



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
ΛΕΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
(Α.Φ.Π. & Γ.Μ.)**

**ΜΟΝΑΔΑ ΓΣΠ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ
ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΣΤΟΥΣ ΦΥΣΙΚΟΥΣ
ΠΟΡΟΥΣ**

**«ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΩΝ
ΓΗΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ
ΤΕΧΝΗΤΗΣ Α.ΠΛΑΣΤΗΡΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ»**



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΤΗΣ
ΜΑΡΚΟΓΙΑΝΝΗ Β. ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ**

**Επιβλέπων:
Δ. Καλύβας
Επίκουρος Καθηγητής**

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2010

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
(Α.Φ.Π. & Γ.Μ.)

ΜΟΝΑΔΑ ΓΣΠ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ
ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΣΤΟΥΣ ΦΥΣΙΚΟΥΣ
ΠΟΡΟΥΣ

«ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΩΝ
ΓΗΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ
Λ.ΠΛΑΣΤΗΡΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΤΗΣ
ΜΑΡΚΟΓΙΑΝΝΗ Β. ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ

Επιβλέπων:
Δ. Καλύβας
Επίκουρος Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2010

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ:

**«ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΩΝ
ΓΗΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ
Λ.ΠΛΑΣΤΗΡΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ»**

**ΤΗΣ
ΜΑΡΚΟΓΙΑΝΝΗ Β. ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ**

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Επίκουρος Καθηγητής, Καλύβας Διονύσιος, Επιβλέπων

Καθηγήτρια, Κόλλια-Κουσουρή Βασιλική

Καθηγητής, Βάλμης Σπύρος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης διατριβής είναι αρχικά η ανίχνευση των αλλαγών της φυσικής βλάστησης, των χρήσεων γης και του φυσικού περιβάλλοντος στην υδρολογική λεκάνη της τεχνητής λίμνης Ν. Πλαστήρα κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1984 έως και 2009. Δευτερευόντως, εξετάζεται η εφαρμογή και η σύγκριση δύο ειδών παλινδρόμησης, της απλής γραμμικής και της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης, έτσι ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός επιρροής ποικίλων περιβαλλοντικών παραγόντων (βροχή, θερμοκρασία, υψόμετρο, κτλ) στην βλάστηση (μέσω του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI).

Τα σημαντικότερα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι η δορυφορική Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ). Η καταγραφή των αλλαγών της βλάστησης, των χρήσεων και της κάλυψης γης ολοκληρώθηκε με την παράλληλη συνεισφορά μιας πληθώρας δορυφορικών εικόνων και του προγράμματος εδαφικής κάλυψης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Corine 2000 (CORINE Land Cover project). Με την πάροδο των ετών και την επίδραση πολλών παραγόντων αναμενόμενη είναι και η εμφάνιση σημαντικών αλλαγών. Οι μεγαλύτερες αλλαγές που σημειώθηκαν αφορούν τη μείωση των κωνοφόρων και μεταβατικών δασών (-3.02%) και την αύξηση των λιβαδιών-θαμνότοπων κατά 2.41%.

Οι χάρτες βλάστησης έδειξαν ότι μεγαλύτερος βαθμός φυτοκάλυψης επικρατεί στην ημιορεινή ζώνη όπου εντοπίζονται κωνοφόρα, μεταβατικά και πλατύφυλλα δάση και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι σχετικά περιορισμένες, ενώ όπου υπάρχουν οικισμοί, άγονες εκτάσεις και καλλιέργειες ο δείκτης φυτοκάλυψης ήταν αισθητά μικρότερος.

Στην απλή γραμμική παλινδρόμηση η ανεξάρτητη παράμετρος που επέδειξε τη μεγαλύτερη συσχέτιση με τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI αλλά και με τους δείκτες NDVI των χρήσεων γης που σχετίζονται με τη βλάστηση, είναι η θερμοκρασία. Στη γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση, ανεξάρτητη μεταβλητή που επέδειξε τη μεγαλύτερη συσχέτιση με τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI είναι το υψόμετρο με τη μέγιστη τιμή του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού να ισούται με 0.84 (local $R^2=0.84$) και η βροχόπτωση με μέγιστο τοπικό συντελεστή προσδιορισμού ίσο με 0.72. Η διαφορά των αποτελεσμάτων των δύο ειδών παλινδρόμησης όσον αφορά τη συσχέτιση μεταξύ του NDVI και της βροχόπτωσης έγκειται στο γεγονός ότι η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση επιτρέπει την

εκτίμηση τοπικών παρά ολικών παραμέτρων (Fotheringham and Brunson, 1999), και ελέγχει την ύπαρξη χωρικής αστάθειας στη σχέση που προκύπτει ανάμεσα στην εξαρτημένη και κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επιτρέποντας στις παραμέτρους των ανεξάρτητων μεταβλητών να μεταβάλλονται στο χώρο (Καλογήρου, 2009; De Smith et al., 2007).

Λέξεις-κλειδιά: Δορυφορική Τηλεπισκόπηση, ΓΣΠ, Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI), Απλή παλινδρόμηση, Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση, τεχνητή λίμνη Πλαστήρα, χρήσεις γης.

ABSTRACT

Initial goal of this dissertation is land uses and vegetation detection of artificial Platira lake's subcatchment from 1984 to 2009. Furthermore, two regression types, simple linear and Geographically Weighted regression, were implemented so that effect of environmental parameters such as precipitation, temperature, elevation etc. on local vegetation (NDVI values) to be determined.

Most significant tools that have been used are Remote Sensing and Geographical Information Systems. Land uses and vegetation detection has been implemented through satellite imagery and the European land uses Corine program 2000. The most considerable changes that have been observed from 1984 to 2009, are coniferous-transitional forest decrease (-3.02%) and natural grassland and shrubs increase (2.41%).

Vegetations maps indicated that higher NDVI values dominates in regions where there are coniferous-transitional and broad-leaved woodland and human activities are restricted. Conversely, lower NDVI values are located in places of urban, bare rocks and agricultural land.

In simple linear regression, the independent variable that demonstrated the highest correlation with NDVI and land uses NDVI is temperature. Conversely, precipitation, evapotranspiration, temporal evapotranspiration and land uses percentages demonstrated weak correlation with afore mentioned dependent variables.

As far as Geographically Weighted Regression is concerned, independent variables which presented the highest correlation with NDVI are elevation with maximum local coefficient of determination 0.84 and precipitation with $R^2=0.72$.

The difference between these two regressions types' results exists because GWR expands traditional regression by allowing the assessment of local and not global parameters (Fotheringham and Brunsdon, 1999). This regression type controls the existence of spatial nonstationarity in the relationship between independent and dependent variable, enabling spatial change of independent variables' parameters (Kalogirou, 2009, De Smith et al., 2007).

Keywords: Satellite Remote Sensing, GIS, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Linear Regression, Geographically Weighted Regression, artificial Platira lake, land uses.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε σε συνεργασία του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με το Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων (ΙΕΥ) του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.) στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Εφαρμογές της Γεωπληροφορικής στους Φυσικούς Πόρους» του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής.

Τα δεδομένα αποκτήθηκαν και παραχωρήθηκαν από το Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων και συγκεκριμένα από το πρόγραμμα με τίτλο «Περιβαλλοντική Παρακολούθηση του Ταμιευτήρα Ν.Πλαστήρα» για τις ανάγκες της μεταπτυχιακής διατριβής.

Αντικείμενο της μελέτης αποτέλεσε ο συνδυασμός της Τηλεπισκόπησης με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών με στόχο την εκτίμηση της βλάστησης, των χρήσεων γης, των διαχρονικών μεταβολών τους και της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων σε αυτές τις μεταβολές, σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή μου κ. Καλύβα Διονύσιο για την καθοδήγηση και τις ωφέλιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της συγκεκριμένης εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημητρίου Ηλία, ερευνητή του Ινστιτούτου Εσωτερικών Υδάτων του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε για την παραχώρηση των δεδομένων και για το χρόνο που αφιέρωσε για την παρούσα μελέτη. Ακόμα ευχαριστώ την κα. Κόλλια-Κουσουρή Βασιλική και τον κ. Βάλμη Σπύρο, Καθηγητές του ΓΠΑ, για το χρόνο που αφιέρωσαν στη διόρθωση και βαθμολόγηση της εργασίας μου.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια και στους φίλους μου για τη στήριξη και την κατανόηση που επέδειξαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Μαρκογιάννη Βασιλική

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1	Χρήση των μεθόδων τηλεπισκόπησης για την αποτύπωση μεταβολών στη βλάστηση και στις χρήσεις γης.....	13
1.2	Επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στις μεταβολές της βλάστησης και των χρήσεων γης.....	17
1.3.	ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	22
2.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	23
2.1	Τοπογραφία της περιοχής μελέτης.....	24
2.2	Γεωλογία της περιοχής μελέτης.....	27
3.	ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΑΚΕΤΑ.....	30
3.1	Πηγές Δεδομένων.....	30
	Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου SPOT-5.....	32
3.2	Λογισμικά.....	33
3.3	Προβολικό Σύστημα.....	34
	Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87).....	35
3.4	Διάγραμμα Ροής.....	36
4.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	37
4.1	Αποτύπωση χρήσεων γης με μεθόδους Τηλεπισκόπησης.....	37
4.1.1	Αλγόριθμοι ταξινόμησης χρήσεων γης δορυφορικών εικόνων.....	38
4.1.2	Μεταβολή χρήσεων γης.....	41
4.2	Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI) (Normalized Difference Vegetation Index).....	42
4.2.1	Εκτίμηση Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) από δορυφορικές εικόνες.....	43
4.2.2	Υπολογισμός μεταβολής Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) ..	46
4.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ.....	47
4.3.1	Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων.....	48
4.3.2	Συσχέτιση (ανάλυση παλινδρόμησης) του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) με χρήσεις γης και περιβαλλοντικές παραμέτρους.....	50
4.4	Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (Geographically Weighted Regression).....	52
4.4.1	Υπολογισμός δεικτών.....	53
4.5	Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (Geographically Weighted Regression) του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) με περιβαλλοντικές παραμέτρους.....	54
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	57
5.1	Αποτύπωση χρήσεων γης της υπό μελέτη περιοχής μέσω αλγορίθμων ταξινόμησης χρήσεων γης δορυφορικών εικόνων και οι διαχρονικές μεταβολές τους.....	57
5.2	Εκτίμηση Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) από δορυφορικές εικόνες.....	69
5.2.1	Υπολογισμός μεταβολής Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) ..	73
5.3	Συσχέτιση του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) με χρήσεις γης και περιβαλλοντικές παραμέτρους.....	75
5.4	Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (Geographically Weighted Regression) του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) με περιβαλλοντικές παραμέτρους.....	91

5.4.1 Εφαρμογή γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης σε περιβαλλοντικές παραμέτρους με σκοπό την εξακρίβωση του βαθμού συσχέτισής τους με το μέσο NDVI, ανάλογα με τις χρήσεις γης.....	100
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	105
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	109
7.1 ΧΑΡΤΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ.....	110
7.2 ΧΑΡΤΕΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ.....	117
7.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ.....	125
7.4 ΠΙΝΑΚΕΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ.....	141
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	146

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) είναι η επιστήμη και η τεχνολογία που ασχολείται με τη συλλογή πληροφορίας σχετικά με ένα αντικείμενο, μια περιοχή, μια εμφάνιση ή ένα φαινόμενο, μέσω της κατάλληλης ανάλυσης δεδομένων, τα οποία προέρχονται από ένα σύστημα που δεν βρίσκεται σε επαφή με το συγκεκριμένο αντικείμενο, περιοχή, εμφάνιση ή φαινόμενο πάνω στην επιφάνεια της γης. Η παρατήρηση και παρακολούθηση της γης από το διάστημα αποτελεί τα τελευταία χρόνια σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του περιβάλλοντος, και συγκεκριμένα η δορυφορική τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία για την χαρτογράφηση και καταγραφή των αλλαγών βλάστησης και κάλυψης γης. Επιπρόσθετα, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μέσο παρακολούθησης της φυτοκάλυψης και κατηγοριοποίησης αυτής όταν πρόκειται για περιοχές μεγάλης κλίμακας (Rouhggarden et al., 1991; Treitz and Howarth, 1999; Chen and Tian, 2007). Η αξιοποίηση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων για τη μελέτη της γης άρχισε τη δεκαετία του 1960, όταν οι τεχνικές δυνατότητες των δορυφόρων που βρίσκονταν σε τροχιά γύρω από τη γη, ακολούθησαν τη ραγδαία ανάπτυξη των δυνατοτήτων των Η/Υ για τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων.

Πλεονέκτημα της Τηλεπισκόπησης αποτελεί το γεγονός της συλλογής δεδομένων με μεγάλη συχνότητα αλλά και ακρίβεια, παρέχοντας πληροφορίες τόσο για τα φασματικά χαρακτηριστικά των στοιχείων κάλυψης/χρήσης γης, αλλά και για το χώρο, το σχήμα και το μέγεθός τους.

Στην παρούσα μελέτη η χρήση δορυφορικών δεδομένων αποτελεί το κύριο εργαλείο για την εκτίμηση των αλλαγών χρήσεων γης και βλάστησης στην υδρολογική λεκάνη της τεχνητής λίμνης Ν. Πλαστήρα. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ – GIS) είναι το δεύτερο βασικό εργαλείο επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων που αφορούν τη βλάστηση, τις χρήσεις και την κάλυψη γης, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη. Ο συνδυασμός των ΓΣΠ και Τηλεπισκόπησης παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τη φύση των αλλαγών των χρήσεων γης και της φυτοκάλυψης, ιδιαίτερα για την έκταση και τη χωρική κατανομή των διάφορων κλάσεων (Yuan & Zhang 2008). Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση χωρικών δεδομένων (Burrough, 1991). Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν χωρική πληροφορία,

μαζί με περιγραφικές διαστάσεις, ενώ η διάσταση του χρόνου υπεισέρχεται σαν μια επιπλέον διάσταση (Despotakis et al., 1991). Επομένως, θεωρείται σαν τη ψηφιακή τεχνολογία αιχμής για σχεδόν κάθε τύπο μελέτης. Ειδικά, για περιφερειακές μελέτες μικρών και μεσαίων κλιμάκων, είναι το καλύτερο εργαλείο για αναπτυξιακές προτάσεις, στήριξη αποφάσεων και εφαρμογή πολιτικής (Falloux et al., 1991).

Η μελέτη εστιάζεται στην ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας που παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής της βλάστησης, των διαχρονικών αλλαγών της καθώς και των αλλαγών χρήσεων γης, με κεντρικό στόχο την κατανόηση και ανάλυση των ανθρωπογενών και περιβαλλοντικών παραμέτρων που επηρεάζουν τις εν λόγω αλλαγές.

Στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή αρχικά πραγματοποιείται καταγραφή της βλάστησης και των διαφορετικών ειδών της, μέσω του υπολογισμού του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Εκτεταμένες μελέτες έχουν ερευνήσει τις μεταβολές χρήσεων και κάλυψης γης με διάφορες μεθόδους στις οποίες εμπεριέχονται και χρονοσειρές δεικτών βλάστησης και συγκεκριμένα του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI (Sheng et al. 1995, Geerken et al. 2005). Ο NDVI προτιμάται για την ολική φυτική παρακολούθηση διότι αντισταθμίζει μερικά τις αλλαγές των συνθηκών φωτισμού, την κλίση του εδάφους και τον προσανατολισμό θέσης (Τσίρος Ε., 2006). Η σπουδαιότητα του NDVI ανάγεται στο γεγονός ότι είναι ενδεικτικός του βαθμού της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας της υπό παρακολούθηση βλάστησης (FEWS Bulletin, 1996), ενώ πιο εκτεταμένα στοιχεία για τα χαρακτηριστικά του, τη λειτουργία του και τη χρησιμότητα του αναφέρονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο της μεθοδολογίας (κεφ 4.2). Ο υπολογισμός NDVI αφορά τη βλάστηση 9 συγκεκριμένων χρονολογιών από το 1984 έως και το 2009, για τις οποίες παρήχθησαν χάρτες βλάστησης, καθώς και την ποσοστιαία μεταβολή της βλάστησης κατά τη διάρκεια αυτών των ετών. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης στις ίδιες 9 τηλεπισκοπικές απεικονίσεις με συγκεκριμένη μεθοδολογία ταξινόμησης, με αποτέλεσμα την παραγωγή 9 θεματικών χαρτών χρήσεων γης μέσω δορυφορικών εικόνων. Στην πορεία ακολούθησε η εφαρμογή και σύγκριση δύο ειδών παλινδρόμησης, αυτών της υπερτοπικής (απλή γραμμική παλινδρόμηση) και της τοπικής ή Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (Geographically Weighted Regression). Αυτή η εφαρμογή των δύο ειδών παλινδρόμησης είχε ως στόχο την εξακρίβωση του βαθμού εξάρτησης της βλάστησης (μέσω του δείκτη βλάστησης

NDVI) από δεδομένους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως π.χ. βροχόπτωση, θερμοκρασία, εξατμισοδιαπνοή. Παρά το γεγονός της ύπαρξης ποικίλων εφαρμογών απλής γραμμικής παλινδρόμησης (Curran & Hay, 1986), η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων παρουσιάζει βασικούς περιορισμούς για την εφαρμογή της σε χωρικά δεδομένα, π.χ. η παράλειψη της τοπικής πληροφορίας μιας δεδομένης παραμέτρου. Δεν είναι επομένως πάντα η πιο κατάλληλη και θα πρέπει να αξιολογούνται και άλλες εναλλακτικές (Cohen et al., 2003; Curran & Hay, 1986). Αυτός είναι και ένας από τους λόγους που στη συγκεκριμένη εργασία εφαρμόστηκε η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση (Geographically Weighted Regression), η οποία δεν εξάγει μόνο μία απλή εξίσωση παλινδρόμησης που συνοψίζει τις σχέσεις εξάρτησης μεταξύ των εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών. Αντίθετα η παλινδρόμηση τοπικής κλίμακας, παράγει χωρικά δεδομένα τα οποία εκφράζουν τη χωρική διακύμανση των σχέσεων μεταξύ των υπό εξέταση μεταβλητών. Επίσης οι χάρτες που παράγονται από αυτά τα δεδομένα παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην εξερεύνηση και ερμηνεία της χωρικής αστάθειας που είναι πιθανό να εντοπιστεί στην υπό μελέτη περιοχή (Erdogan, S., 2009). Εφόσον τα ΓΣΠ περιλαμβάνουν αρκετές μεθόδους ανάλυσης και επεξεργασίας χωρικών δεδομένων η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση αποδεικνύεται ως μία πολύτιμη τεχνική κατάλληλη να ενσωματωθεί με τα υπόλοιπα εργαλεία χωρικής ανάλυσης στις σημερινές εκδόσεις των εμπορικών λογισμικών GIS..

Από τη σύγκριση των δύο ειδών παλινδρόμησης, εξάγονται συμπεράσματα για τις δυνατότητες της κάθε μεθόδου, την ακρίβεια, την λειτουργικότητα, ταχύτητα και γενικά συμπεράσματα για τα υπέρ και τα κατά κάθε μέθοδο. Συμπεράσματα επίσης εξάγονται για τις διαχρονικές μεταβολές των χρήσεων γης και πιο συγκεκριμένα για αυτές της βλάστησης στην υπό μελέτη περιοχή και αναλύονται οι αιτίες που προκάλεσαν αυτές τις αλλαγές, είτε είναι φυσικές είτε ανθρωπογενείς.

1.1 Χρήση των μεθόδων τηλεπισκόπησης για την αποτύπωση μεταβολών στη βλάστηση και στις χρήσεις γης

Τα φυσικά οικοσυστήματα αποτελούν ένα φυσικό ανανεώσιμο πόρο μεγάλης αξίας όσον αφορά τον περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό τομέα. Ο συνδυασμός της περιβαλλοντικής ευαισθησίας και των αυξανόμενων αναγκών του ανθρώπου καθιστούν επιτακτική ανάγκη την υιοθέτηση μιας πιο επιστημονικά ολοκληρωμένης πολιτικής για την προστασία, και διατήρηση αυτών των οικοσυστημάτων. Για να γίνει όμως αυτό εφικτό είναι απαραίτητος ο ορθολογικός σχεδιασμός και η ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης, οι οποίες θα λαμβάνουν υπόψη τις πολιτικές, οικονομικές, κοινωνικές, βιοτικές, αβιοτικές και περιβαλλοντικές επιδράσεις και περιορισμούς. Αφού λοιπόν επιτευχθούν τα προαναφερθέντα, είναι αρχικά απαραίτητη η ολοκληρωμένη γνώση και κατανόηση των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων των φυσικών οικοσυστημάτων και στη συνέχεια η γνώση όλων των σταδίων της συλλογής, ανάλυσης και σύγκρισης διαχρονικών δεδομένων και πληροφοριών.

Κατ' αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η μελέτη των περιβαλλοντικών αλλαγών, των ανθρωπογενών πιέσεων κ.λπ. Με δεδομένα την ποικιλομορφία των φυσικών οικοσυστημάτων και το μέγεθος, τις σύνθετες περιβαλλοντικές και οικολογικές, επεμβάσεις του ανθρώπου, τον μεγάλο όγκο των πληροφοριών κ.λπ., η ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων παρακολούθησης και διαχείρισης των φυσικών οικοσυστημάτων, μπορεί να προσφέρει ένα μηχανισμό επίλυσης προβλημάτων. Σήμερα, η πιο επιτυχημένη ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης και διαχείρισης των φυσικών οικοσυστημάτων είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού χρήσης της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Για να είναι δυνατή επιχειρησιακά η χρήση ενός τέτοιου συστήματος, πρέπει να πληρούνται οι εξής αναγκαίες προϋποθέσεις:

1. Συστηματική και μακροχρόνια διαδικασία παρακολούθησης των φυσικών οικοσυστημάτων.
2. Συστηματική καταγραφή και κωδικοποίηση των δεδομένων
3. Το δίκτυο παρακολούθησης των φυσικών οικοσυστημάτων να είναι προσαρμοσμένο και αντιπροσωπευτικό της περιοχής εφαρμογής του

4. Ευρεία και εύκολα διαχειριζόμενη βάση δεδομένων, η οποία θα παρέχει τη δυνατότητα συγκεκριμένης επεξεργασίας των διαθέσιμων πληροφοριών.

Τέτοια συστήματα αναπτύσσονται μέσα από μια σειρά απλών διαδικασιών σε καθημερινή βάση, καθώς οι διάφοροι επιστήμονες ή υπηρεσίες μπορούν να αναπτύξουν τη δική τους τράπεζα βιοτικών και αβιοτικών πληροφοριών και αξιών, να την εισάγουν στο σύστημα, να κάνουν συνδυασμούς και αναλύσεις και τέλος να εντοπίσουν και αναγνωρίσουν προτεραιότητες, περιορισμούς, τάσεις, αλλαγές, συνέπειες κ.λπ. οι οποίες σχετίζονται με τα φυσικά οικοσυστήματα. Στον τομέα της τηλεπισκόπησης επετεύχθησαν μεγάλα βήματα προς τα εμπρός, τόσο προς την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, ως προς το εύρος αυτών αλλά ακόμα και στο πλήθος και την αμεσότητα που υπάρχει στην πρόσβαση προς τα τηλεπισκοπικά δεδομένα. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση αποτελεί σημαντικό εργαλείο για περιβαλλοντικές εφαρμογές (Ρετάλης Α., «Χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών για την μελέτη της βιώσιμης ανάπτυξης της νήσου Σκιαθός»).

Η δορυφορική παρατήρηση προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για την παραγωγή συγκροτημένων πληροφοριών στη μελέτη των ανθρώπινων-περιβαλλοντικών συστημάτων και ειδικότερα όσον αφορά τη μεταβολή της χρήσης γης και της φυτοκάλυψης του εδάφους. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που παρέχουν την καλύτερη πληροφορία σχετικά με τις μεταβολές των οικοσυστημάτων και πιο συγκεκριμένα τη σύνθεση και κατάσταση της βλάστησης, είναι αυτά που εμφανίζονται στο ορατό, κοντινό υπέρυθρο και στο τμήμα των μικροκυμάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση όμως των υπό μελέτη επιφανειών απειλούνται από την ύπαρξη συννέφων με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της συλλογής δεδομένων. Όργανα με μικρότερη συχνότητα κάλυψης αλλά με μεγαλύτερη χωρική ανάλυση και δορυφόροι με λιγότερες τροχιές δίνουν τη δυνατότητα για περισσότερο λεπτομερείς αναλύσεις των μεταβολών χρήσεων γης και επικύρωση μικρότερης ανάλυσης παρατηρήσεις (Satellite-derived greenness rate of change across the North Slope of Alaska in the 1990s (D. Stow, A. Hope, S. Daeschner, A. Petersen, and D. Douglas in "Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems", 2004)

Πριν από μερικά χρόνια η καλύτερη διακριτική/διαχωριστική ικανότητα ενός δορυφόρου δεν ξεπερνούσε τα 10 ή 15 μέτρα, ενώ τώρα υπάρχει μια πλειάδα δορυφορικών τηλεπισκοπικών δεκτών που δίνουν αναλύσεις των 0.50 m. Ακόμη οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις έχουν εμπλουτιστεί με περισσότερα φασματικά κανάλια,

στερεοσκοπικές και πολλές άλλες δυνατότητες ανάλογα με την ανάγκη του χρήστη (Αγαθαγγέλου Μ., 2008).

Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία για την χαρτογράφηση και καταγραφή των αλλαγών κάλυψης γης και ο προσδιορισμός αυτών είναι μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Διάφορες μέθοδοι έχουν προταθεί από ερευνητές σχετικά με την εκτίμηση των αλλαγών κάλυψης γης (π.χ. Wrбка et al., 1999; Hadjimitsis et al, 2002; Sunar, 1998; Singh, 1989; Chavez and Kwarteng, 1989; Kwarteng and Chavez, 1998; Chavez and MacKinnon, 1994; Mas, 1999; Chen Xiuwan, 2002). Οι ολοένα και αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών οδήγησαν στη δημιουργία νέων αλγόριθμων με περισσότερες δυνατότητες, καλύτερο περιβάλλον και πιο αποδοτικών στη διαχείριση του όγκου δεδομένων με απώτερο σκοπό στην ανάλυση των δορυφορικών εικόνων και στην βέλτιστη ταξινόμηση τους.

Δύο κύριες μεθοδολογίες ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων είναι η κλασσική pixel-oriented ταξινόμηση (Bhaskaran S. Et al, in press, 2010; Cleve C et al, 2008) όπου κύριο συστατικό επεξεργασίας αποτελεί η φασματική υπογραφή των εικονοστοιχείων και χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη μελέτη, και η νεότερη προσέγγιση της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης όπου τα εικονοστοιχεία ενώνονται με μεθόδους κατάτμησης σε αντικείμενα και μέσω των ιδιοτήτων τους όπως μέγεθος, σχέση με τα γειτονικά, θέση στο χώρο και πολλών άλλων ιδιοτήτων γίνεται η τελική ταξινόμηση (Αγαθαγγέλου Μ., 2008)

Όσον αφορά την ταξινόμηση των χρήσεων γης, υπάρχουν αρκετές διαφορετικές μέθοδοι ταξινόμησης συμπεριλαμβανομένης της πολυφασματικής ταξινόμησης και της ενίσχυσης εικόνας οι οποίες και περιγράφονται ακολούθως:

1. Αποκατάσταση εικόνας

Η αποκατάσταση της εικόνας περιλαμβάνει διόρθωση των δεδομένων που λαμβάνονται από το δορυφόρο και μπορεί να γίνει πριν από την ταξινόμηση.

2. Γεωμετρική Διόρθωση

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα επηρεάζονται από γεωμετρικές στρεβλώσεις λόγω της γεωμετρίας του αισθητήρα, τις αστάθειες του σαρωτή και της πλατφόρμας, της περιστροφής της γης, του μεγάλου υψομέτρου κλπ. και εφόσον οι αρχικές εικόνες (raw) δεν είναι με γεωγραφική αναφορά και προκειμένου να ενσωματωθούν αυτά τα δεδομένα με άλλα δεδομένα στο ΓΣΠ, είναι απαραίτητο να γεωαναφερθεί η εικόνα, χρησιμοποιώντας διαθέσιμα στοιχεία.

3. Ενίσχυση εικόνας

Η τεχνική ενίσχυσης της εικόνας πραγματοποιείται για να μετατραπεί μια αρχική εικόνα (raw) σε μία καλύτερα μεταφράσιμη εικόνα. Βελτιώνει την ποιότητα και την οπτική επίπτωση της για το ανθρώπινο μάτι (Barbe, 1975). Υπάρχουν πολλές τεχνικές και μέθοδοι ενίσχυσης της εικόνας που χρησιμοποιούνται για την οπτική ερμηνεία, παρακάτω όμως γίνεται αναφορά σε αυτή που χρησιμοποιήθηκε και για την αποτύπωση της φυτοκάλυψης στην περιοχή μελέτης.

