (<1% της παγκόσμιας επιφάνειας), αλλά υποστηρίζουν δυσανάλογα μεγάλο αριθμό ειδών (10% όλων των γνωστών ειδών) (Clarke, 2014; Strayer and Dudgeon, 2010). Ο βαθμός στον οποίο εξαρτώνται οι άνθρωποι από τα επιφανειακά ύδατα είναι ανάλογος των οικοσυστημικών υπηρεσιών που προσφέρουν συμπερφέροντας ότι είναι πολύ σημαντικό στοιχείο της βιοποικιλότητας (Clarke, 2014; Millennium Ecosystem

Assessment, 2005), απειλείται όμως όλο και περισσότερο (Clarke, 2014; Strayer and Dudgeon, 2010; Vörösmarty et al., 2010). Σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, η βιοποικιλότητα των ενδιαιτημάτων των επιφανειακών νερών είναι σε χειρότερη κατάσταση σε σχέση με τα χερσαία ενδιαιτήματα (Clarke, 2014).

4.8.1 Η σημασία των υδάτινων οικοσυστημάτων στην εκτίμηση της χερσαίας βιοποικιλότητας

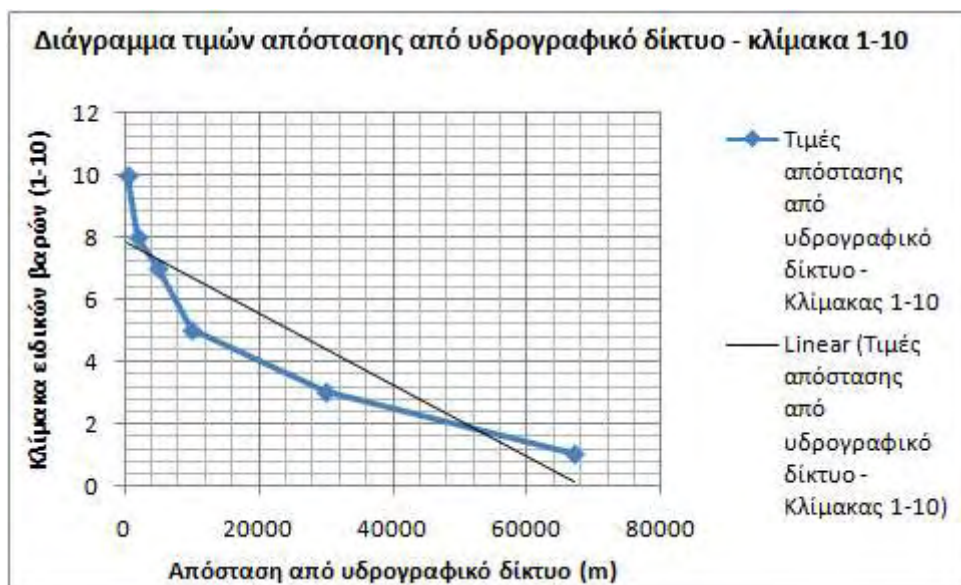
Η βιοποικιλότητα των υδάτινων οικοσυστημάτων βρίσκεται υπό απειλή από ανθρωπογενείς παράγοντες και κλιματικές αλλαγές με αποτέλεσμα ένας μεγάλος αριθμός ειδών να απειλείται με εξαφάνιση (Amis et al., 2009; Lake et al., 2000; Saunders et al., 2002). Ο σχεδιασμός για την συστηματική διατήρηση της φύσης μπορεί να παίξει ένα σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση των απειλών της βιοποικιλότητας αναπτύσσοντας στρατηγικές που να διαβαθμίζουν τις προτεραιότητες όσο αναφορά την βιοποικιλότητα (Amis et al., 2009; Margules and Pressey, 2000; Sarkar et al., 2006; Pressey and Bottrill, 2008). Παρ' όλα αυτά, οι επιστήμονες που εξειδικεύονται σε θέματα διατήρησης της φύσης δεν έχουν διαβαθμίσει τις προτεραιότητες των περιβαλλοντικών προβλημάτων σε μεικτά οικοσυστήματα (χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα) (Amis et al., 2009; Abell, 2002). Οι προτεραιότητες της βιοποικιλότητας στα χερσαία, υδάτινα και θαλάσσια οικοσυστήματα, αντιμετωπίζονται και αξιολογούνται ξεχωριστά, παραβλέποντας την αλληλεπίδραση μεταξύ τους (e.g. Amis et al., 2009; Fairbanks et al., 2001; Fox and Beckley, 2005; Strange et al., 2007). Η κοινή αξιολόγηση των προτεραιοτήτων (για την βιοποικιλότητα) μεταξύ των χερσαίων και των υδάτινων οικοσυστημάτων καθιστά ορθότερες τις εκτιμήσεις σχετικά με τις αναμεταξύ τους αλληλεπιδράσεις (Amis et al., 2009). Όπως αναφέρεται στην μελέτη από το ΕΛΚΕΘΕ (2007) «είναι πλέον ευρέως αποδεκτό ότι, για το τοπίο, ένα παρόχθιο δάσος έχει σημασία δυσανάλογα μεγάλη σε σχέση με το μικρό του μέγεθος: 1) συγκεντρώνει πλούσια άγρια ζωή, επειδή περιλαμβάνει μωσαϊκό από διάφορα ενδιαιτήματα, 2) είναι πολύ παραγωγικό δασικό οικοσύστημα, επειδή σε όλη τη θερινή περίοδο διαθέτει αφθονία νερού και θρεπτικών στοιχείων, 3) προμηθεύει ξερά δέντρα και ξύλα, που είναι καταφύγια για τα ψάρια και τη χερσαία πανίδα, αλλά και πυρήνες για τη δημιουργία νησίδων και νέων παρόχθιων συστάδων, 4) είναι καταφύγιο θηρευτών, που ρυθμίζουν τους πληθυσμούς επιβλαβών τρωκτικών και εντόμων στις

γειτονικές καλλιέργειες». Οι ποταμοί και οι παρόχθιοι σχηματισμοί κατέχουν σημαντική θέση μέσα στο τοπίο και συγκρατούν δυσανάλογα υψηλή βιοποικιλότητα σε σχέση με τις μικρές εκτάσεις που καλύπτουν (Πασχαλίδου κα, 2011 από Ζόγκαρης, 2009). Παρακάτω προτείνεται μια υποθετική ιεράρχιση 6 ομάδων σε σχέση με την απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο. Η ιεράρχιση έγινε βάση της θεωρήσης ότι η εγγύτητα περιοχών κοντά στο υδρογραφικό δίκτυο ενισχύει την ένταση της βιοποικιλότητας, όπως τεκμηριώθηκε παραπάνω. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές ειδικών βαρών σε σχέση με την απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο και την βαρύτητα που προκρίνουν ως προς την βιοποικιλότητα.

Ομάδες απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο (μέτρα)	Βαρύτητα ως προς την βιοποικιλότητα	Τιμές ειδικών βαρών
0-500	Μέγιστη	10
500-2000	Μεγάλη	8
2000-5000	Μεγάλη προς μέτρια	7
5000-10000	Μέτρια	5
10000-30000	Μικρή	3
30000-67094	Ελάχιστη	1

Πίνακας 14 - Αναταξινόμηση απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο

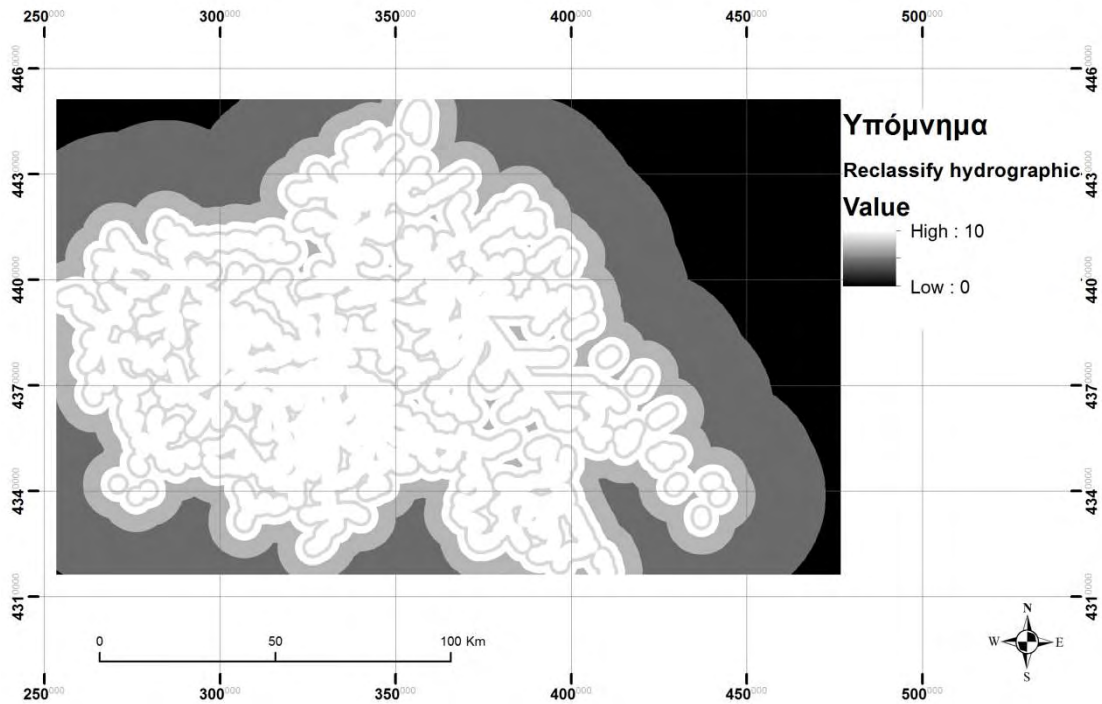
Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα των ομάδων τιμών απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο σε σχέση με ειδικά βάρη ως προς την βιοποικιλότητα.