4. Δείκτες Βλάστησης-Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Αγαθαγγέλου Μ, 2008)

Οι δείκτες βλάστησης είναι συνήθως ο συνδυασμός σημάτων από κανάλια του ραδιομέτρου. Αυτοί οι δείκτες παρέχουν καλύτερες πληροφορίες από τα ανεξάρτητα κανάλια σε φυτικούς παραμέτρους όπως είναι η έκταση της φυτομάζας, η βρεγμένη και υγρή βιομάζα, το ύψος του φυτού και η περιεκτικότητα του φύλλου σε νερό. Αυτή η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της φυτοκάλυψης μέσω των μετρήσεων των αντανάκλασεων και έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες (Foody G.M., 2003; Tsai-Ming Lee Hui-Chung Yeh. 2008; Yuan L., 2008; Rogan et al., 2002). Επομένως, οι μεταβολές των φασματικών χαρακτηριστικών της βλάστησης ως συνάρτηση της κατάστασης της υγείας της έχουν ιδιαίτερη σημασία.

1.2 Επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στις μεταβολές της βλάστησης και των χρήσεων γης.

Η βλάστηση και συνεπώς οι τιμές του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI, είναι αποτέλεσμα συνεπίδρασης πολλών περιβαλλοντικών παραγόντων και κυρίως της χλωρίδας, του γενικού κλίματος (θερμοκρασία, βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή), της ορεογραφικής διαμόρφωσης, της πετρολογικής και γεωλογικής σύστασης του εδάφους (Wang J. et al, 2003), αλλά και της ανθρώπινης επίδρασης, η οποία εμφανίζεται στην ιστορική εξέλιξη και την οικονομική δομή της περιοχής. Η βλάστηση μπορεί να είναι πλούσια ή φτωχή και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το κλίμα, το υψόμετρο και το ανάγλυφο μιας περιοχής και έχει παρατηρηθεί ότι τα πιο πολλά δάση της Ελλάδας βρίσκονται σε περιοχές που πέφτουν πολλές βροχές (Δυτική & Βόρεια Ελλάδα, Πελοπόννησος). Διακυμάνσεις στις τιμές των κλιματικών παραγόντων, συγκεκριμένα της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας, ασκούν μεγάλη επιρροή στη διακύμανση των τιμών του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI μίας δεδομένης περιοχής. Η βροχόπτωση και η θερμοκρασία επηρεάζουν άμεσα τον υδρολογικό κύκλο μιας περιοχής προκαλώντας αλλαγές στην υγρασία του εδάφους, γεγονός που επηρεάζει τη φυτική ανάπτυξη. Έτσι, η υγρασία του εδάφους θεωρείται ευρέως ως μία πολύ σημαντική παράμετρος, η οποία συνδέει τη βροχόπτωση, τη θερμοκρασία και το δείκτη NDVI, παρόλο που η θερμοκρασία επηρεάζει επίσης τη φαινολογία και την ανάπτυξη των φυτών (Wang J. et al, 2003).

Από αρκετές μελέτες συμπεραίνεται ότι οι εποχιακές διακυμάνσεις του NDVI συνδέονται στενά με τη βροχόπτωση και υπάρχει μία ισχυρή γραμμική συσχέτιση (Malo and Nicholson, 1990) μεταξύ τους, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις στις οποίες η μηνιαία ή η ετήσια βροχόπτωση μιας δεδομένης περιοχής κυμαίνεται μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος. Από τις παραπάνω μελέτες προκύπτει λοιπόν ότι η βροχόπτωση επηρεάζει το NDVI μέσω της επιρροής της στην εδαφική υγρασία.

Σε μια περιοχή, η βλάστηση αλλάζει όσο διαφοροποιείται το υψόμετρο. Ο διαχωρισμός και η διαδοχή των βασικών διαπλάσεων βλάστησης δεν είναι ιδιαίτερα σαφής και ανάλογα με το ανάγλυφο, την έκθεση, τον βαθμό ανθρώπινης επέμβασης (υλοτομία, βόσκηση κτλ.), τις φυσικές καταστροφές (πυρκαγιές, επιδημίες εντόμων κτλ.), το βασικό πέτρωμα, την διάβρωση, την διάρκεια και ποσότητα ροής του νερού

στα ρέματα κτλ. δημιουργούνται ενδιάμεσες διαβαθμίσεις ανάμεσα στις διάφορες διαπλάσεις.

Το ανάγλυφο αφορά παράγοντες όπως τον προσανατολισμό, το υψόμετρο και την κλίση. Το υψόμετρο συμβάλλει στη δημιουργία ζωνών βλάστησης έτσι ώστε να παρατηρείται διαφορετικό είδος βλάστησης ανάλογα με το υψόμετρο και τις γεωγραφικές κατανομές. Με άλλα λόγια, όσο αυξάνεται το υψόμετρο οι συνθήκες αλλάζουν έτσι ώστε είναι σαν να αυξάνεται το γεωγραφικό ύψος. Δηλαδή όσο αυξάνεται το υψόμετρο έχουμε μεγαλύτερες βροχοπτώσεις, χαμηλότερες θερμοκρασίες και αλλαγή της βλάστησης.

Όσο αφορά την επίδραση του προσανατολισμού, όσον αφορά την Ελλάδα συμβαίνει το εξής. Εδάφη με νότιο προσανατολισμό έχουν μεγαλύτερη εξατμισοδιαπνοή, αραιότερη βλάστηση και άρα μεγαλύτερες διαβρώσεις και ταχύτερες αποσαθρώσεις και εδαφογενέσεις γεγονός που δεν είναι ποτέ ευνοϊκό για τα εδάφη. Τα εδάφη βόρειου προσανατολισμού είναι γενικά πιο γόνιμα, αν βέβαια δεν υπάρχουν άλλοι περιοριστικοί παράγοντες.

Μελετώντας τα φυσικά περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής και καταγράφοντας τις χρήσεις γης αυτής, μπορούν να προσδιοριστούν οι πιθανές περιοχές όπου θα μπορούσαν να συμβούν συγκεκριμένες αλλαγές στην κάλυψη γης. Από αρκετές μελέτες προέκυψε ότι οι παράγοντες του φυσικού περιβάλλοντος που κυρίως ευθύνονται για την αλλαγή ή μη των χρήσεων γης είναι οι ακόλουθοι: το βάθος του εδάφους, η κλίση της επιφανείας του εδάφους, η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους σε νερό, η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, το CO₂ στην ατμόσφαιρα και το υψόμετρο.

Η έρευνα μέχρι σήμερα εστιάζεται στη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση, ενώ οι μελέτες ερημοποίησης χρειάζονται επιπρόσθετες πληροφορίες για μεταβλητές όπως ο άνεμος, η εξάτμιση και η εδαφική υγρασία. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν τη δυναμική σημασία της εδαφικής υγρασίας στην εμφάνιση ακραίων τιμών θερμοκρασίας. Αυτές οι σχέσεις και οι παράγοντες που σχετίζονται με τις αλλαγές στις χρήσεις γης, χαρακτηρίζονται ως πολύ σημαντικές για την ερημοποίηση.

Κάποιοι από τους παράγοντες που προκαλούν την ερημοποίηση είναι:

1. Η μείωση της διαθεσιμότητας των υδάτινων πόρων. Η ποσότητα του διαθέσιμου νερού για τον εμπλουτισμό των υπογείων νερών και την

αποθήκευση σε φράγματα είναι πολύ ευαίσθητη στις μικρές μεταβολές της βροχόπτωσης ή τις αυξήσεις της εξατμισοδιαπνοής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεγάλη διαφοροποίηση της ποσότητας του διαθέσιμου νερού από χρόνο σε χρόνο.

2. Το κλίμα. Μικρές αλλαγές στη βροχόπτωση επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του νερού και η ποσότητα της βροχής που χρησιμοποιείται ως εξατμισοδιαπνοή είναι πάντα ένα σημαντικό θέμα και κυρίως η διαθεσιμότητα του νερού εξαρτάται από την ποσότητα και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων.
3. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες συνδέονται με μεγαλύτερες δυνητικές και πραγματικές απώλειες εξάτμισης, επιδρώντας έτσι στην ερημοποίηση. Ωστόσο, μία αύξηση στη θερμοκρασία σημαίνει ότι περισσότερο νερό χρησιμοποιείται από τα οικοσυστήματα, και έτσι το διαθέσιμο νερό για τις ανθρώπινες ανάγκες μειώνεται.
4. Η διαθεσιμότητα του νερού στα φυτά και τα οικοσυστήματα. Η διαθεσιμότητα του νερού καθορίζει την ποσότητα της πρωτογενούς παραγωγής σε περιοχές όπου η ανάπτυξη των φυτών περιορίζεται από το διαθέσιμο νερό. Σε αυτή την περίπτωση εάν συμβεί οποιαδήποτε μεταβολή στην ποσότητα και/ή στο χρόνο που πέφτει η βροχή, τότε θα μειωθεί το διαθέσιμο νερό στα φυτά ή στα οικοσυστήματα σε κρίσιμες περιόδους. Το διαθέσιμο νερό που υπάρχει για τη βλάστηση πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις της ιδιαίτερα κατά την διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης και ιδιαίτερα στις καλλιέργειες που είναι ευπαθείς στην έλλειψη νερού. Επίσης θερμότερο κλίμα σημαίνει ότι τα φυτά έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό για την διαπνοή. Συνεπώς μεγαλύτερη βροχόπτωση σημαίνει ότι η εξάτμιση διατηρεί το έδαφος ψυχρότερο και ελαττώνει τις απαιτήσεις σε νερό.
5. Διακυμάνσεις του καιρού. Υπό κανονικές συνθήκες, υπάρχουν περισσότερα χρόνια με βροχοπτώσεις κάτω του μέσου όρου παρά ίσο με το μέσο όρο ή περισσότερο. Οι παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας είναι συχνό φαινόμενο. Αυτή καθ' αυτή η καιρική διαφοροποίηση δεν προκαλεί την ερημοποίηση, αλλά λειτουργεί επιταχυντικά, ειδικά στις περιπτώσεις που ο άνθρωπος συνεχίζει εκείνες τις χρήσεις γης που χρειάζονται πάνω του μέσου όρου επίπεδα βροχόπτωσης.

Η ερημοποίηση και η αποψίλωση οφείλονται σε μια δραστική αλλαγή των μικροκλιμάτων. Το έδαφος γίνεται θερμότερο και πιο ξηρό λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ οι οργανισμοί που ζουν πάνω ή εντός του εδάφους μετακινούνται ώστε να αποφύγουν τις νέες αντίξοες συνθήκες. Τα φυτικά υπολείμματα στην επιφάνεια -π.χ. νεκρά φύλλα και κλαδιά - οξειδώνονται και το CO₂ μεταφέρεται μακριά. Το ίδιο επίσης συμβαίνει και με την μικρή ποσότητα χούμου που είναι αποθηκευμένος στο έδαφος. Οι επιπτώσεις της αποψίλωσης στο κλίμα εμφανίζονται σε τοπική, μεσαία και μεγάλη κλίμακα. Η εξισορρόπηση μεταξύ ηλιακής ακτινοβολίας και ενέργειας στην περίπτωση ενός δάσους και μιας απογυμνωμένης περιοχής είναι διαφορετική. Υψηλότερες ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες παράγονται στην αποψιλωμένη περιοχή, ιδιαίτερα την ξηρή περίοδο. Σε περιοχές με μεγάλο ποσοστό αποψίλωσης, παρατηρείται μεγαλύτερη εκπομπή θερμότητας από τα βαθύτερα εδαφικά στρώματα προκαλώντας διαφοροποιήσεις στο ποσοστό κάλυψης με σύννεφα και σε μέσης κλίμακας κλιματικές μεταβολές. Όλες αυτές οι μικροκλιματικές αλλαγές προκαλούν και οικολογικές μεταβολές. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το οικοσύστημα μεταβάλλεται, συνήθως αρνητικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όχι μόνο την απώλεια της βιολογικής παραγωγικότητας αλλά και την υποβάθμιση των επιφανειακών μικροκλιμάτων. Τα φαινόμενα της παγκόσμιας υπερθέρμανσης και του θερμοκηπίου, είναι σήμερα τα πιο σοβαρά σε παγκόσμια κλίμακα και πιθανώς τα πιο απειλητικά. Οι παγκόσμιες αλλαγές στα επίπεδα του CO₂ στην ατμόσφαιρα και το κλίμα θα έχουν ως αποτέλεσμα να μεταβληθεί μελλοντικά η σοδειά των καλλιεργειών και η χωρική κατανομή αυτών. Η αύξηση του CO₂ επηρεάζει άμεσα το μέγεθος των καλλιεργειών μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης (Cure and Acock, 1986) και έμμεσα μέσω της αλληλεπίδρασης με άλλα αέρια του θερμοκηπίου τα οποία προκαλούν τις κλιματικές αλλαγές (Houghton et al., 1996). Από τη βιομηχανική επανάσταση έχει σημειωθεί μια σημαντική αύξηση των εκπομπών άνθρακα μέσω του CO₂ η οποία επηρεάζει τη θερμοκρασία του πλανήτη. Κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού του τελευταίου αιώνα, η θερμοκρασία του χαμηλότερου ατμοσφαιρικού στρώματος και της επιφάνειας της γης αυξήθηκε με ένα ρυθμό 0,04⁰C κάθε 10 χρόνια (IPCC, 2001). Ο ρυθμός τώρα είναι 0,17⁰C και έχει ήδη επιδράσεις στην ποικιλία των φυσικών και βιολογικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένου της συρρίκνωσης των παγετώνων, της μετατόπισης της βλάστησης και της πανίδας σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη και μήκη και της αυξημένης συχνότητας των πλημμύρων, των ξηρασιών και θυελλών (IPCC, 2001). Οι

κλιματικές αλλαγές αναμένονται να επιδράσουν επίσης και στην κατάσταση του εδάφους εφόσον η βροχόπτωση και η απορροή είναι οι κυριότεροι παράγοντες που ελέγχουν τη μεταφορά των ιζημάτων μεταξύ των περιοχών (Charlot V., 2007).