Διάγραμμα 6 - Τιμές απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο - κλίμακας 1-10

Τέλος, διαμορφώθηκε ένας πίνακας raster με τιμές ειδικών βαρών ανάλογα με την ομάδα απόστασης από οδικό δίκτυο (Χάρτης 15).

Χάρτης αναταξινόμησης απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο στην περιφέρεια Θεσσαλίας



Χάρτης 15 - Αναταξινόμηση απόστασης από υδρογραφικό δίκτυο

5. Αποτελέσματα

5.1 Εκτίμηση βιοποικιλότητας

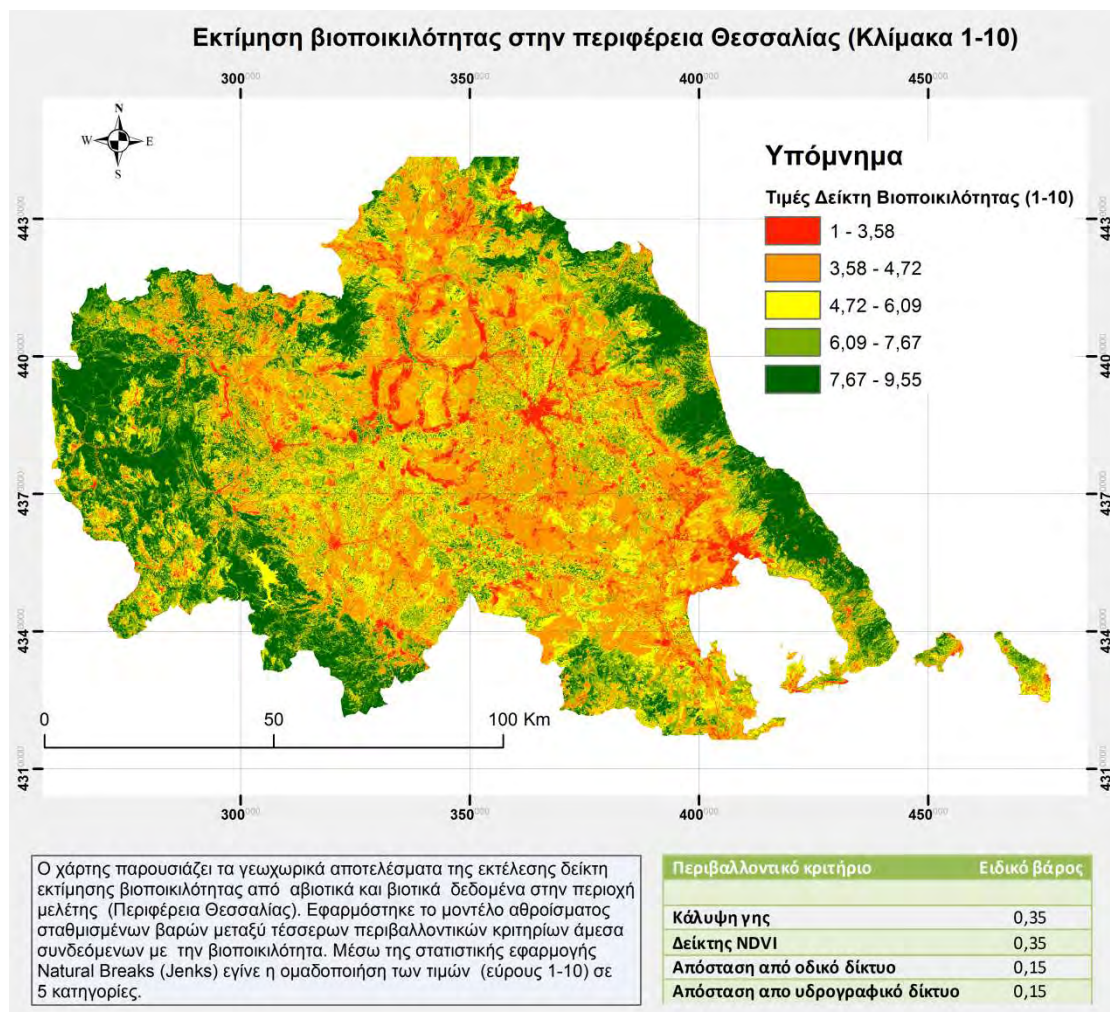
Στον χάρτη 16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του δείκτη βιοποικιλότητας με την χρήση του μοντέλου σταθμισμένων βαρών. Τα περιβαλλοντικά κριτήρια που συμμετέχουν στο μοντέλο είναι άμεσα συνδεδεμένα με την βιοποικιλότητα, όπως έχει επεξηγηθεί στο κεφάλαιο 4. Τα ειδικά βάρη για κάθε περιβαλλοντικό κριτήριο παρουσιάζονται στον πίνακα 15.

Περιβαλλοντικό κριτήριο	Ειδικό βάρος
Κάλυψη γης	0,35
Δείκτης NDVI	0,35
Απόσταση από οδικό δίκτυο	0,15
Απόσταση απο υδρογραφικό δίκτυο	0,15

Πίνακας 15 - Τιμές ειδικών βαρών ανά περιβαλλοντικό κριτήριο

Στην μελέτη που έγινε από τους Paruelo, Jobbagy και Sala (2001), συνδιάστηκαν οι μετρήσεις του NDVI με κλιματολογικά δεδομένα ώστε να αποσαφηνιστεί και χαρτογραφηθεί η ετερογένεια των εκτάσεων σε σχέση με τις οικολογικές λειτουργίες. Στην επικείμενη εργασία συνδιάστηκαν τέσσερις (4) περιβαλλοντικοί παράμετροι για την εκτίμηση της βιοποικιλότητας: ο δείκτης φυτικής βλάστησης (NDVI), η κάλυψη γης, η απόσταση από το οδικό δίκτυο και η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο. Η κλίμακα του δείκτη έχει τιμές εύρους 1 έως 10 και η ερμηνεία ως προς την εκτίμηση βιοποικιλότητας είναι κατά αύξοντα αριθμό, δηλαδή μεγαλύτερες τιμές στην κλίμακα αναλογούν σε μεγαλύτερη πιθανότητα μεγαλύτερης βιοποικιλότητας. Λόγω της έλλειψης βιβλιογραφικών αναφορών σχετικά με τον συνδιασμό περιβαλλοντικών κριτηρίων της εργασίας, αποφασίστηκε τα περιβαλλοντικά κριτήρια της κάλυψης γης και του NDVI να έχουν τα μεγαλύτερα ειδικά βάρη (0,35) εφόσον τα παραπάνω κριτήρια

συμμετέχουν σε προηγούμενες μελέτες, ενώ η απόσταση από το οδικό και το υδρογραφικό δίκτυο μικρή (0,15). Επίσης τα δύο πρώτα κριτήρια είναι παραγόντες που έχουν άμεση χωρική επίδραση ενώ η απόσταση από οδικό και υδρογραφικό δίκτυο έχουν περισσότερο έμμεση επίδραση. Η ομαδοποίηση των τιμών έγινε με την μέθοδο Natural Breaks (Jenks). Τα αποτελέσματα δείχνουν ένα μοτίβο αύξησης της εκτίμησης της βιοποικιλότητας από το κέντρο της περιοχής μελέτης προς τα περίχωρα. Με άλλα λόγια, εάν θεωρηθεί η περιοχή μελέτης ως ένας κύκλος, η βιοποικιλότητα έχει την τάση να αυξάνεται από το κέντρο προς την περιφέρεια. Οι δύο περιοχές με την μεγαλύτερη συχνότητα μεγάλης βιοποικιλότητας βρίσκονται στα δυτικά και στα ανατολικά της περιφέρειας ενώ στο κέντρο, με βάση την πόλη της Λάρισας η βιοποικιλότητα είναι σε χαμηλότερα επίπεδα.



Χάρτης 16 - Εκτίμηση βιοποικιλότητας κλίμακας 1-10 (Περιφέρεια Θεσσαλίας)

5.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων με διαφορετικά ειδικά βάρη

Παρακάτω παρουσιάζεται μια σύγκριση του μέσου όρου των τιμών, της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής και της τυπικής απόκλισης. με αποτελέσματα του δείκτη διαμορφωμένα από διαφορετικά ειδικά βάρη.

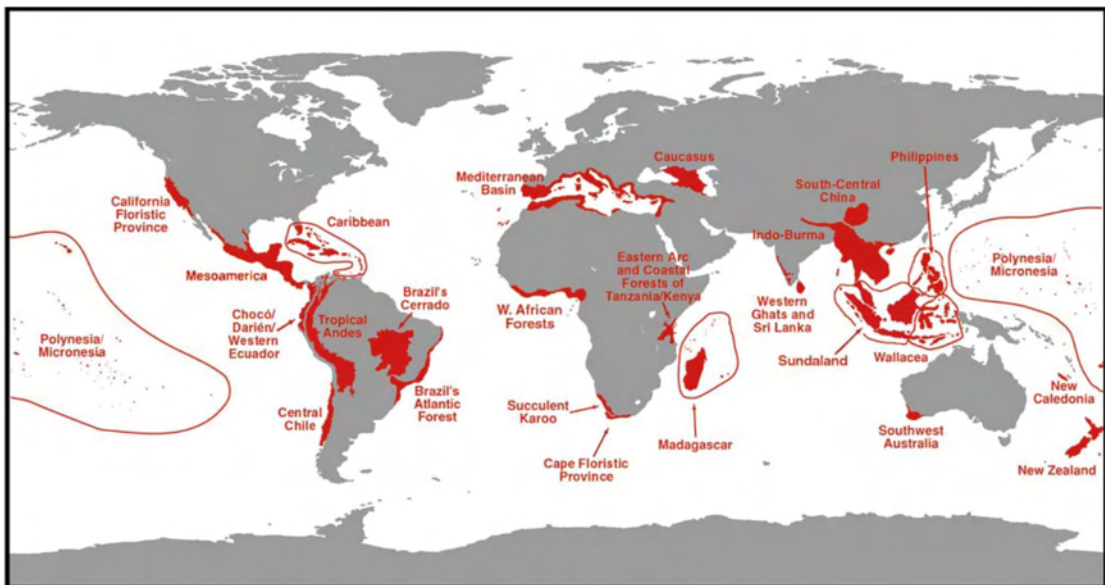
Περιβαλλοντικό κριτήριο – (Κύρια περίπτωση)	Ειδικό βάρος	Μέσος όρος	Min	Max	St. Dev.
Κάλυψη γης	0,35	5,78	1	9,55	1,79
Δείκτης NDVI	0,35				
Απόσταση από οδικό δίκτυο	0,15				
Απόσταση απο υδρογραφικό δίκτυο	0,15				

Περιβαλλοντικό κριτήριο – (Περίπτωση 2)	Ειδικό βάρος	Μέσος όρος	Min	Max	St. Dev.
Κάλυψη γης	0,3	5,86	1	9,4	1,57
Δείκτης NDVI	0,3				
Απόσταση από οδικό δίκτυο	0,2				
Απόσταση απο υδρογραφικό δίκτυο	0,2				

Περιβαλλοντικό κριτήριο – (Περίπτωση 3)	Ειδικό βάρος	Μέσος όρος	Min	Max	St. Dev.
Κάλυψη γης	0,3	5,86	1	9,55	1,71
Δείκτης NDVI	0,35				
Απόσταση από οδικό δίκτυο	0,2				
Απόσταση απο υδρογραφικό δίκτυο	0,15				

5.3 Hotspots Βιοποικιλότητας

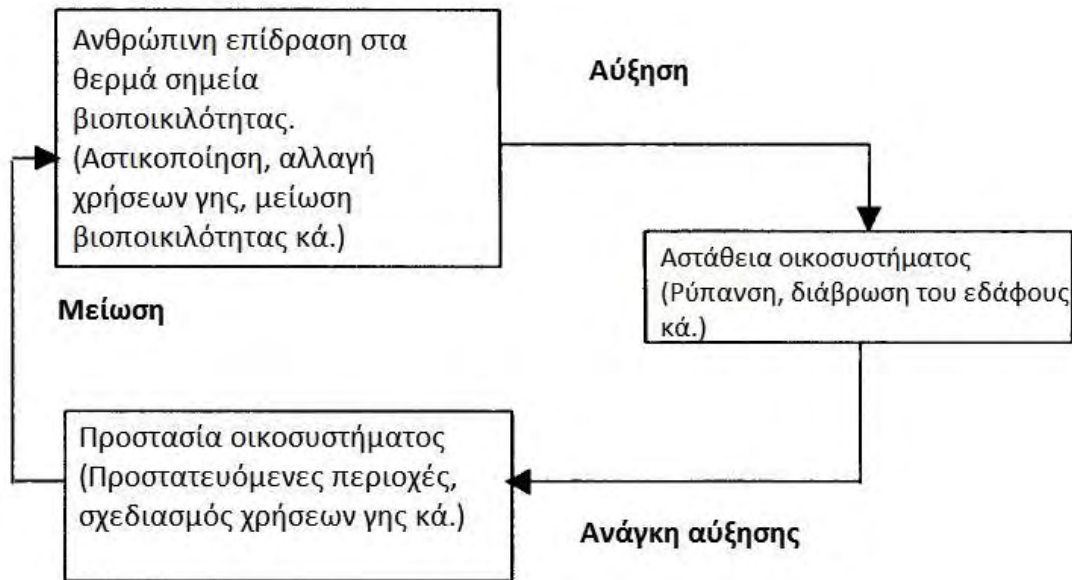
Η έλλειψη χρηματοδότησης για την διατήρηση της βιοποικιλότητας αναγκάζει τους ερευνητές/επιστήμονες να μην μπορούν να βοηθήσουν όλα τα είδη που βρίσκονται σε κατάσταση εξαφάνισης. Η παραπάνω κατάσταση οδηγεί στην ανάγκη για προστασία και διατήρηση ύπο καθεστώς προτεραιότητας. Υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης όσο το δυνατόν περισσότερων ειδών με το μικρότερο κόστος; Ένας τρόπος είναι να προσδιοριστούν θερμά σημεία βιοποικιλότητας (Biodiversity hotspots) χρησιμοποιώντας δύο πολύ βασικά κριτήρια: α) περιοχές όπου παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις ενδημικών ειδών και β) περιοχές που υπόκεινται σε απώλειες ενδιαιτημάτων (Norman M. et al., 2000). Στο παραπάνω άρθρο οι ερευνητές ανέχνευσαν σε παγκόσμια κλίμακα περιοχές που συνδιάζουν τα παραπάνω κριτήρια.



Χάρτης 17 - Οι 25 περιοχές θερμών σημείων βιοποικιλότητας παγκοσμίως (Norman et al., 2000)

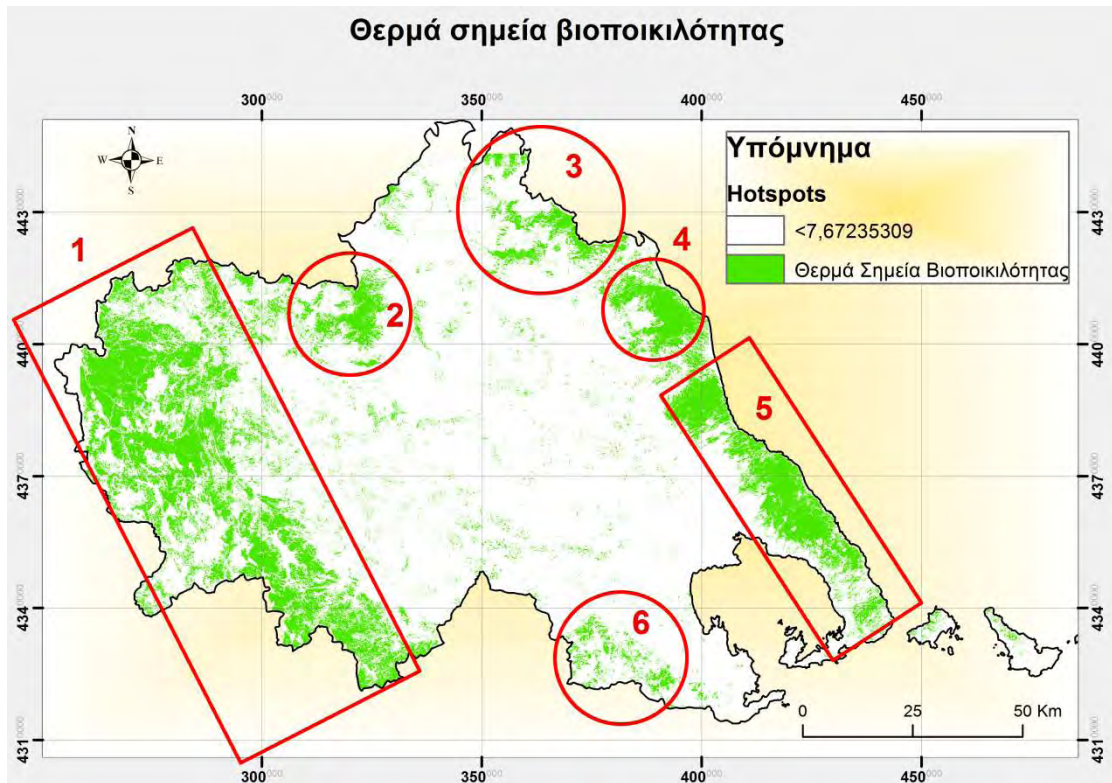
Οι Hua και Ashibindu (2002) χρησιμοποίησαν layer πυκνότητας πληθυσμού και τα όρια κάθε χώρας ώστε να εκτιμηθεί η πίεση του πληθυσμού στα θερμά σημεία βιοποικιλότητας. Χρησιμοποίησαν την ακόλουθη κατάταξη για την ανάλυση της πίεσης πληθυσμού στα δάση: α) χαμηλή πίεση πληθυσμού: <25 άνθρωποι ανά km², β) μέση

πίεση του πληθυσμού: 25-100 άνθρωποι ανά km², γ) υψηλή πληθυσμιακή πίεση: > 100 άνθρωποι ανά km².