Οι κλιματικές αλλαγές επιδρούν αρνητικά και στα δάση, των οποίων πολλά φυτικά είδη έχουν μειωθεί λόγω των επαναλαμβανόμενων ξηρασιών. Το CO₂ επηρεάζει την ευαισθησία των φυτών στην ξηρασία και μία ενδεχόμενη αύξηση της ποσότητάς του στην ατμόσφαιρα μειώνει το άνοιγμα των στομάτων που βρίσκονται στην επιφάνεια των φύλλων, με τα οποία τα φυτά το απορροφούν και απελευθερώνουν υδρατμούς. Συμπερασματικά λοιπόν προκύπτει, πως κυρίως οι κλιματικές αλλαγές αλλά και η μορφολογία του εδάφους, ευθύνονται για την μεταβολή της βλάστησης και των χρήσεων γης με το πέρασμα του χρόνου. Επειδή όμως η αύξηση του CO₂ και οι συνέπειες αυτού έχουν φτάσει σε πολύ επικίνδυνο στάδιο για τον πλανήτη γενικότερα, αυτά που θεωρούνται πλέον αναγκαία είναι ο ακριβής προσδιορισμός και παρακολούθηση των διαφόρων αποκρίσεων του υδατικού αποθέματος, του εδάφους και της βλάστησης στα αυξημένα επίπεδα των αερίων του θερμοκηπίου και στις κλιματικές αλλαγές έτσι ώστε να είναι δυνατό να επιτευχθεί η βέλτιστη διαχείριση των οικοσυστημάτων, υδάτινων και χερσαίων, στο μέλλον.

1.3. ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Με την πάροδο των χρόνων συντελούνται πολλές αλλαγές στις χρήσεις γης ενός τόπου και κατά συνέπεια και στο φυσικό περιβάλλον του. Οι αλλαγές αυτές οφείλονται σε δύο κύριους παράγοντες, είτε σε φυσικές καταστροφές, π.χ. μία μεγάλη πυρκαγιά, είτε σε ανθρωπογενείς παράγοντες και επεμβάσεις, π.χ. η επέκταση των οικισμών και των τουριστικών καταλυμάτων σε βάρος δασικών περιοχών, η επέκταση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων και η αποψίλωση δασών. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιούνται τεχνικές της δορυφορικής τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) με σκοπό αρχικά την ανίχνευση των αλλαγών της φυσικής βλάστησης, των χρήσεων γης και του φυσικού περιβάλλοντος στην υδρολογική λεκάνη της τεχνητής λίμνης Ν. Πλαστήρα κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1984 έως και 2009. Δευτερευόντως εξετάζεται η εφαρμογή και η σύγκριση δύο ειδών παλινδρόμησης, αυτών της τοπικής και υπερτοπικής, έτσι ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός επιρροής ποικίλων περιβαλλοντικών παραγόντων (βροχή, θερμοκρασία, υψόμετρο, κτλ) στην βλάστηση (μέσω του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI) .

Πιο συγκεκριμένα, σκοπός της είναι η διερεύνηση και έρευνα σε βάθος των παραγόντων που συνετέλεσαν σε αυτή την αλλαγή, του μεγέθους των αλλαγών καθώς και των συνεπειών που απορρέουν. Η καταγραφή αυτή των αλλαγών της βλάστησης, των χρήσεων και της κάλυψης γης ολοκληρώθηκε με την παράλληλη συνεισφορά μιας πληθώρας δορυφορικών εικόνων και του προγράμματος εδαφικής κάλυψης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Corine 2000 (CORINE Land Cover project). Ο συνδυασμός των δεδομένων του προγράμματος Corine 2000 με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση των δορυφορικών εικόνων της υπό μελέτη περιοχής και η χρήση στοιχείων από διαφορετικές πηγές αποτέλεσαν ένα σημαντικό και χρήσιμο εργαλείο για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις αλλαγές στις χρήσεις / κάλυψη γης και του φυσικού περιβάλλοντος της συγκεκριμένης περιοχής καθώς και για το βαθμό εξάρτησης της τοπικής βλάστησης από συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως το υψόμετρο, η θερμοκρασία, η βροχόπτωση κ.α.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα αποτελεί προστατευόμενη φυσική περιοχή με ιδιαίτερο φυσικό κάλλος και χαρακτηριστικά (χερσαία και υδάτινα), ανήκει στο δίκτυο NATURA 2000 και χαρακτηρίζεται από έντονη τουριστική ανάπτυξη και περιβαλλοντική αξιοποίηση.

Η συγκεκριμένη περιοχή συμπίπτει με την υδρολογική λεκάνη της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα, βρίσκεται στην ορεινή περιοχή των Αγράφων (Ν. Πίνδος) και περιλαμβάνει την τεχνητή λίμνη Ν. Πλαστήρα και τα χερσαία οικοσυστήματα περιμετρικά της λίμνης (Δ. Νεβρόπολης, Δ. Πλαστήρα).

Η Τεχνητή Λίμνη του «Ν. Πλαστήρα» δημιουργήθηκε το 1957 από τη ΔΕΗ με την κατασκευή τοξωτού φράγματος στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ταυρωπού, ο οποίος συμβάλλει με τον Αχελώο στον Άνω ρου του. Το φράγμα αυτό, το οποίο βρίσκεται κοντά στον οικισμό Μούχα της κοινότητας Καστανιάς, έχει ύψος 83,50 m, μήκος στέψης 188,00 m και στέψη στο υψόμετρο +795,20 m. Το σχήμα της λίμνης είναι επίμηκες με κατεύθυνση βορά-νότο με μέγιστο μήκος 14 Km και πλάτος 4 Km περίπου (Δημητρίου κ άλλοι, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, 2009).

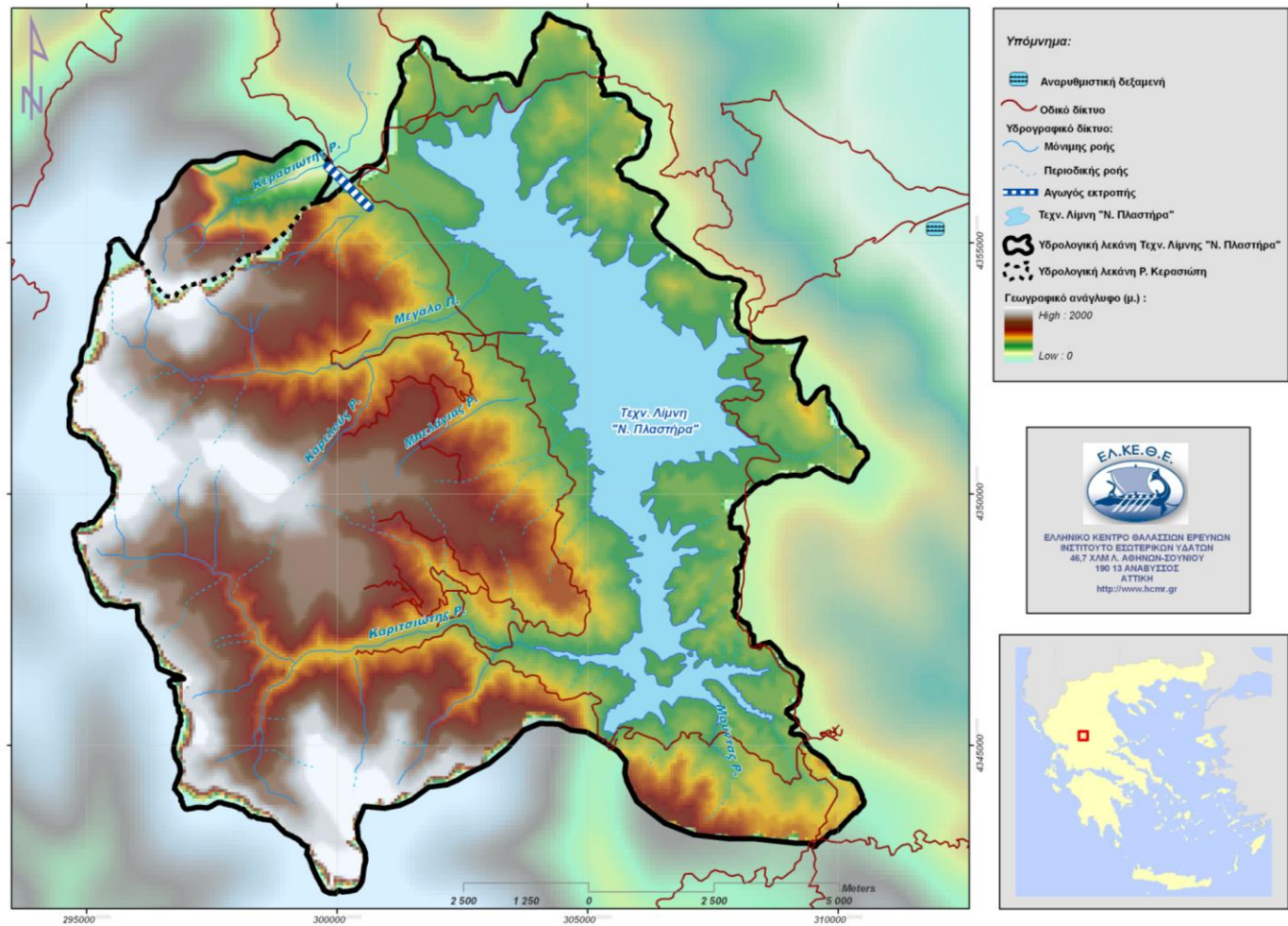
Η ανώτατη στάθμη λειτουργίας (Α.Σ.Λ.) της τεχνητής λίμνης βρίσκεται σε υπερθαλάσσιο ύψος 792,00 m. Η επιφάνειά της ανέρχεται σε 25,20 km², η δε επιφάνεια της λεκάνης απορροής που την τροφοδοτεί, φθάνει τα ~167 km². Συνεπώς η λιμναία επιφάνεια αποτελεί το 15,1 % της λεκάνης τροφοδοσίας της, γεγονός σπάνιο για τέτοια έργα. Η συνολική χωρητικότητα του ταμιευτήρα ανέρχεται σε 400.000.000 m³. Το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο «Ν. Πλαστήρα» βρίσκεται στην περιοχή Μοσχάτου. Η συνολική μέση ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανέρχεται περίπου σε 190 GWh και καλύπτει ανάγκες του εθνικού δικτύου που προκύπτουν σε ώρες αιχμής, όπως όλα τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Το νερό της λίμνης, αφού χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας στο εργοστάσιο, διοχετεύεται για την κάλυψη αναγκών ύδρευσης και άρδευσης στο Ν. Καρδίτσας (ΕΠΕΜ, 2001).

2.1 Τοπογραφία της περιοχής μελέτης

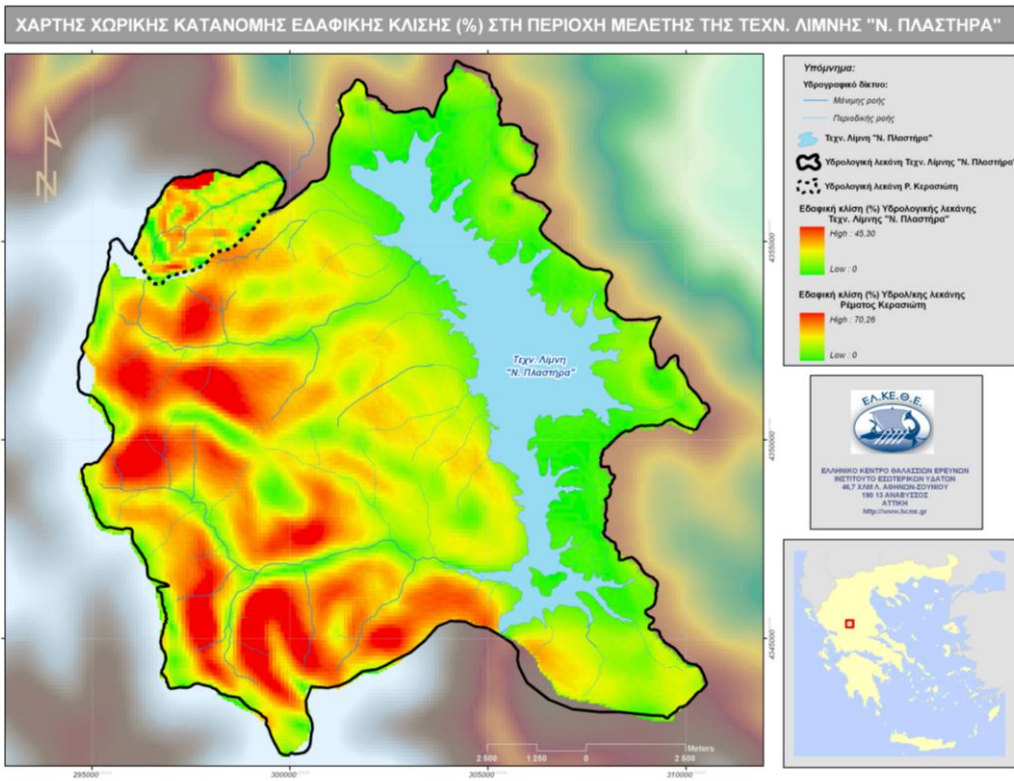
Η υδρολογική λεκάνη της Τεχν. Λ. Πλαστήρα (εικόνα 1) έχει συνολική έκταση 167 km². Το τοπογραφικό ανάγλυφο στην ευρύτερη υδρολογική λεκάνη φθάνει τα 2.131 m με μέσο υψόμετρο τα 1.121 m και μέση κλίση 17%. Οι υψομετρικές διαφορές (μέγιστο – ελάχιστο υψόμετρο) είναι περιορισμένες λόγω του σημαντικού υψομέτρου στη θέση κατασκευής του φράγματος με υψόμετρο στέψης 795,20 m. Όλες οι λεκάνες των ρεμάτων έχουν σαφώς ορεινή διαμόρφωση και χαρακτηρίζονται από σημαντικές κλίσεις (Δημητρίου κ άλλοι, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, 2009).

Σημειώνεται ότι στον Ταμιευτήρα συμβάλλουν, από το έτος 2001, και τα νερά της λεκάνης απορροής του Ρ. Κερασιώτη, μέσω σήραγγας εκτροπής. Η έκτασή της είναι 7,3 km² και ο συνολικός όγκος των εκτρεπόμενων νερών ανέρχεται περίπου σε 7,5 x 10⁶ m³ (σύμφωνα με το Έργο: «Εμπλουτισμός Ταμιευτήρα “Ν. Πλαστήρα” με εκτροπή Ρ. Κερασιώτη»). Στη συνέχεια ακολουθεί και ο χάρτης κλίσεων στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα, ο οποίος προέκυψε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (εικόνα 2).

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΕΧΝ. ΛΙΜΝΗΣ "Ν. ΠΛΑΣΤΗΡΑ"



Εικόνα 1: Τοπογραφικός χάρτης υδρολογικής λεκάνης Τεχν. Λ. «Ν. Πλαστήρα» (Δημητρίου κ άλλοι, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, 2009).