Σχήμα 9 - Σχέση ανθρώπινου πληθυσμού και θερμών σημείων βιοποικιλότητας. (Hua and Ashibindu, 2002)

Τα θερμά σημεία βιοποικιλότητας κατανεμήθηκαν βάση της μεγαλύτερης ομάδας τιμών (της εκτίμησης βιοποικιλότητας) με την εφαρμογή ομαδοποίησης “Natural Breaks” με πέντε ομάδες συνολικά. Η ομάδα αυτή έχει τιμές μεγαλύτερες και ίσες του 7,67235309 στην κλίμακα τιμών 1 έως 10. Στον παρακάτω χάρτη (Χάρτης 18) έχει γίνει χωρική ομαδοποίηση (κόκκινες διακριτές περιοχές) με οπτική ερμηνεία σχετικά με την γεωγραφική μεταβλητότητα των θερμών περιοχών βιοποικιλότητας. Όπως φαίνεται και από τον χάρτη (Χάρτης 18) οι ζώνες που παρουσιάζονται οι ομάδες με την μεγαλύτερη βιοποικιλότητα βρίσκονται σε περιοχές γύρω από τον θεσσαλικό κάμπο και η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης τους βρίσκεται στα δυτικά και ανατολικά της περιφέρειας.



Χάρτης 18 - Θερμά σημεία βιοποικιλότητας στην Περιφέρεια Θεσσαλίας σύμφωνα με τον δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας (ιδία επεξεργασία)

5.4 Σύγκριση δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας με χρήσεις γης (Corine 2000)

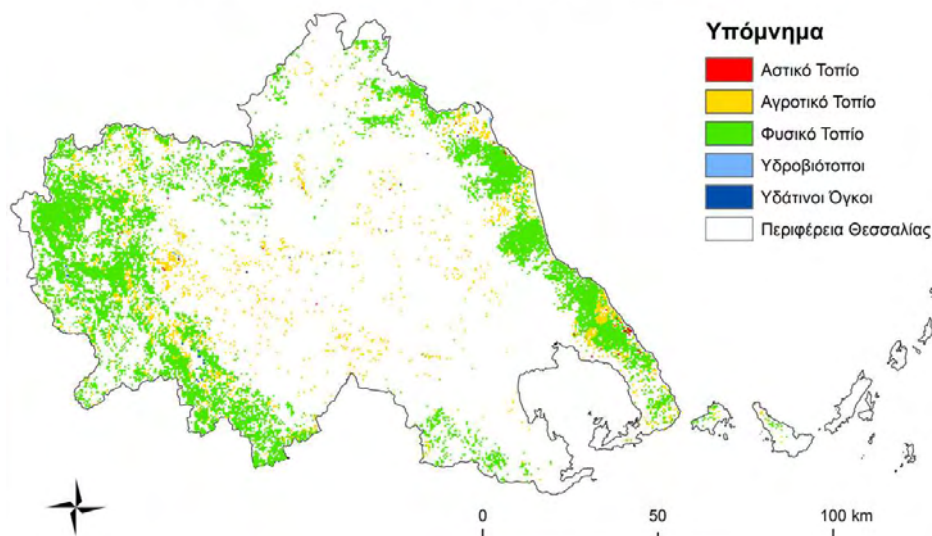
Μία πρώτη κριτική εκτίμηση του δείκτη βιοποικιλότητας γίνεται με σύγκριση γεωχωρικών δεδομένων χρήσεων γης. Με αυτό τον τρόπο δίνεται μια εικόνα για την αποτελεσματικότητα του δείκτη. Είναι λογικό ότι οι περιοχές υψηλής βιοποικιλότητας δεν μπορούν να βρίσκονται για παράδειγμα στο αστικό περιβάλλον. Έτσι έγινε μια σύγκριση δεδομένων χρήσεων γης του Corine 2000 με τα αποτελέσματα των θερμών περιοχών βιοποικιλότητας του δείκτη που αναπτύχθηκε στην εργασία. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω χάρτη, δηλαδή βάση του πρώτου επίπεδου Corine και στον πίνακα 16 βάση του τρίτου επιπέδου Corine.

Έκταση (km ²)	Είδος χρήσης γης	Έκταση (km ²)	Είδος χρήσης γης
6,94	Discontinuous urban fabric	871,50	Broad-leaved forest
0,11	Industrial or commercial units	398,60	Coniferous forest
0,08	Road and rail networks and associated land	279,95	Mixed forest
0,04	Airports	72,63	Natural grasslands
0,55	Construction sites	43,62	Moors and heathland
0,74	Sport and leisure facilities	244,88	Sclerophyllous vegetation
87,71	Non-irrigated arable land	450,34	Transitional woodland-shrub
113,81	Permanently irrigated land	3,24	Beaches, dunes, sands
0,02	Rice fields	0,58	Bare rocks
0,57	Vineyards	10,66	Sparsely vegetated areas
6,74	Fruit trees and berry plantations	1,12	Burnt areas
3,06	Olive groves	1,22	Inland marshes
5,82	Pastures	0,76	Salt marshes
15,75	Complex cultivation patterns	2,38	Water courses
228,58	Land principally occupied by agriculture	3,18	Water bodies

Πίνακας 16 - Έκταση χρήσεων γης στις θερμές περιοχές βιοποικιλότητας βάση του τρίτου επιπέδου Corine

Η αναπαράσταση των χρήσεων γης παρουσιάζονται βάση του πρώτου επιπέδου του Corine (Τεχνητό περιβάλλον, Αγροτικό περιβάλλον, Φυσικό Περιβάλλον, Υδροβιότοποι και Υδάτινοι Όγκοι).

Χρήσεις γης (Corine 2000) στις θερμές περιοχές βιοποικιλότητας



Χάρτης 19 - Χρήσεις γης (Corine 2000) στις θερμές περιοχές βιοποικιλότητας

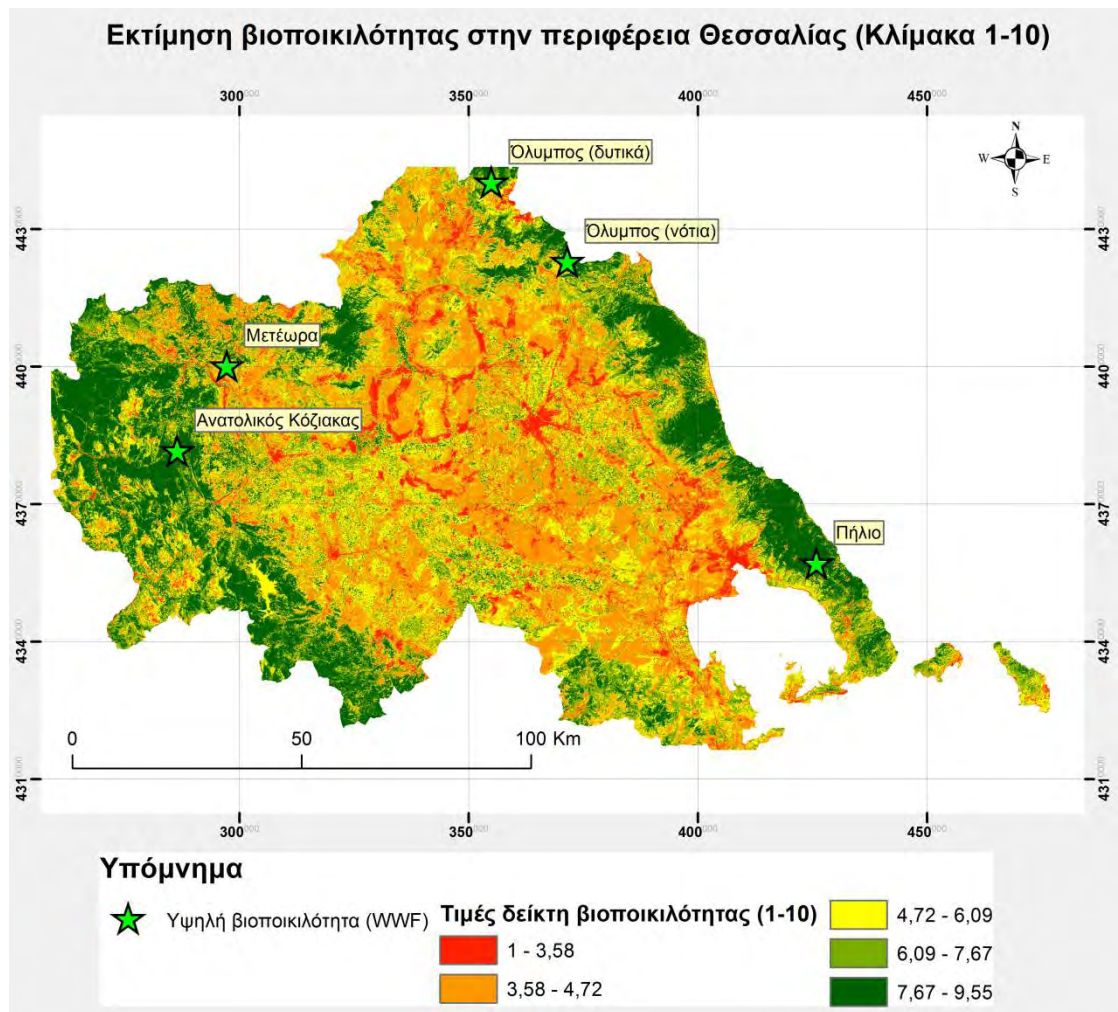
Παρακάτω παρουσιάζεται η κατανομή σε διάγραμμα στηλών ανα κατηγορία χρήσεων γης. Παρατηρείται ότι η μέγιστη έκταση αποτελείται από την χρήση γης του φυσικού τοπίου και η αμέσως μικρότερη είναι η χρήση γης του αγροτικού τοπίου. Οι υπόλοιπες χρήσεις γης είναι αμελητέας έκτασης.



Διάγραμμα 7 - Έκταση ανά χρήση γης στις θερμές περιοχές βιοποικιλότητας

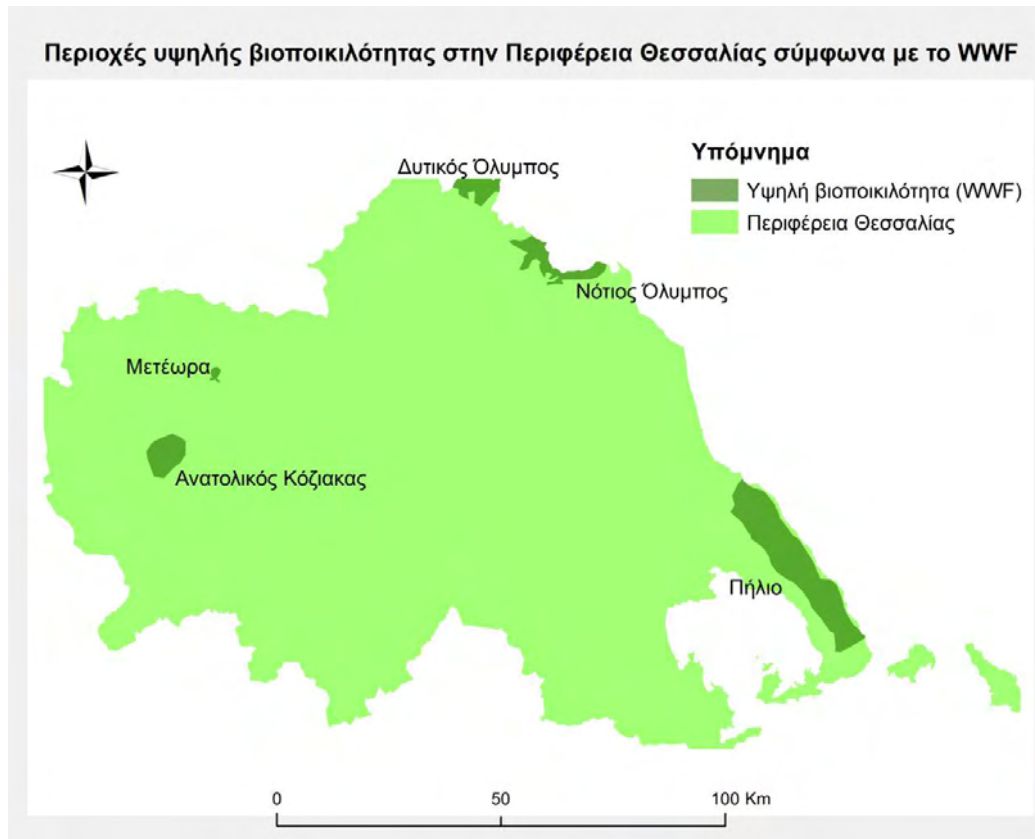
5.5 Σύγκριση δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας με δεδομένα βιοποικιλότητας (WWF)

Τα αποτελέσματα του δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας είναι απαραίτητο να συγκριθούν με βιβλιογραφικές αναφορές βιοποικιλότητας στην Περιφέρεια Θεσσαλίας ώστε να εκτιμηθεί το σφάλμα του δείκτη. Σύμφωνα με το WWF (2012) υψηλή βιοποικιλότητα παρουσιάζεται σε 5 περιοχές στην περιφέρεια Θεσσαλίας: Νότια και Δυτικά στην περιοχή του Ολύμπου, στο Πήλιο, στον ανατολικό Κόζιακα και στα Μετέωρα. Σύμφωνα με τα παραπάνω παρουσιάζεται χάρτης που συσχετίζει τις περιοχές υψηλής βιοποικιλότητας με τα αποτελέσματα της εκτίμησης βιοποικιλότητας.



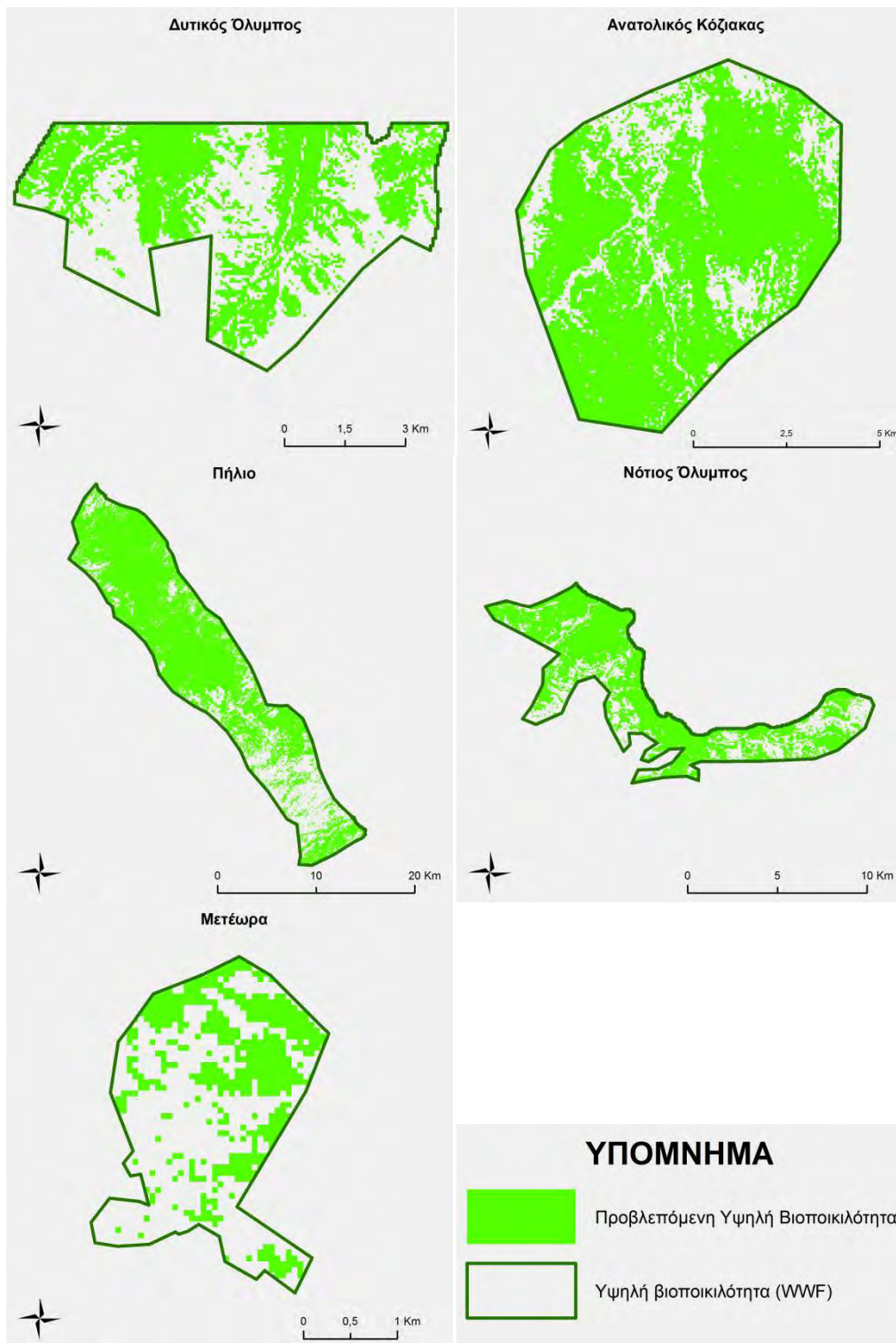
Χάρτης 20 - Εκτίμηση βιοποικιλότητας στην περιφέρεια Θεσσαλίας και Σημεία Υψηλής Βιοποικιλότητας (WWF, 2012, Ιδία επεξεργασία)

Ο χάρτης σύγκρισης παρουσιάζει τα σημεία υψηλής βιοποικιλότητας σύμφωνα με το WWF και μια ζώνη εγγύτητας 10km για κάθε ένα σημείο. Οπτικά παρατηρείται συμφωνία με τις υψηλές τιμές εκτίμησης βιοποικιλότητας του δείκτη που εφαρμόστηκε σε σχέση με τις περιοχές των ζωνών εγγύτητας που προαναφέρθηκαν παραπάνω. Οι περιοχές βιοποικιλότητας σύμφωνα με το WWF (2012) ψηφιοποιήθηκαν με σύνθετη χρήση των εξής υποβάθρων: ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), Google Earth, υπόβαθρο δίκτυου Natura 2000, Κτηματολόγιο και ο χάρτης «Πήλιο – Μαυροβούνι» (Ανάβαση, www.anavasi.gr). Η περιοχή των Μετέωρων λόγω της μικρής έκτασης που καταλαμβάνει (τοπικό επίπεδο) δεν μπορεί να συμμετέχει στην σύγκριση αποτελεσμάτων διότι η μελέτη έγινε βάση μεγεθών περιφερειακού επιπέδου. Παρακάτω παρουσιάζεται χάρτης της ψηφιοποίησης των περιοχών υψηλής βιοποικιλότητας σύμφωνα με το WWF.