Εικόνα 2: Χάρτης κλίσεων στην υδρολογική λεκάνη της Τεχν. Λ. «Ν. Πλαστήρα» (Δημητρίου κ άλλοι, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, 2009)

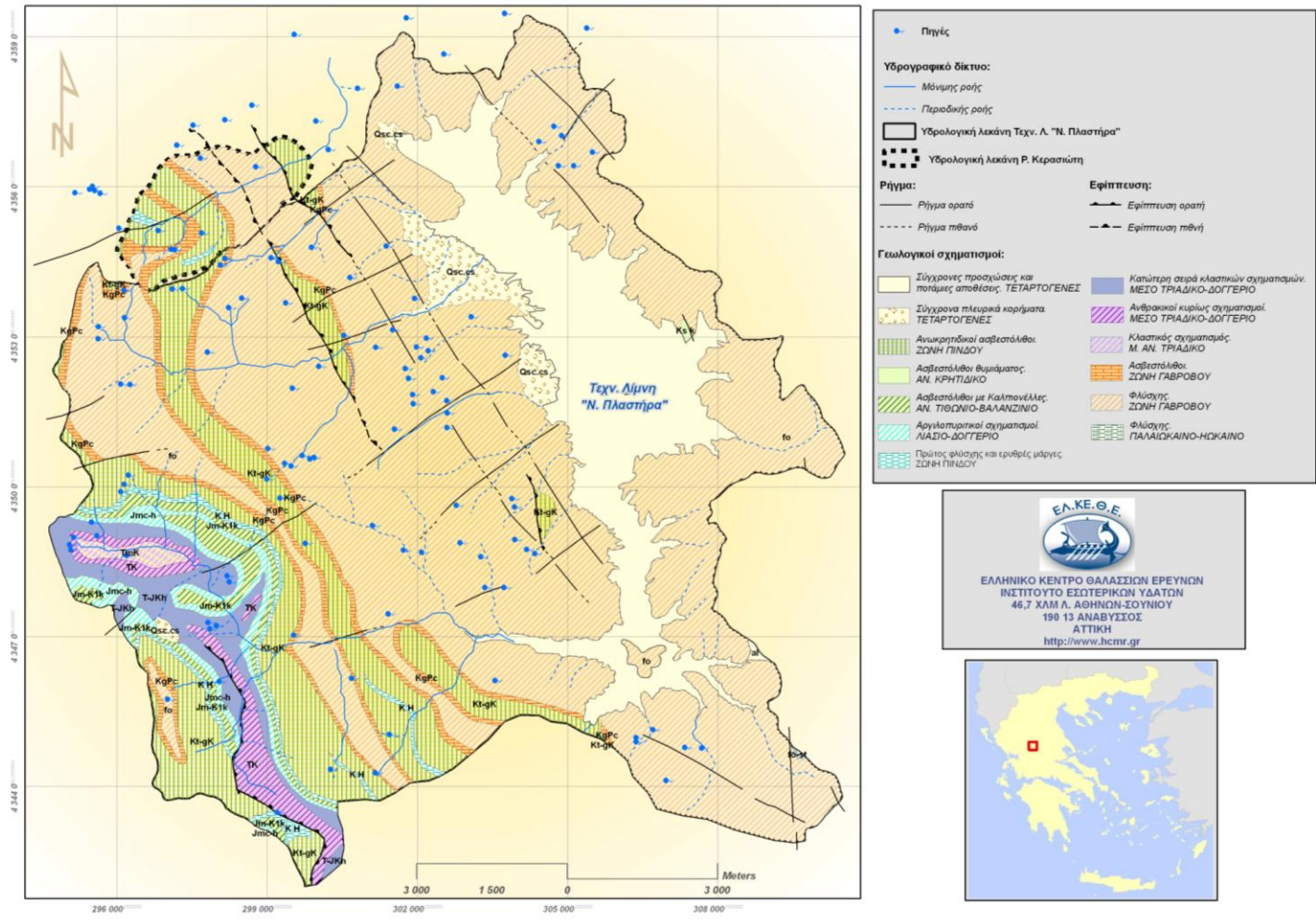
2.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3 και στους Πίνακες 1 και 2, όπου παρουσιάζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που καλύπτουν την υδρολογική λεκάνη Τεχν. Λ. «Ν. Πλαστήρα», το 61% της λεκάνης καλύπτεται από αδιαπέρατα μεταμορφωμένα και πλουτώνεια/ηφαιστειακά πετρώματα, το 23% από ασβεστολιθικά πετρώματα και το υπόλοιπο 16% από κοκκώδεις προσχωματικές, μολασσικές και και μη αποθέσεις (Δημητρίου κ άλλοι, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, 2009).

Πίνακας 1: Έκταση των γεωλογικών σχηματισμών στην υδρολογική λεκάνη Τεχν. Λ. «Ν. Πλαστήρα».

Γεωλογικοί Σχηματισμοί	Κωδικός φύλλου ΙΓΜΕ	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%) έκτασης στην υδρολογική λεκάνη
Ασβεστόλιθοι. ΖΩΝΗ ΓΑΒΡΟΒΟΥ	KgPc	5.8	3.5
Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι. ΖΩΝΗ ΠΙΝΔΟΥ	Kt-gK	19.7	11.9
Ασβεστόλιθοι με Καλπιοπέλλες. ΑΝ. ΤΙΘΩΝΙΟ-ΒΑΛΑΝΖΙΝΙΟ	Jm-K1k	2.8	1.7
Κατώτερη σειρά κλαστικών σχηματισμών. ΜΕΣΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΔΟΓΓΕΡΙΟ	T-JKh	4.9	3.0
Αργιλοπηριτικοί σχηματισμοί. ΛΙΑΣΙΟ-ΔΟΓΓΕΡΙΟ	Jmc-h	3.0	1.8
Σύγχρονα πλευρικά κορήματα. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ	Qsc.cs	3.6	2.2
Πρώτος Φλύσσης και ερυθρές μάργες. ΖΩΝΗ ΠΙΝΔΟΥ	K H	1.9	1.1
Κλαστικός σχηματισμός. Μ. ΑΝ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ	TmK	0.7	0.4
Ανθρακικοί κυρίως σχηματισμοί. ΜΕΣΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΔΟΓΓΕΡΙΟ	TK	3.3	2.0
Σύγχρονες προσχώσεις και ποτάμιες αποθέσεις. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ	al	23.3	14.1
Ασβεστόλιθοι θυμιάματος. ΑΝ. ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ	Ks k	0.1	0.06
Φλύσσης. ΖΩΝΗ ΓΑΒΡΟΒΟΥ	fo	96.1	58.1
Φλύσσης. ΠΑΛΑΙΩΚΑΙΝΟ-ΗΩΚΑΙΝΟ	fo-st	0.04	0.02
Σύνολο:		165.2	100.0

ΧΑΡΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΥΔΡΟΛ. ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΕΧΝ. Λ. "Ν. ΠΛΑΣΤΗΡΑ"



Εικόνα 3: Γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης Τεχν. Λ. «Ν. Πλαστήρα» (Δημητρίου κ άλλοι, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, 2009).

Πίνακας 2: Έκταση των υδρολιθολογικών σχηματισμών στην υδρολογική λεκάνη Τεχν. Λ. «Ν. Πλαστήρα».

Γεωλογικοί Σχηματισμοί	Έκταση (km²)	Ποσοστό (%) έκτασης στην υδρολογική λεκάνη
Ασβεστόλιθοι. Γεωλογικοί σχηματισμοί μεγάλης υδατοπερατότητας.	37.3	22.6
Προσχώσεις, ποτάμιες αποθέσεις και κορήματα. Γεωλογικοί σχηματισμοί μέσης προς μεγάλη υδατοπερατότητας.	26.9	16.3
Φλύσχεις. Αδιαπέρατοι σχηματισμοί ή γεωλογικοί σχηματισμοί μικρής υδατοπερατότητας.	100.9	61.1
Σύνολο:	165.2	100.0

3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΑΚΕΤΑ

3.1 Πηγές Δεδομένων

Για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα:

1. Δορυφορικές εικόνες

Για την παραγωγή των χαρτών βλάστησης NDVI και των χαρτών χρήσεων γης χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες Landsat 5, Landsat 7 και SPOT 5 οι οποίες αποκτήθηκαν από τον ιστότοπο <http://usgs.gov/EarthExplorer>. Τα αρχικά USGS αποτελούν αρχικά των λέξεων United States Geological Survey και ουσιαστικά πρόκειται για έναν οργανισμό, ο οποίος σε συνεργασία με τη NASA και το USDA (U.S. Department of Agriculture) προμηθεύει την επιστημονική κοινότητα και όχι μόνο με τηλεπισκοπικά δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, η επιλογή των δορυφορικών εικόνων έγινε με βάση την ημερομηνία λήψης τους τους ώστε να καλύπτουν την καλοκαιρινή περίοδο κατά την οποία στην περιοχή μελέτης, η βλάστηση είναι εντονότερη και είναι οι: 08/1984, 08/1985 και 07/1989 (Landsat 7), 08/1990, 08/2003, 08/1987, 07/2009 και 06/2007 (Landsat 5) και 07/2002 (SPOT 5). Στους πίνακες που ακολουθούν (πίνακας 3, 4, 5, 6), δίνονται σε γενικές γραμμές κάποια βασικά χαρακτηριστικά των δορυφόρων από τους οποίους προμηθευτήκαμε τα παραπάνω δεδομένα ανάλογα με τις ανάγκες μας.

Πίνακας 3: Φασματικά κανάλια του δορυφόρου LANDSAT και η χωρική τους ανάλυση.

LANDSAT		
Band Number	Sprectral Bands	Ground Resolution
1 (blue)	0.45-0.52 μm	30m
2 (green)	0.52-0.60 μm	30m
3 (red)	0.63-0.69 μm	30m
4 (NIR)	0.76-0.90 μm	30m
5(MID-IR)	1.55-1.77 μm	30m
6 (THERMAL-IR)	10.40-12.50 μm	60m
7 (MID-IR)	2.09-2.35 μm	30m
8 (PAN)	0.52-0.90 μm	15m

Πίνακας 4: Τεχνικά χαρακτηριστικά των δορυφόρων Landsat 5 και Landsat 7

Landsat 5	
Ημερομηνία εκτόξευσης	1 Μαρτίου 1984
Αισθητήρες	TM, MSS
Ύψος τροχιάς	705 km
Κλίση	98,2 ⁰
Τροχιά	Πολική, ηλιακά συγχρονισμένη
Χρονική στιγμή περάσματος από τον Ισημερινό	9:45 am (±15 min)
Περίοδος περιστροφής	99 min, περίπου 14,5 τροχιές/ημέρα
Επαναληψιμότητα κάλυψης	16 ημέρες
Landsat 7	
Ημερομηνία εκτόξευσης	15 Απριλίου 1999
Αισθητήρες	ETM+
Ύψος τροχιάς	705 km
Κλίση	98,2 ⁰
Τροχιά	Πολική, ηλιακά συγχρονισμένη
Χρονική στιγμή περάσματος από τον Ισημερινό	10:00 am (±15 min)
Περίοδος περιστροφής	99 min, περίπου 14,5 τροχιές/ημέρα
Επαναληψιμότητα κάλυψης	16 ημέρες

Πίνακας 5: Φασματικά κανάλια του δορυφόρου SPOT 5 και η χωρική τους ανάλυση

SPOT 5		
Band Number	Sprectral Bands	Ground Resolution
Panchromatic	0.48-0.71 μm	2.5 ή 5 m
B1:green	0.50-0.59 μm	10m
B2:red	0.61-0.68 μm	10m
B3:NIR	0.78-0.89 μm	10m
B4:MID-IR	1.58-1.75 μm	20m

Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου SPOT-5

SPOT 5	
Ημερομηνία εκτόξευσης	3 Μαΐου 2002
Ύψος τροχιάς	822 km
Κλίση	98.7°
Τροχιά	Ηλιακά συγχρονισμένη
Χρονική στιγμή περάσματος από τον Ισημερινό	10:30 AM
Περίοδος περιστροφής	101.4 min
Χρόνος περάσματος από το ίδιο σημείο	2-3 ημέρες, εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος

2. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Δημητρίου κ άλλοι, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, 2009)
3. Γεωλογικός Χάρτης (Δημητρίου κ άλλοι, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, 2009)
4. Δεδομένα του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Εδαφικής Κάλυψης CORINE 2000 (CORINE land cover project)

Το πρόγραμμα Corine αποτελεί ένα πρόγραμμα εντοπισμού, καταγραφής και χαρτογραφικής απεικόνισης της εδαφικής κάλυψης της γης και στόχος του είναι η παροχή πληροφοριών για την κάλυψη και τις χρήσεις γης των χωρών που συμμετέχουν στο πρόγραμμα, προκειμένου αυτές να χρησιμοποιηθούν για την ορθότερη διαχείριση του περιβάλλοντος.

5. Μετεωρολογικά – Κλιματολογικά Στοιχεία

Όσον αφορά τη θερμοκρασία, τα δεδομένα ανακτήθηκαν από το σταθμό του φράγματος Ταυρωπού ο οποίος ανήκει στη ΔΕΗ, με τη μορφή μηνιαίων τιμών όλων των ετών ενδιαφέροντος (1984-2009). Τα δεδομένα βροχόπτωσης ανακτήθηκαν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς Καρίτσας, Μορφοβουνίου, Μούχας, Μπεζούλας, και Φράγματος Ταυρωπού. Περαιτέρω στοιχεία για τους βροχομετρικούς σταθμούς αναφέρονται στον πίνακα 7 που ακολουθεί (Δημητρίου κ άλλοι, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, 2009).

Πίνακας 7: Συντεταγμένες και υψόμετρο βροχομετρικών σταθμών.

Όνομα βροχομετρικού σταθμού	Φορέας	Συντεταγμένη Χ ΕΓΣΑ87	Συντεταγμένη Υ ΕΓΣΑ87	Υψόμετρο εδάφους (m)
ΚΑΡΙΤΣΑ	ΥΠΕΧΩΔΕ	302743	4347559	900
ΜΟΡΦΟΒΟΥΝΙ	ΥΠΓΕ	305915	4357630	780
ΜΟΥΧΑ	ΔΕΗ	306988	4344652	870
ΜΠΕΖΟΥΛΑ	ΥΠΕΧΩΔΕ	302639	4352821	901
ΤΑΥΡΩΠΟΣ	ΔΕΗ	310179	4355674	220
ΦΡΑΓΜΑ ΤΑΥΡΩΠΟΥ	ΔΕΗ	304870	4344724	850

Σχετικά με την εξαμυσοδιαπνοή, οι τιμές που ανακτήθηκαν από την τεχνική έκθεση με τίτλο «Περιβαλλοντική παρακολούθηση Ταμιευτήρα Ν. Πλαστήρα» (Δημητρίου κ άλλοι, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε, 2009), ήταν ημερήσιες, μετρημένες σε mm/d.