Χάρτης 21 - Περιοχές υψηλής βιοποικιλότητας στην Περιφέρεια Θεσσαλίας (WWF, 2012, *Ιδία επεξεργασία*)

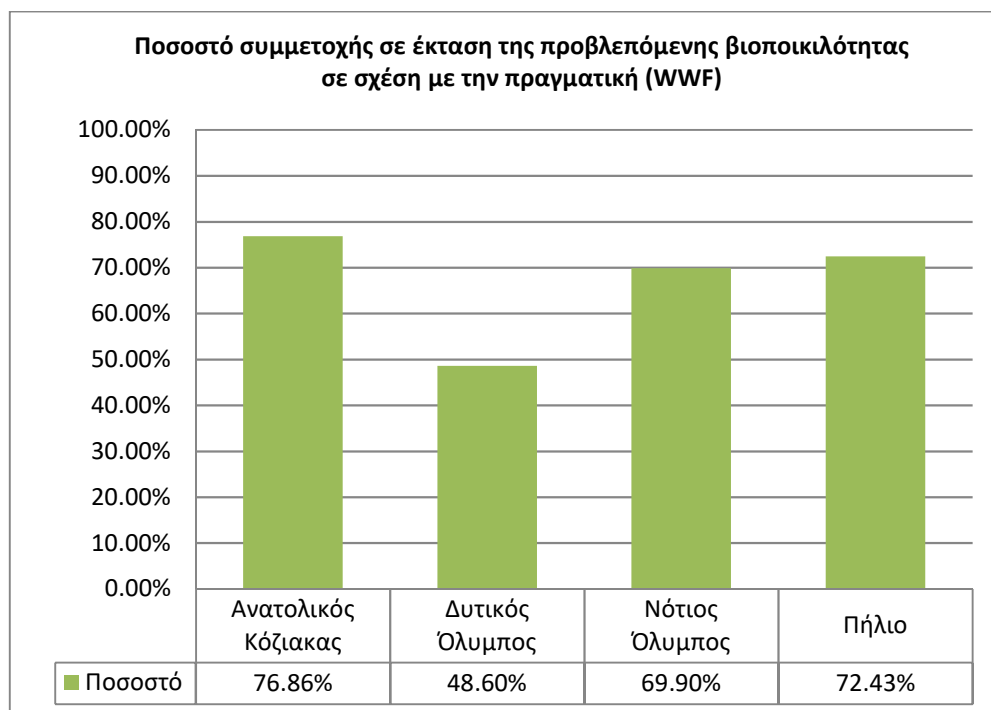
Στη συνέχεια βρέθηκαν οι περιοχές υψηλής βιοποικιλότητας σύμφωνα με τον δείκτη που αναπτύχθηκε στην εργασία που βρίσκονται στις περιοχές υψηλής βιοποικιλότητας σύμφωνα με το WWF. Για διευκόλυνση της ανάγνωσης οι πρώτες θα ονομάζονται προβλεπόμενες περιοχές υψηλής βιοποικιλότητας και οι δεύτερες πραγματικές περιοχές υψηλής βιοποικιλότητας. Έτσι αναπτύχθηκε σύμπλεγμα χαρτών για κάθε περιοχή.



Χάρτης 22 - Σύγκριση περιοχών προβλεπόμενων και πραγματικών περιοχών υψηλής βιοποικιλότητας

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής από τα προβλεπόμενα αποτελέσματα σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα σε σχέση με την έκτασή τους. Οι

τρεις από τις τέσσερις περιοχές έχουν ποσοστό της τάξεως του 70% και άνω, ενώ παρουσιάζεται μικρότερο ποσοστό στην περιοχή του Δυτικού Ολύμπου (48,6%).



Διάγραμμα 8 - Ποσοστό συμμετοχής σε έκταση της προβλεπόμενης βιοποικιλότητας σε σχέση με την πραγματική (WWF, 2012, Ίδια επεξεργασία)

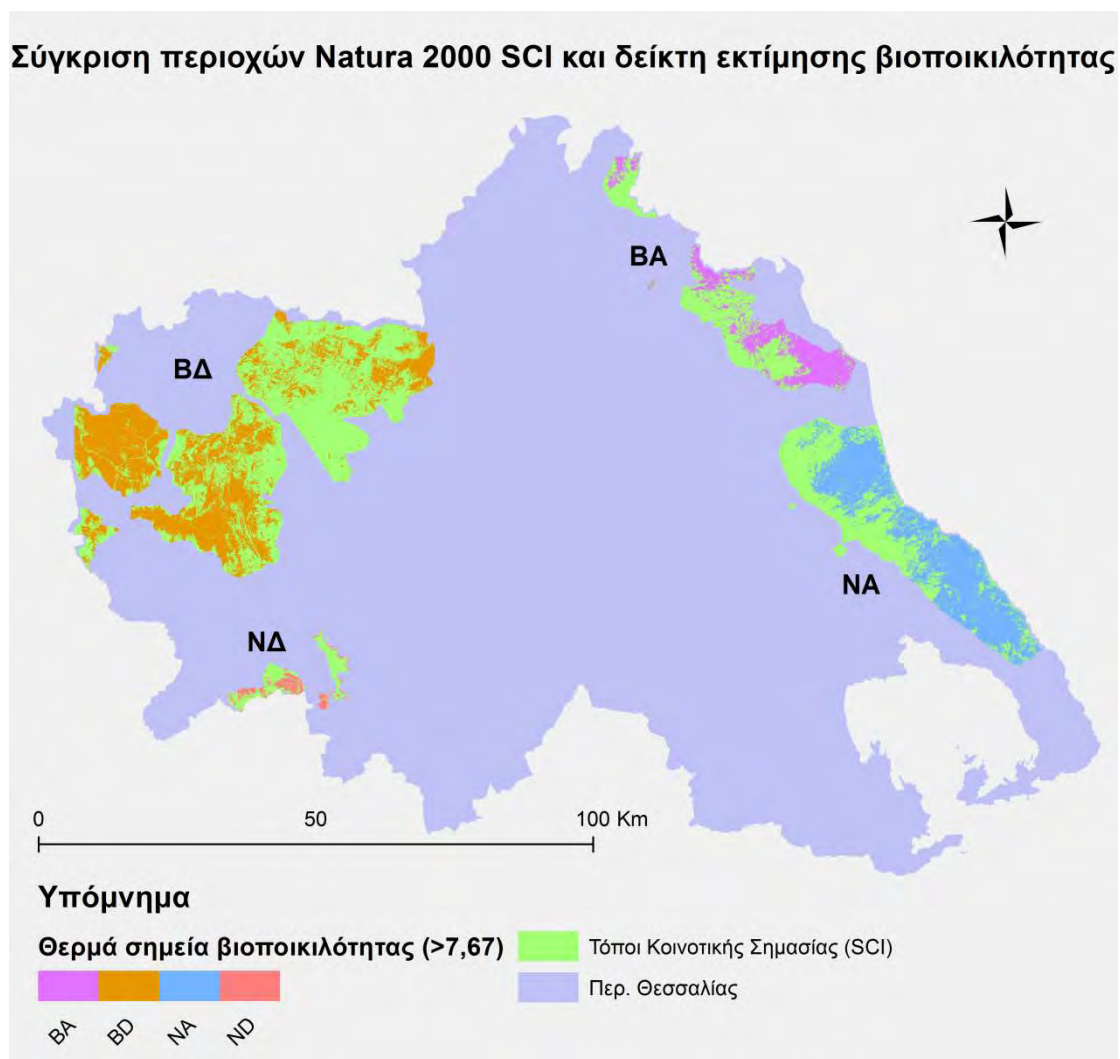
Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την έκταση για κάθε περιοχή σε τετραγωνικά χιλιόμετρα (για την προβλεπόμενη και πραγματική έκταση υψηλής βιοποικιλότητας).