3.2 Λογισμικά

Η ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση των δορυφορικών εικόνων αρχικά έγινε με Τηλεπισκοπικές μεθόδους και κατόπιν σημειώθηκε η εισαγωγή τους στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Με τη μέθοδο αυτή επιτεύχθηκε η ενσωμάτωση των δεδομένων αυτών με τα δεδομένα του προγράμματος Corine. Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων του Ευρωπαϊκού προγράμματος CORINE, καθώς επίσης και η εισαγωγή των Τηλεπισκοπικών εικόνων στο περιβάλλον των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, έγινε με το λογισμικό ArcMap 9.3 του ArcGIS. Τα δεδομένα των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων μπορούν να θεωρηθούν ως ένα θεματικό επίπεδο από pixel (εικονοστοιχεία). Επομένως, τα πολυφασματικά δεδομένα μπορούν να αποτελέσουν θεματικά επίπεδα ενός Geographic Information System (GIS), τα οποία “υπερτίθενται” (overlay) πάνω σε άλλα υπάρχοντα επίπεδα του GIS, που δημιουργήθηκαν από υπάρχοντες χάρτες ή προήλθαν από μετατροπή άλλων υφιστάμενων ψηφιακών αρχείων.

Οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις της περιοχής μας ελήφθησαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, προσαρμόστηκαν στην ίδια χαρτογραφική προβολή, σύστημα συντεταγμένων και μέγεθος pixel και, επομένως, δημιούργησαν ένα καινούργιο

επίπεδο GIS, που “υπερτίθεται” σε άλλα υπάρχοντα. Χαρτογραφικά επίπεδα σε ταξινομημένη ψηφιδωτή (raster) μορφή όπως προβάλλονται η βλάστηση και οι χρήσεις γης της εκάστοτε χρονολογίας, μπορούν να ενταχθούν και να επεξεργαστούν στο ίδιο σύστημα, αρκεί η γεωμετρία και αναφορά στο χάρτη να είναι η ίδια με την αντίστοιχη, που χρησιμοποιείται εκείνη τη στιγμή στο σύστημα.

Η ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση των δορυφορικών εικόνων LANDSAT 5, LANDSAT 7 και SPOT 5 έγινε με Τηλεπισκοπικές μεθόδους και πιο συγκεκριμένα με το λογισμικό ENVI 4.7. Το πρόγραμμα ENVI 4.7 αποτελεί ένα από τα πλέον διαδεδομένα πακέτα λογισμικού επεξεργασίας τηλεπισκοπικών δεδομένων με ένα σύνολο εργαλείων τα οποία συμβάλλουν στην ολοκλήρωση GIS δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, στο πρόγραμμα ENVI 4.7 υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής μαθηματικής εξίσωσης και ο υπολογισμός της με μόνη προϋπόθεση να περικλείεται μία τουλάχιστον δορυφορική μπάντα. Με τη βοήθεια αυτού αποκόπηκαν οι δορυφορικές εικόνες στα επιθυμητά όρια, ενώθηκαν οι δορυφορικές μπάντες σε ένα ενιαίο layer (layer stacking) και αποθηκεύτηκαν με μορφή εικόνας (.tiff, .geotiff). Με αυτή τη μορφή αποθηκεύτηκαν επίσης οι χάρτες χρήσεων γης που προέκυψαν από την ταξινόμηση και οι χάρτες βλάστησης που παρήχθησαν από το πακέτο.

Η γεωαναφορά των δορυφορικών εικόνων έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού Beam 4.7, πακέτο που χρησιμοποιείται ευρέως για την εφαρμογή χαρτογραφικών προβολών. Η στατιστική επεξεργασία και η εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου Statistica 7.

3.3 Προβολικό Σύστημα

Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87). Οι δορυφορικές εικόνες ήταν γεωαναφερμένες στο παγκόσμιο δορυφορικό γεωδαιτικό σύστημα WGS84 και έγινε μετατροπή των συντεταγμένων τους σύμφωνα με το προαναφερθέν (ΕΓΣΑ87) προκειμένου να βρίσκονται σε ένα ενιαίο προβολικό σύστημα με τα υπόλοιπα δεδομένα που ανακτήθηκαν και να γίνει ευκολότερα η επεξεργασία, η ανάλυση και η παρουσίαση

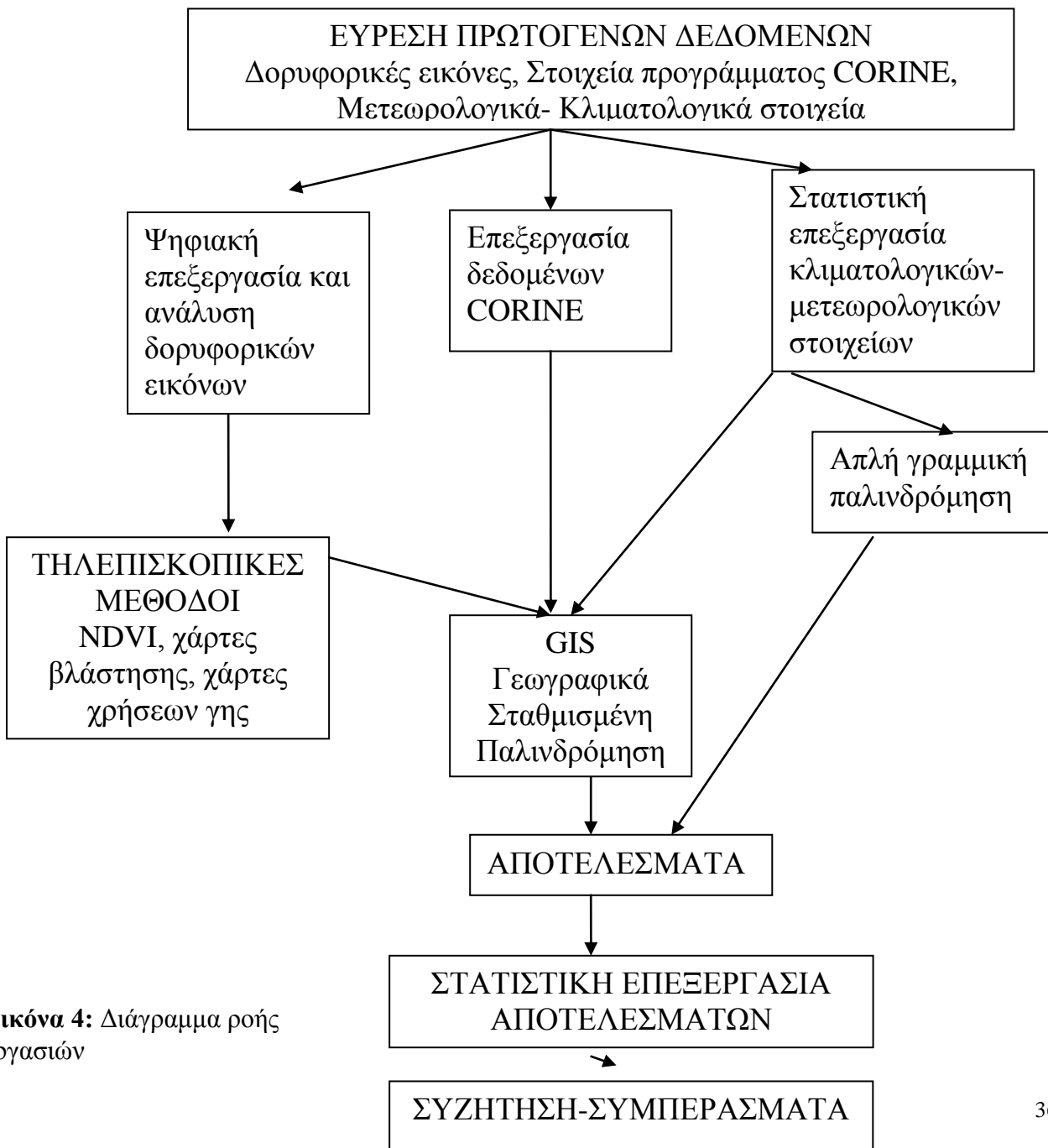
τους. Κάποια από τα χαρακτηριστικά του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς έχουν συνοψιστεί στον ακόλουθο πίνακα 8.

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87).

Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (Datum)	Ε.Γ.Σ.Α. 87 με αφετηρία το γεώκεντρο, βάθρο Διονύσου
Ελλειψοειδές αναφοράς	GRS'80
Μεγάλος ημιάξονας ελλειψοειδούς a	6378137.000m
Επιπλάτυνση ελλειψοειδούς (1/f)	1/298.25722101
Συντελεστής κλίμακας K ₀	0.9996

3.4 Διάγραμμα Ροής

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη εμπεριέχει το συνδυασμό των τηλεπισκοπικών μεθόδων φωτοερμηνείας και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με σκοπό αφενός την ανίχνευση των μεταβολών της βλάστησης και των χρήσεων γης στην υδρολογική λεκάνη της τεχνητής λίμνης Ν. Πλαστήρα και αφετέρου τη διερεύνηση των περιβαλλοντικών παραγόντων που έχουν επιδράσει σε αυτές τις μεταβολές μέσω της απλής γραμμικής και της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης. Στη συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα ροής (εικόνα 4) των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της μεταπτυχιακής εργασίας.



Εικόνα 4: Διάγραμμα ροής εργασιών

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Αποτύπωση χρήσεων γης με μεθόδους Τηλεπισκόπησης

Στην πράξη χρησιμοποιούμε τα επιτεύγματα της τηλεπισκόπησης τόσο στην καθημερινή μας ζωή όσο και σε πολύ εξειδικευμένα πεδία επιστημών. Η παρατήρηση της γης με μεθόδους τηλεματικής δίνει την δυνατότητα, εκτός από μετρήσεις περιβαλλοντικών παραμέτρων, να αποτυπώνονται οι χωροχρονικές μεταβολές στους φυσικούς πόρους, που οφείλονται σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις αλλά και σε εποχικές διακυμάνσεις (CEOS, 2003).

Οι δορυφορικές εικόνες, σε συνδυασμό με τα κατάλληλα προγράμματα λογισμικού έχουν την δυνατότητα να δημιουργήσουν γρήγορα και αξιόπιστα χάρτες χρήσεων γης σε ποικιλία χωρικών και χρονικών κλιμάκων. Η ανάλυση της χωρικής κατανομής της εδαφικής κάλυψης σε διάφορες χρονικές περιόδους αναλύεται μέσω τηλεπισκοπικών εικόνων. Συγκρίνοντας τη συμβατική έρευνα πεδίου, οι πληροφορίες που προκύπτουν από την τηλεπισκόπηση όχι μόνο εξοικονομεί χρόνο αλλά αυξάνει την πιθανότητα κατηγοριοποίησης της φυτοκάλυψης μέσω φασματικών και χαρακτηριστικών αναλύσεων (Pozdnyakova et al., 2002; Vasconcelos et al., 2002; Kokaly et al., 2003; Roberts et al., 2003). Από αυτή την άποψη, οι τηλεπισκοπικές εικόνες υπερτερούν έναντι των μετρήσεων πεδίου και χρησιμοποιούνται συνήθως στην αποτύπωση μακροπρόθεσμων περιβαλλοντικών αλλαγών (Coulibaly and Goïta, 2006; Green et al., 1998) πάντα σε συνδυασμό με τα ΓΠΣ με στόχο τη δημιουργία πολύτιμων βάσεων δεδομένων (Lehner and Doll, 2004).

Έχουν αναπτυχθεί ποικίλες μέθοδοι ανίχνευσης μεταβολών οι οποίες χρησιμοποιούν τηλεπισκοπικά δεδομένα (Singh, 1989) και κατηγοριοποιούνται στις ακόλουθες ομάδες: η πιο απλή μέθοδος είναι αυτή της διαφοράς δύο εικόνων, κατά την οποία αφαιρείται η μία εικόνα από την άλλη (Weismiller, Kristof, Scholz, Anuta, & Momin, 1977), ο λόγος εικόνων, κατά την οποία υπολογίζονται λόγοι δορυφορικών μπαντών διαφορετικών ημερομηνιών (Howarth & Wickware 1981), ανάλυση διανυσματικής μεταβολής, κατά την οποία δημιουργούνται διανύσματα διαφορετικού μήκους και κατεύθυνσης ανάλογα με τη μεταβολή (e.g. Malila 1980), σύγκριση ταξινόμησης, κατά την οποία συγκρίνονται ταξινομήσεις διαφορετικών ημερομηνιών (Howarth & Wickware 1981) και τέλος μετατροπές εικόνας π.χ μέσω του υπολογισμού της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών (principal component

analysis) διαφορετικών εικόνων έτσι ώστε να διαχωριστεί η κοινή πληροφορία σε διαφορετικές δορυφορικές μπάντες (Byrne et al. 1980). Υπάρχουν διάφορες τεχνικές και αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται ευρέως, προκειμένου να ανακτηθούν πληροφορίες χρήσεων γης από τηλεματικά δεδομένα, αλλά οι περισσότερες από αυτές βασίζονται στην αρχή της Πολυφασματικής Ταξινόμησης των δεδομένων.

4.1.1 Αλγόριθμοι ταξινόμησης χρήσεων γης δορυφορικών εικόνων

Για την παραγωγή θεματικών χαρτών χρήσεων γης στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα, χρησιμοποιήθηκαν όπως έχει ήδη προαναφερθεί 9 δορυφορικές εικόνες. Κύριο στόχο αποτελεί η ταξινόμηση αυτών έτσι ώστε να ανιχνευτούν οι αλλαγές που έλαβαν χώρα κατά τη χρονική περίοδο 1984-2009. Η ανάλυση και ταξινόμηση των δορυφορικών δεδομένων σε επιμέρους εκτάσεις, που παρουσιάζουν διαφορετικές φασματικές υπογραφές και επομένως αναπαριστούν εκτάσεις με διαφορετικές χρήσεις γης, πραγματοποιείται μέσω δύο προσεγγίσεων: α) της ελεγχόμενης και β) της αυτόματης ταξινόμησης των κατηγοριών χρήσης γης.