Περιοχή	Προβλεπόμενη Έκταση (km ²)	Πραγματική Έκταση (km ²)
Ανατολικός Κόζιακας	45,98	59,82
Δυτικός Όλυμπος	19,68	40,49
Νότιος Όλυμπος	48,08	68,70
Πήλιο	215,8	297,93

Πίνακας 17 - Σύγκριση προβλεπόμενων και πραγματικών εκτάσεων υψηλής βιοποικιλότητας (km²)

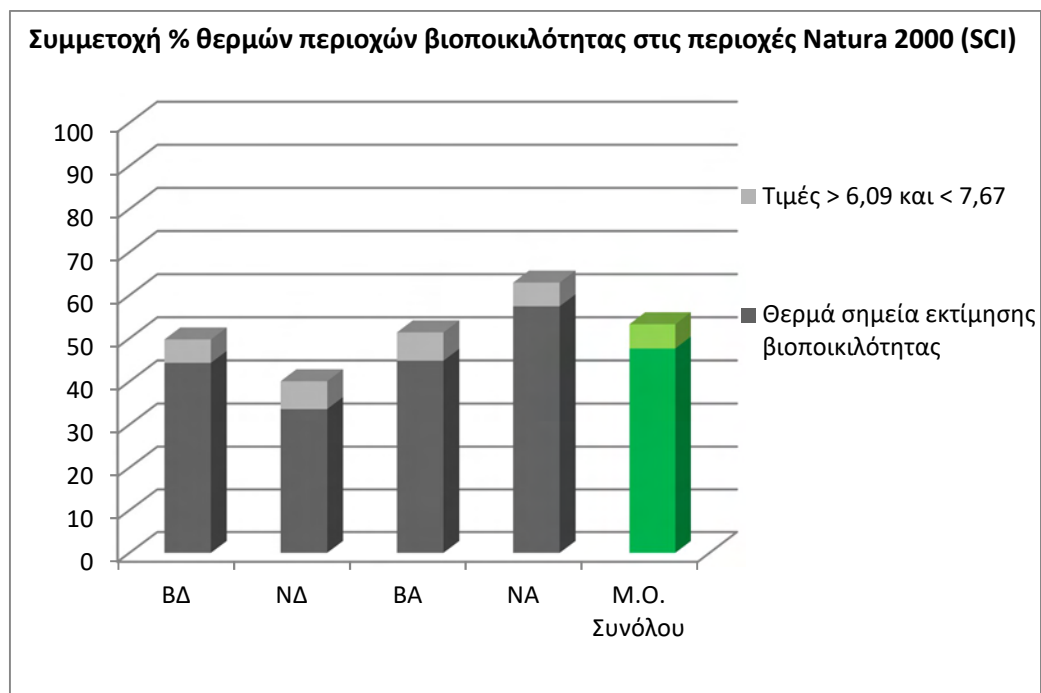
5.6 Εκτίμηση βιοποικιλότητας και προστατευόμενες περιοχές

Υπολογίζεται ότι το 85-90% όλων των ειδών μπορούν να προστατευθούν μέσω της απομόνωσης περιοχών υψηλής βιοποικιλότητας προτού υποβαθμιστούν (Hua and Ashibindu, 2002). Στην Ευρώπη το δίκτυο Natura 2000 φιλοξενεί φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών με σκοπό την προστασία και την διαχείριση φυσικών περιοχών υψηλής σημαντικότητας. Χρησιμοποιώντας υπόβαθρο από το Natura 2000 των τόπων κοινοτικής σημασίας (SCI) έγινε σύγκριση με τις περιοχές που εμφανίστηκε υψηλή βιοποικιλότητα από τον δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας που αναπτύχθηκε στην εργασία. Οι περιοχές που έγινε η σύγκριση χωρίστηκαν σε 4 μέρη με βάση τον προσανατολισμό (Βορειανατολική περιοχή, Βορειοδυτική περιοχή, Νοτιοανατολική περιοχή και Νοτιοδυτική περιοχή).



Χάρτης 23 - Σύγκριση περιοχών Natura 2000 (SCI) και δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης δείχνουν ότι τα θερμά σημεία βιοποικιλότητας του δείκτη συμπίπτουν κατά 50% με τις περιοχές κοινοτικής σημασίας. Επίσης υπάρχει μια διάκριση μεταξύ του ποσοστού σύμπτωσης ανάλογα με τις 4 περιοχές διαχωρισμού βάση προσανατολισμού. Συγκεκριμένα η ΝοτιαΑνατολική περιοχή παρουσιάζει σχεδόν 60% σύμπτωση σε αντίθεση με την ΝοτιοΔυτική περιοχή που παρουσιάζει λιγότερο από 40%. Οι περιοχές Natura έχουν σαν κριτήριο την διατήρηση ευαίσθητων και οικολογικά σημαντικών περιοχών και δεν έχουν σαν μοναδικό κριτήριο την υψηλή βιοποικιλότητα. Έτσι τα αποτελέσματα σύγκρισης του δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας με τα δεδομένα Natura δεν δείχνουν το απόλυτο σφάλμα του δείκτη αλλά μια γενικότερη εικόνα της αποτελεσματικότητας του δείκτη.



Διάγραμμα 9 - Συμμετοχή % θερμών περιοχών βιοποικιλότητας στις περιοχές Natura 2000 (SCI)

6. Συμπεράσματα – Συζήτηση

Η εκτίμηση βιοποικιλότητας μέσω της σύνθεσης τηλεπισκοπικών και άλλων δεδομένων που μπορούν να συνδεθούν περιβαλλοντικά παρουσιάζει σίγουρα μεγάλο ενδιαφέρον. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε μέσω του μοντέλου σταθμισμένων βαρών των δεδομένων φαίνεται να παρουσιάζει τελικώς μια ορθή απεικόνιση της πραγματικής βιοποικιλότητας. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων δείχνει μια θετική εικόνα ως προς την εκτίμηση της βιοποικιλότητας αλλά όχι σε απόλυτα ικανοποιητικό βαθμό. Περιοχές γνωστές για την υψηλή βιοποικιλότητα, όπως το Πήλιο, παρουσιάζουν για παράδειγμα μεγάλες τιμές βιοποικιλότητας. Από την άλλη ο θεσσαλικός κάμπος έχει μια μέση τιμή τιμών ενώ στα αστικά κέντρα οι τιμές είναι αισθητά μειωμένες. Παρακάτω παρουσιάζονται πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και προτάσεις για αναβάθμιση του δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας.

6.1 Πλεονεκτήματα δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας

- Δεν χρειάζεται έρευνα πεδίου για την διαβάθμιση βιοποικιλότητας σε μια περιοχή
- Δωρεάν δεδομένα και μικρός χρόνος επεξεργασίας (ειδικά για έναν καλό χρήστη GIS και τηλεπισκόπησης)
- Δυνατότητα χρησιμοποίησης εναλλακτικών δεδομένων ανάλογα με το μέγεθος της περιοχής μελέτης (πχ χρήση δορυφορικών εικόνων με μεγαλύτερη χωρική ανάλυση)
- Άμεση εκτίμηση της βιοποικιλότητας για μια περιοχή μελέτης περιφερειακού επιπέδου
- Εντοπισμός περιοχών hotspots ή coolspots βιοποικιλότητας
- Δυνατότητα εκτίμησης μελλοντικής βιοποικιλότητας με χρήση δύο (2) (ή και περισσότερων) χρονοσειρών δεδομένων
- Εκτίμηση αλλαγής βιοποικιλότητας και επηρεασμός περιβάλλοντος με πιθανές μελλοντικές αλλαγές οδικού δικτύου ή εκτροπές ποταμών

- Ο δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση ειδών βιοποικιλότητας, γνωρίζοντας τα είδη στην περιοχή μελέτης. Η έρευνα σχετική με εύρεση ειδών πανίδας ή χλωρίδας μπορεί να υποστηριχθεί από τον δείκτη σε συνδιασμό με ένα ή περισσότερα κριτήρια αποκλεισμού. Για παράδειγμα για να βρεθεί σε ποια περιοχή υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες ύπαρξης ενός είδους δέντρου χρησιμοποιείται ο δείκτης σε συνδιασμό με κριτήριο αποκλεισμού υψομέτρου.

6.2. Μειονεκτήματα δείκτη εκτίμησης βιοποικιλότητας

- Τα αποτελέσματα δεν έχουν ακρίβεια τοπικού επίπεδου (μικρής κλίμακας)
- Για πιο αναλυτικά και λεπτομερή αποτελέσματα χρειάζεται έρευνα πεδίου
- Η εκτίμηση βιοποικιλότητας σε περιοχές υδάτινων όγκων παρουσιάζει ελλιπή αποτελέσματα (παράγοντας NDVI)
- Τα αποτελέσματα του δείκτη είναι σε κλίμακα σύγκρισης μόνο στην περιοχή μελέτης
- Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του δείκτη με δεδομένα βιοποικιλότητας από έρευνα πεδίου δεν έγινε στο επιθυμητό επίπεδο

6.3. Προτάσεις για αναβάθμιση του δείκτη

- Για να υπάρξει καλύτερη εκτίμηση της βιοποικιλότητας συνδιαστικά σε χερσαίο και υδάτινο οικοσύστημα, στους υδάτινους όγκους μπορεί να γίνει μια διαβάθμιση κλίμακας από το κέντρο του υδάτινου όγκου προς την περιφέρεια όπου οι τιμές στην κάλυψη γης θα αυξάνονται. Αυτό λόγω της σημαντικότητας των παράχθιων υδάτων.
- Για την αποφυγή μικρότερων τιμών στις περιοχές υδάτινων όγκων πρέπει να απαλοιφθούν οι περιοχές υδάτινων όγκων κατά την εκτέλεση του δείκτη NDVI.
- Οι υδάτινες απορροές επιφανειακών υδάτων χρειάζονται καλύτερης ταξινόμησης γιατί σε αρκετές περιοχές η κάλυψη γης παρουσιάζει τα ποτάμια ως αστικό

τοπίο όταν η δορυφορική εικόνα προέρχεται από περίοδο ξηρασίας ή όταν οι απορροές είναι από παροδικούς χείμαρους.

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότεροι περιβαλλοντικοί παράγοντες για την εκτίμηση της βιοποικιλότητας όπως κλιματολογικοί παράγοντες, παράγοντες αλλαγής χρήσεων γης ή συνδιασμός με άλλους δείκτες βιοποικιλότητας.
- Τέλος, μπορεί να παρθούν υπ'όψιν ιδιαιτερότητες του τοπίου, όπως για παράδειγμα περιοχές όπως τα Μετέωρα όπου η κάλυψη γης είναι πετρώδες τοπίο αλλά κυριαρχεί υψηλή βιοποικιλότητα (υψηλή ποικιλότητα ορνιθοπανίδας).

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

- Δημόπουλος, Π. και Πανίτσα, Μ. (2009) *Οικολογία φυτών*. Αγρίνιο: Καταγράμμα.
- Ζδράλης, Χ., Σταθάκης, Δ. και Χατζηχρήστος Θ. (2010) «Έρευνα χρηστών χωρικών δεδομένων για το INSPIRE». Στο *6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο HellasGIS*. Αθήνα, 2-3 Δεκεμβρίου.
- Ζόγκαρης, Σ., Χατζηρβασάνης, Β., Οικονόμου, Α.Ν., Χατζηνικολάου, Γ., Γιακουμή, Σ. και Δημόπουλος, Π. (2007) *Παράχθιες ζώνες στην Ελλάδα: Προστατεύοντας τις παραποτάμιες οάσεις*. Αθήνα: ΕΛΚΕΘΕ.
- Ηλίας, Η., Μπαμπίδης, Β. και Χατζηπλής, Δ. (2010) «Βιοποικιλότητα: Βασικές αποσαφηνίσεις». *Περισκόπιο*, 2, σελ. 4-5.
- Μέρτικας, Σ. (2006) *«Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση»*. Αθήνα: Ίων.
- Πασχαλίδου, Α., Ποϊραζίδης, Κ. και Μαρτίνης, Α. (2011) «Δυναμικές μεταβολές των παρόχθιων οικοσυστημάτων και οικολογικών χαρακτηριστικών του Αλφειού ποταμού». Στο *15^ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο*. Καρδίτσα, 16-19 Οκτωβρίου.
- Σταθάκης, Δ., Περάκης, Κ. και Φαρασλής, Ι. (2008) «Διαχρονική ανάλυση χρήσεων γης με βάση τα δεδομένα του ευρωπαϊκού προγράμματος CORINE εξετάζοντας τον πίνακα αλλαγών». Στο *5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο HellasGIS «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Περιβάλλον και Ανάπτυξη»*. Αθήνα, 4-5 Δεκεμβρίου.
- Συλλαίος, Γ., Μπουλιγαράκη, Μ. και Μουτζίκη, Ε. (2003) «Ανάπτυξη ενός υβριδικού αλγόριθμου με βάση την αναλυτική ιεραρχική διαδικασία για την υποβοήθηση λήψης απόφασης η οποία στηρίζεται σε ανομοιογενείς ομάδες παραμέτρων». Στο *14^ο Εθνικό Συνέδριο Ελληνικής Εταιρίας Επιχειρησιακών Ερευνών: Η Επιχειρησιακή Έρευνα στην Υπηρεσία της Περιφερειακής Ανάπτυξης*. Ξάνθη, 1-3 Νοεμβρίου.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Altieri, M.A. (1994) “The ecological role of biodiversity in agroecosystems”. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74 (1-3), pp.19-31.
- Amis, M.A., Rouget, M., Lotter, M. and Day, J. (2009) “Integrating freshwater and terrestrial priorities in conservation planning”. *Biological Conservation*, 142 (10), pp. 2217-2226).
- Braat, L. and Ten Brink, P. (2008) *The cost of policy inaction: The case of not meeting the 2010 biodiversity target*. Wageningen, Brussels: European Commission.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S. and Müller, F. (2012) “Mapping supply, demand and budgets of ecosystem services”. *Ecological Indicators*, 21, pp. 17-29.
- Cowling, R.M., Rundel, P.W., Lamont, B.B., Arroyo, M.K. and Arianoutsou, M. (1996) “Plant diversity in mediterranean-climate regions”. *Trends in Ecology & Evolution*, 11 (9), pp. 362-366.
- Clarke, S.J. (2014) Conserving freshwater biodiversity: The value, status and management of high quality ditch systems. *Journal for Nature Conservation*, 24, pp. 93-100.
- Congalton, R.G. and Green, K. (2008) *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices*. 2nd ed. London: CRC Press.
- Daily, G.C. and Matson, P.A. (2008) “Ecosystem services: From theory to implementation”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105 (28), pp. 9455-9456.
- Duda, R.O., and Hart, P.E. (1973) *Pattern classification and scene analysis*”. New York: Wiley.
- Forman, R.T.T. and Alexander, L.E. (1998) “Roads and their major ecological effects”. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, pp. 207-231.
- Geneletti, D. (2003) “Biodiversity impact assessment of roads: An approach based on ecosystem rarity”. *Environmental Impact Assessment Review*, 23 (3), pp. 343-365.
- Gould, W. (2000) “Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots”. *Ecological Applications*, 10 (6), pp. 1861-1870.

- Haines-Young, R. (2009) “Land use and biodiversity relationships”. *Land Use Policy*, 26 (sup.1), pp. 178-186.
- Haines-Young, R. and Potschin, M. (2011) “Modeling ecosystem services using Bayesian networks”. In *6th ALTER-Net Summer School*. Peyresq, 7-16 September.
- Van Herwijnen, M. (2006) *Weighted summation*. Available at: <http://www.ivm.vu.nl/en/> [Last access 15/05/2015].
- Hohl, P., ed. (1998) *Gis data conversion: Strategies, techniques, management*. Santa Fe, N.M.: OnWord Press.
- Hua, S. and Ashibindu, S. (1992) “An assessment of biodiversity hotspots using remote sensing and GIS”. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 30 (1-2), pp 105-112.
- De Lima, M.V.N., ed. (2000) *IMAGE 2000 and CLC 2000: Products and methods*. Ispra (VA), Italy: European Communities.
- Mcfarland, T.M., Van Riper III, C. and Johnson, G.E. (2012) “Evaluation of NDVI to assess avian abundance and richness along the upper San Pedro River”. *Journal of Arid Environments*, 77, pp. 45-53.
- Moss, R.F. (1990) “Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach”. *Conservation Biology*, 4 (4), pp 355-364.
- Murthy, M.S.R., Giriraj, A. and Dutt, C.B.S. (2003) “Geoinformatics for biodiversity assessment”. *Biological Letters*, 40 (2), pp. 75-100.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. and Kent, J. (2000) “Biodiversity hotspots for conservation priorities”. *Nature*, 403 (6772), pp. 853-858.
- Paruelo J., Jobbagy E., Sala O. (2001) “Current Distribution of Ecosystem Functional Types in Temperate South America” *Ecosystems* 4, pp. 683-685
- Perpina, C., Martinez-Liario, J.C. and Perez-Navvaro, A. (2013) “Multicriteria assessment in GIS environments for siting biomass plants”. *Land Use Policy*, 31, pp. 326-335.
- Rahbek, C. and Graves, G.R. (2001) “Multiscale assessment of patterns of avian species richness”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98 (8), pp. 4534-4539.

- Rees, W.G. (2001) *Principles of remote sensing*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Riitters, K.H., Wickham, J.D., Vogelmann, J.E. and Jones, K.B. (2000) “National land-cover pattern data”. *Ecology*, 81, p. 604.
- Salem, B.B. (2003) “Application of GIS to biodiversity monitoring”. *Journal of Arid Environments*, 54 (1), pp. 91-114.
- Short, N. (1982) *The Landsat tutorial handbook: Basics of satellite remote sensing*. Washington, D.C.: National Aeronautics and Space Administration, Scientific and Technical Information Branch.
- Swetnam, R.D., Fisher, B., Mbilinyi, B.P., Munishi, P.K.T., Willcock, S., Ricketts, T., Mwakalila, S., Balmford, A., Burgess, N.D., Marshall, A.R. and Lewis, S.L. (2011) “Mapping socio-economic scenarios of land cover change: A GIS method to enable ecosystem service modeling”. *Journal of Environmental Management*, 92 (3), pp. 563-574.
- Swetnam, R.D. and Reyers, B. (2011) “Meeting the challenge of conserving Africa’s biodiversity: The role of GIS, now and in the future”. *Landscape and Urban Planning*, 100 (4), pp. 411-414.
- Wallace, K.J. (2007) “Classification of ecosystem services: problems and solutions”. *Biological Conservation*, 139 (3-4), pp. 235-246.

Πηγές διαδικτύου

- Earth Observatory (2015) *Measuring vegetation (NDVI & EVI): Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. Available at: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php [Last access 15/05/2015].
- ESRI (2015) *Natural breaks classification*. Available at: <http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/natural%20breaks%20classification> [Last access 15/05/2015].
- USGS (2014) *Landsat missions timeline*. Available at: http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php [Last access 15/05/2015].