Η ελεγχόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιείται όταν ήδη υπάρχουν λεπτομερείς πληροφορίες για τις χρήσεις γης της υπό μελέτης περιοχής, μέσω χαρτών και εργασιών πεδίου και εφαρμόζεται συνήθως σε σχετικά μικρής έκτασης περιοχές. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, διερευνάται η δορυφορική εικόνα από τον ειδικό επιστήμονα, προκειμένου να βρεθούν και να επιλεγούν εκτάσεις που έχουν γνωστές χρήσεις γης, ώστε να αποτυπωθούν οι φασματικές υπογραφές τους και να τροφοδοτηθούν σε υπολογιστικό αλγόριθμο που θα ανιχνεύσει την εικόνα για να βρει και να καταγράψει όλες τις περιοχές που παρουσιάζουν ίδιες ή παραπλήσιες φασματικές υπογραφές. Ο κεντρικός στόχος αυτής της ταξινόμησης είναι να κατηγοριοποιήσει αυτόματα όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας σε κλάσεις χρήσεων γης ή σε θέματα (Lillesand & Kiefer, 1994). Οι εκτάσεις που ανευρίσκονται με αυτό το κριτήριο, κατατάσσονται στην ίδια κατηγορία χρήσης γης και η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου να κατηγοριοποιηθούν όλες οι εκτάσεις στην δορυφορική εικόνα. Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης προσέγγισης, είναι ότι απαιτεί λεπτομερή και ακριβή γνώση της περιοχής μελέτης και ότι χρειάζεται σημαντική χρονική

περίοδο για την ολοκλήρωση του χάρτη χρήσεων γης, ενώ το πλεονέκτημά της είναι ότι παρέχει σημαντική ακρίβεια και αξιοπιστία.

Στην αυτόματη ταξινόμηση δεν απαιτείται ιδιαίτερη γνώση του υπάρχοντος καθεστώτος χρήσεως γης εκ των προτέρων, διότι η ταξινόμηση των διάφορων περιοχών της δορυφορικής εικόνας γίνεται με χρήση υπολογιστικών αλγορίθμων που ομαδοποιούν αυτόματα τις εν λόγω περιοχές, ανάλογα με τις φασματικές τους υπογραφές. Έτσι, το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι ένας χάρτης με συγκεκριμένο αριθμό κατηγοριών χρήσεων γης, που έχει προαποφασισθεί και εναπομένει στον επιστήμονα να ονοματίσει την κάθε κατηγορία, μέσω κυρίως επιτόπιων επισκέψεων στην περιοχή μελέτης. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης, είναι ότι παρέχει άμεσα και εύκολα αποτελέσματα σε διάφορες χωρικές κλίμακες, αλλά υστερεί σε ακρίβεια και αξιοπιστία.

Τέλος, υπάρχει και η υβριδική ταξινόμηση, στην οποία συνδυάζονται οι δύο προαναφερθείσες προσεγγίσεις, προκειμένου να εκμεταλλευθούν τα πλεονεκτήματα τους και να διατηρηθεί η ακρίβεια του αποτελέσματος σε επιθυμητά επίπεδα. Έτσι, πραγματοποιείται αυτόματη ταξινόμηση, στην οποία όμως προϋπάρχει γνώση των χρήσεων γης της περιοχής μελέτης και ενσωματώνεται στην διαδικασία με τον ακριβή ορισμό των κατηγοριών χρήσεων γης και με την σύγκριση και διόρθωση των αποτελεσμάτων από ήδη υπάρχοντα σχετικά στοιχεία και χάρτες.

Στην συγκεκριμένη μελέτη, θα χρησιμοποιηθεί η υβριδική προσέγγιση για την δημιουργία του χάρτη χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Πλαστήρα, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το αποτέλεσμα και να συγκριθεί με τα ήδη υπάρχοντα σχετικά δεδομένα.

Έτσι, στην προκειμένη περίπτωση για το πρώτο στάδιο κατηγοριοποίησης των χρήσεων γης χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος αυτόματης ταξινόμησης δορυφορικών δεδομένων. Για το στάδιο της ελεγχόμενης ταξινόμησης υπήρχαν στη διάθεσή μας το πρόγραμμα Corine (COoRdination of INformation on the Environment) 2000 (ευρωπαϊκός κατάλογος με πληροφορίες για τη χρήση/ κάλυψη γης) καθώς και δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου Ikonos, ημερομηνίας 6/2007 οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλή διακριτική ικανότητα (1m στα παγχρωματικά, 4m στα πολυφασματικά) με αποτέλεσμα να είναι εφικτή η διαπίστωση των χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης μας. Όσον αφορά τον αλγόριθμο αυτόματης (μη επιβλεπόμενης) ταξινόμησης, το λογισμικό ENVI 4.7 προσφέρει ως επιλογές τους ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) και K-MEANS

αλγόριθμους οι οποίοι έχουν περιορισμένα δεδομένα εισόδου (στον αλγόριθμο K-MEANS ακόμα περισσότερο), ανιχνεύουν τις φασματικές υπογραφές της εικόνας και κατατάσσουν κάθε μοναδιαία περιοχή (pixel) στις τάξεις που έχουν δημιουργηθεί. Μια διαδικασία η οποία επαναλαμβάνεται όσες φορές οριστεί από το χειριστή του λογισμικού με στόχο τη μείωση του τετραγώνου της απόστασης κάθε pixel από τον στατιστικό μέσο της αντίστοιχης τάξης. Ο αλγόριθμος ISODATA είναι όμοιος με τον K-MEANS με ειδοποιό διαφορά ότι ο πρώτος επιτρέπει διαφορετικά πλήθη χρήσεων γης ενώ ο δεύτερος προϋποθέτει την εκ των προτέρων γνώση του πλήθους των κλάσεων χρήσης γης.

Ο ISODATA είναι μια επαναληπτική μέθοδος ταξινόμησης, που χρησιμοποιηθεί την Ευκλείδεια απόσταση ως μέτρο ομοιότητας για να θέσει τα δεδομένα σε διαφορετικές κλάσεις. Αποτελεί μια παραλλαγή του K-MEANS, και περιλαμβάνει μία διαδικασία για αναζήτηση του καλύτερου αριθμού συστάδων με βάση κάποιο κόστος εκτέλεσης.

Στόχος του είναι να διαχωρίσει ένα δοσμένο σύνολο διανυσμάτων των εικονοστοιχείων. Εφαρμόζοντας αυτή την τεχνική μπορεί να αποκαλυφθούν νέα δεδομένα τα οποία προηγουμένως δεν ήταν φανερά. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος στηρίζεται στον αλγόριθμο K-MEANS με επιπλέον heuristics (ευρετικές μεθόδους) τα οποία με τη σειρά τους καθορίζουν την κατάτμηση ή και τη συγχώνευση των κλάσεων (clusters). Ο αριθμός των τάξεων υποτίθεται ότι είναι γνωστός εκ των προτέρων, όμως δεν είναι γνωστή η στατιστική συμπεριφορά των τάξεων. Η διαμόρφωση του ISODATA clustering αλγορίθμου επιτυγχάνεται με τη χρήση της φασματικής γωνίας αντί της Ευκλείδειας απόστασης. Σύμφωνα με αυτή τη διαδικασία, το διάνυσμα του εικονοστοιχείου ταξινομείται στην κλάση i , αν η φασματική γωνία μεταξύ αυτού και του κέντρου βάρους της τάξης που μετριέται είναι το ελάχιστο σε σχέση με τα υπόλοιπα κέντρα βάρους των άλλων τάξεων. Έτσι, το κριτήριο της ελαχιστοποίησης των τετραγώνων της Ευκλείδειας απόστασης αντικαθίσταται από το κριτήριο της ελάχιστης τετραγωνικής φασματικής γωνίας.

Ο αλγόριθμος K-MEANS επιχειρεί ουσιαστικά να ελαχιστοποιήσει τη μέση τετραγωνική απόσταση των δεδομένων από τα πλησιέστερα κέντρα των συστάδων και μπορεί να θεωρηθεί ως αλγόριθμος τετραγωνικού σφάλματος.

Τα δεδομένα εισόδου που ζητούνται να εισαχθούν στον αλγόριθμο K-MEANS από το λογισμικό είναι τα εξής:

1) Προσδιορισμός του k (αριθμός ομάδων/κλάσεων),

- 2) Λήψη των αρχικών k αντιπροσωπευτικών δειγμάτων τυχαία
- 3) Επανάληψη: (α) Για κάθε pixel βρίσκει την απόστασή του από τις αντιπροσωπευτικές κλάσεις και θεωρεί ότι ανήκει στην ομάδα του κοντινότερου αντιπροσωπευτικού δείγματος (παρατηρείται ομοιότητα του κάθε pixel με το αντιπροσωπευτικό δείγμα κάθε ομάδας),
(β) Υπολογισμός των νέων αντιπροσωπευτικών δειγμάτων (κέντρα βάρους) των ομάδων (δηλ. ελαχιστοποιείται η εσωτερική ανομοιομορφία των ομάδων), μέχρι να μη γίνονται αλλαγές.

Ο λόγος που επιλέχθηκε ο K-MEANS ως ο βέλτιστος αλγόριθμος για την παρούσα εργασία είναι τα καλύτερα αποτελέσματα που παρήγαγε σε σχέση με τον ISODATA. Πιο συγκεκριμένα, ο διαχωρισμός των κλάσεων ήταν πιο ξεκάθαρος και η παρουσία ανάμιξης μεμονωμένων pixel διαφορετικών κλάσεων σε κάποιες περιοχές ήταν μικρότερη σε αντίθεση με την ταξινόμηση του ISODATA.

Η ταξινόμηση έδωσε ως αποτέλεσμα 9 θεματικούς χάρτες κάλυψης/χρήσης γης (έναν για κάθε χρονολογία), οι οποίοι εισήχθησαν στο ArcMap του ArcGIS 9.3 και μετατράπηκαν σε raster. Περαιτέρω έγινε επεξεργασία των κλάσεων με σκοπό να εξαλειφθούν κάποια μεμονωμένα pixels και να ενοποιηθούν κάποια άλλα με παρόμοιες ψηφιακές υπογραφές (π.χ. διαφορετικού είδους δάση). Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε η πιστοποίηση των αποτελεσμάτων με τη βοήθεια των προαναφερθέντων δεδομένων (Corine 2009, δορυφορικές εικόνες Ikonos) και δόθηκε από το χρήστη η ονοματολογία των κλάσεων χρήσεων γης. Στο τελικό στάδιο, ποσοτικοποιήθηκαν οι χρήσεις γης όσον αφορά τον υπολογισμό της έκτασής τους, των ποσοστών της έκτασης που καταλαμβάνουν στην υδρολογική λεκάνη και των διαχρονικών μεταβολών τους κατά τη διάρκεια της 25ετίας 1984-2009.

4.1.2 Μεταβολή χρήσεων γης

Κατά τον σχεδιασμό της διαδικασίας της ταξινόμησης, έγινε μία προσπάθεια διάκρισης συγκεκριμένων ειδών βλάστησης (Κωνοφόρα και Μεταβατικά δάση, δάση Πλατύφυλλων, λιβάδια, θαμνότοποι), πέραν των άλλων κλασικών τύπων κάλυψης (χέρσα γη, καλλιεργήσιμη και μη γη, οικιστικές και άγονες περιοχές), κάτι το οποίο παρουσίαζε σημαντικό ενδιαφέρον για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις αλλαγές των ειδών βλάστησης που έγιναν μέσα στη χρονική περίοδο 1984-2009.

Η ταξινόμηση της πρόσφατης εικόνας Landsat 5 (07/2009) προηγήθηκε λόγω της προϋπάρχουσας πληροφορίας από το πρόγραμμα Corine και τις δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου Ikonos, συνεπώς υπήρχε μία καλύτερη αντίληψη της πραγματικότητας, και στη συνέχεια ακολούθησε η ταξινόμηση των υπόλοιπων ημερομηνιών χρησιμοποιώντας κάθε φορά ως σύμβουλο την εκάστοτε πιο πρόσφατη ταξινόμηση. Οι μικρές εκτάσεις των αγροτεμαχίων, η συχνή εμφάνιση της βλάστησης σε άγονες περιοχές και η φασματική σύγχυση των κλάσεων μεταξύ τους, αποτελούν τους κύριους παράγοντες που δυσκόλεψαν την επίτευξη υψηλής ακρίβειας κατά την ταξινόμηση.

Για να γίνει εφικτή η καταγραφή των αλλαγών της κάλυψης/χρήσης γης ήταν απαραίτητη η δημιουργία συγκρίσιμων μεγεθών έτσι ώστε οι αλλαγές που θα καταγράφονταν να αντιστοιχούν στην πραγματικότητα και να μην είναι εσφαλμένες. Οι χάρτες χρήσεων γης που δημιουργήθηκαν περιλαμβάνουν τις κάτωθι 7 κατηγορίες χρήσεων γης: 1) Υδάτινο σώμα (λίμνη Πλαστήρα) , 2) Κωνοφόρα-Μεταβατικά δάση, 3) Χέρσα γη, 4) Δάση Πλατύφυλλων , 5) Καλλιεργήσιμη και μη γη , 6) Οικισμοί-Άγωνα και 7) Λιβάδια- Θαμνότοποι.

4.2 Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI) (Normalized Difference Vegetation Index)

Η ανίχνευση των διαχρονικών μεταβολών της βλάστησης αποτελεί μία τεχνική τηλεπισκόπησης και χρησιμοποιείται για να παρακολουθήσει και να χαρτογραφήσει τις αλλαγές της φυτοκάλυψης μεταξύ δύο ή περισσότερων χρονικών περιόδων (Rogan, Franklin, & Roberts, 2002). Η σημασία της χαρτογράφησης, ποσοτικοποίησης και παρακολούθησης των αλλαγών των φυσικών χαρακτηριστικών της βλάστησης και ιδιαίτερα των δασών έχει αποδειχθεί πολύ μεγάλη όσον αφορά τη μελέτη των παγκόσμιων αλλαγών (Nemani & Running, 1996).

Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται ευρέως ως δείκτες ανάλυσης των διακυμάνσεων της φυτοκάλυψης μιας περιοχής, μεταξύ της βλάστησης αυτής και άλλων παραγόντων (Ahl et al., 2004, Geerken et al., 2005, Liu and Kafatos, 2005, Ben-Ze'en et al., 2006, Koh et al., 2006, Morawitz et al., 2006, Tucker., 2005). Ο δείκτης NDVI θεωρείται βασικό εργαλείο παρακολούθησης των εποχιακών αλλαγών

της βλάστησης (Holben, 1986) και βασίζεται στις ιδιότητες ανάκλασης των περιοχών βλάστησης σε σύγκριση με τα σύννεφα, το νερό, το χιόνι από τη μία πλευρά, τους βράχους και τα γυμνά εδάφη από την άλλη. Οι περιοχές βλάστησης έχουν σχετικά υψηλή αντανάκλαση στο εγγύς υπέρυθρο και χαμηλή αντανάκλαση στο ορατό φάσμα του φάσματος. Τα σύννεφα, το νερό και το χιόνι έχουν μεγαλύτερη ανακλαστικότητα στο ορατό φάσμα απ' ό τι στο υπέρυθρο. Τα βράχια και το γυμνό έδαφος έχουν παρόμοια ανακλαστικότητα στις δύο φασματικές περιοχές (Cees & Farifteh, 2001). Τα τρία στοιχεία της βλάστησης που επηρεάζουν τη φασματική ποσότητα και ποιότητα της ηλιακής ανακλώμενης ακτινοβολίας που δέχονται οι δορυφόροι είναι η αφθονία, η σύνθεση και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται (Stow, 1995).

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI αποτελεί μία συνηθισμένη και απαραίτητη παράμετρο για την παρακολούθηση της βλάστησης σε περιοχές τοπικής αλλά και ευρείας κλίμακας και έχει αποδειχθεί πως είναι ένας σημαντικός και αποτελεσματικός δείκτης όσον αφορά το χαρακτηρισμό των ποικίλων ειδών της κάλυψης, της παραγωγικότητας, της βιομάζας και της οικοπεριβαλλοντικής ποιότητας. Συνήθως χρησιμοποιείται στην παρακολούθηση της φυτοκάλυψης (Carlson and Ripley 1997, Mynemi et al. 1997), στην οικολογική παρακολούθηση και την εκτίμηση της βιομάζας (Wessels et al. 2006), στην παρακολούθηση της παραγωγικότητας (Chen et al. 2004), στον υπολογισμό της γεωργικής παραγωγικότητας (Zhang et al. 2003, Tao et al. 2005), στην υποβάθμιση του εδάφους (Pei et al. 2008) καθώς και σε άλλες δραστηριότητες παρακολούθησης. Η κάλυψη της βλάστησης μπορεί να διαφοροποιείται από τα άλλα είδη εδαφοκάλυψης με το λόγο NIR (near infrared, εγγύς υπέρυθρο) / Red (κόκκινο). Όσο περισσότερη χλωροφύλλη υπάρχει στην επιφάνεια παρατήρησης, τόσο αυξάνεται η τιμή του δείκτη. Η τιμή του κυμαίνεται από -1 έως και +1 και όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του δείκτη NDVI τόσο μεγαλύτερη είναι και η φυτοκάλυψη (Hsieh and Cheng, 1995, Green et al., 1998, Lin et al., 2006).

4.2.1 Εκτίμηση Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) από δορυφορικές εικόνες

Τα πολυφασματικά τηλεπισκοπικά δεδομένα μετατρέπονται συχνά σε ένα φασματικό δείκτη βλάστησης (spectral vegetation index, SVI), ο οποίος είναι

ευαίσθητος στις αλλαγές των βιοφυσικών ποσοτήτων της φυτοκάλυψης ενώ ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις των διάφορων γωνιών των αισθητήρων, των συνθηκών φωτισμού και του υπόβαθρου του εδάφους. Μελετώντας τα παραπάνω, ο Sellers (1985) απέδειξε ότι η σχέση μεταξύ αυτών των δεικτών και των βιοφυσικών ποσοτήτων μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τον τύπο βλάστησης, την εποχή, το μητρικό υλικό και την ποσότητα του νεκρού υλικού που βρίσκεται στις φυλλωσιές των φυτών. Ο δείκτης NDVI έχει αποδειχθεί ότι συνδέεται σημαντικά με τις βιοφυσικές ιδιότητες της βλάστησης στο πεδίο (Hope, Kimball, & Stow, 1993, McMichael et al., 1999) και γενικότερα είναι λιγότερο ευαίσθητος στις διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας και του μητρικού υλικού σε σχέση με ένα απλό δείκτη που ισούται με το λόγο κοντινού υπέρυθρου προς την κόκκινη μπάντα (Myneni & Asrar, 1994).

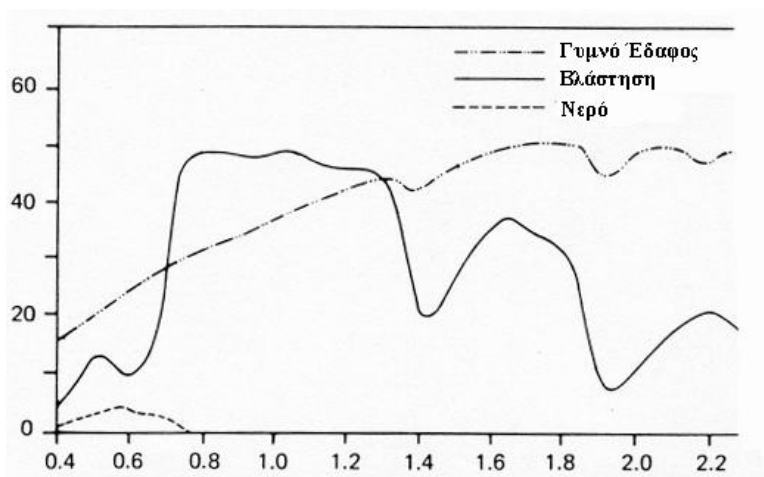
Διάφοροι παράγοντες (εκτός από την ίδια την βλάστηση) μπορούν να επηρεάσουν την παρατήρηση μέσω ραδιομετρικών δεικτών βλάστησης συμπεριλαμβανομένου και του NDVI:

- Η επίδραση της ατμόσφαιρας (Jeyaseelan & Thiruvengadachari, 1993, Hope et al., in press)
- Οι διαφοροποιήσεις στην στιγμιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (Jeyaseelan & Thiruvengadachari, 1993, Hope et al., in press)
- Οι διαστάσεις της μοναδιαίας επιφάνειας στην οποία επιχειρείται η μέτρηση του % ανάκλασης
- Η ταχύτητα του αέρα
- Η ζενίθεια γωνία όρασης του δέκτη (off-nadir viewing effects)
- Οι διαφορές στον δορυφόρο, χαρακτηριστικά αισθητήρα και πλατφόρμας (Kaufman et al., 2000, Roa & Chen, 1999, Tahnk & Coakley, 2001, Trishchenko, Cihlar & Li, 2002)
- Οι αλλαγές στα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου
- Η σταδιακή υποβάθμιση του δορυφορικού αισθητήρα

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) αποτελεί μία τεχνική επεξεργασίας των φασματικών υπογραφών μιας δορυφορικής εικόνας με σκοπό την άντληση πληροφοριών σχετικά με τη φυτοκάλυψη-βλάστηση μιας περιοχής και την παραγωγή ενός χάρτη ακριβούς φυτοκάλυψης αυτής. Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι είναι συνδεδεμένος με πολλές ιδιότητες των φυτών. Είναι χρήσιμος για τον προσδιορισμό

της κατάστασης της υγείας των φυτών, παρουσιάζει φαινολογικές αλλαγές, συνεισφέρει στην εκτίμηση της πράσινης βιομάζας και της απόδοσης των καλλιεργειών, καθώς και σε άλλες εφαρμογές.

Τέλος βασίζεται στην χρήση των φασματικών περιοχών 4 (υπέρυθρη ακτινοβολία, 0,76 – 0,90μm) και 3 (κόκκινη ορατή ακτινοβολία, 0,63 – 0,69 μm) με τέτοιο τρόπο, ώστε να εκμεταλλευθεί το γεγονός ότι η ορατή κόκκινη ακτινοβολία απορροφάται επιλεκτικά από την χλωροφύλλη, ενώ αντίθετα επικρατεί η αντανάκλαση από την βλάστηση όσο η ακτινοβολία τείνει προς την υπέρυθρη φασματική περιοχή. Η παρουσία της χλωροφύλλης στη βλάστηση οδηγεί σε απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μήκη κύματος μικρότερα από 0,7 μm. Στην περιοχή από 0,7 μm μέχρι 1,3 μm εμφανίζεται ισχυρή ανάκλαση που οφείλεται στην ασυνέχεια του δείκτη διάθλασης μεταξύ του αέρα και των κυψελών των φύλλων (εικόνα 5).



Εικόνα 5: Ανάκλαση του γυμνού εδάφους, της βλάστησης και του νερού σε σχέση με το μήκος κύματος.

Πηγή: Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής και Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος-Α.Π.Θ., Ελλάδα

Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) είναι ο

$$NDVI = \frac{DN(4) - DN(3)}{DN(4) + DN(3)} \quad (NDVI, Lillesand \text{ και } Kiefer, 1994)$$

όπου το DN (digital number) αποτελεί τη ψηφιακή καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε κάθε μοναδιαίο τμήμα (pixel) της εικόνας και οι αριθμοί 4 και 3 συμβολίζουν τις φασματικές περιοχές της υπέρυθρης και κόκκινης ορατής ακτινοβολίας αντίστοιχα. Ο μαθηματικός αυτός τύπος εφαρμόστηκε σε κάθε μοναδιαίο τμήμα της εικόνας (pixel) με την χρήση του λογισμικού ENVI 4.7.

Οι επεξεργασμένες δορυφορικές εικόνες εισήχθησαν στο ArcMap 9.3 του ArcGIS για περαιτέρω επεξεργασία αλλά και για να μετατραπούν οι ψηφιακές τιμές (DN, digital numbers) των εικονοστοιχείων (pixels) σε τιμές NDVI, δηλαδή από -1 έως +1. Ο τύπος με τον οποίο έγινε η μετατροπή είναι ο συνήθης που χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία (Upadhyay G. et al, 2008; Wenting X., 2004; Huang et al., 2008) και είναι ο ακόλουθος:

$$NDVI = (DN * 0.004) - 0.01$$

Με αυτόν τον τρόπο υπολογίστηκε ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI και για τις 9 διαθέσιμες ημερομηνίες και παρήχθησαν οι αντίστοιχοι ετήσιοι χάρτες βλάστησης, οι οποίοι και αποθηκεύτηκαν με μορφή raster.

4.2.2 Υπολογισμός μεταβολής Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI)

Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI) είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για τη διαχρονική παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης της περιοχής μελέτης μας. Για την απόδοση της ποσοστιαίας μεταβολής της βλάστησης κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2009 στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα χρησιμοποιήθηκε ένας διαδεδομένος μαθηματικός τύπος. Ο τύπος μέσω του οποίου υπολογίστηκε η ποσοστιαία μεταβολή του δείκτη βλάστησης NDVI είναι ο ακόλουθος:

$$\% \text{ μεταβολή δείκτη βλάστησης} = 100 * (NDVI_{\text{τελ.}} - NDVI_{\text{αρχ}}) / NDVI_{\text{αρχ}}$$

% μεταβολή δείκτη βλάστησης = $100 * (NDVI_{2009} - NDVI_{1984}) / NDVI_{1984}$
υδρολ.λεκάνης λίμνης Πλαστήρα (1984-2009)

Η επεξεργασία των δεδομένων και η ανωτέρω μαθηματική εξίσωση πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και συγκεκριμένα με το λογισμικό ArcGis 9.3. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας ήταν η παραγωγή ενός αρχείου raster που απεικονίζει με κλάσεις την ποσοσοστιαία διαχρονική μεταβολή της βλάστησης στην υδρολογική λεκάνη της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2009.

4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Η ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis) εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών με σκοπό την πρόβλεψη των τιμών της μιας, μέσω των τιμών της άλλης (ή των άλλων). Σε κάθε ανάλυση παλινδρόμησης διακρίνονται δύο είδη μεταβλητών: οι ανεξάρτητες ή επεξηγηματικές (independent, explanatory variables) και οι εξαρτημένες ή απόκρισης (dependent, response variables). Πιο συγκεκριμένα, ανεξάρτητη μεταβλητή X είναι εκείνη της οποίας τις τιμές μπορούμε να ελέγξουμε. Εξαρτημένη μεταβλητή Y είναι εκείνη στην οποία αντανακλάται το αποτέλεσμα των μεταβολών στις ανεξάρτητες. Αν θεωρήσουμε δύο μεταβλητές X, Y οι οποίες συνδέονται με μια σχέση της μορφής $Y = f(X)$, μπορούμε να προβλέψουμε ακριβώς την τιμή της Y για κάθε τιμή της X μέσω της προαναφερθείσας σχέσης. Δηλαδή, αν οι τιμές της Y δεν υπόκεινται σε σφάλματα, τότε λέμε ότι οι δύο μεταβλητές συνδέονται με τη προσδιοριστική (deterministic) σχέση $Y = f(X)$.

Το διάγραμμα διασποράς είναι ένα νέφος σημείων, το οποίο καθορίζει μια ιδεατή γραμμή η οποία δίνει μια πρώτη εικόνα της σχέσης που συνδέει τις δύο μεταβλητές. Η σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών είναι τόσο περισσότερο ισχυρή όσο πιο κοντά στην ιδεατή γραμμή βρίσκονται τα σημεία του διαγράμματος διασποράς. Για να περιγράψουμε τη στοχαστική εξάρτηση δύο μεταβλητών X και Y προσπαθούμε να βρούμε μια σχέση μεταξύ των X και Y η οποία όμως δε θα δίνει ακριβή αλλά προσεγγιστική μόνο εικόνα της εξάρτησης των X και Y και τα σημεία του διαγράμματος διασποράς των X και Y δε θα βρίσκονται πάνω, αλλά, γύρω από μια καμπύλη.

Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της στοχαστικής εξάρτησης δύο μεταβλητών είναι η **μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων** και αυτή εφαρμόζεται συνήθως για να μελετηθεί η πιο απλή μορφή στοχαστικής εξάρτησης, η **γραμμική**.

4.3.1 Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων

Με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων υπολογίζουμε την καλύτερη ευθεία που αντιπροσωπεύει τα πειραματικά δεδομένα, με την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών y από την ευθεία γραμμή. Με τους συντελεστές που γράφονται παρακάτω υπολογίζονται οι παράμετροι λ και b της ευθείας

$$y = \lambda x + b$$

και επιπλέον συνυπολογίζονται και τα σφάλματα σ_i των επί μέρους μετρήσεων y_i .

$$\Delta = \sum \frac{1}{\sigma_i^2} \sum \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} - \left(\sum \frac{x_i}{\sigma_i^2} \right)^2$$

$$\lambda = \frac{1}{\Delta} \left(\sum \frac{1}{\sigma_i^2} \sum \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} - \sum \frac{x_i}{\sigma_i^2} \sum \frac{y_i}{\sigma_i^2} \right)$$

$$b = \frac{1}{\Delta} \left(\sum \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} \sum \frac{y_i}{\sigma_i^2} - \sum \frac{x_i}{\sigma_i^2} \sum \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} \right)$$

Τα σφάλματα στους συντελεστές υπολογίζονται:

$$\sigma \approx \frac{1}{\Delta} \sum \frac{1}{\sigma_i^2}$$

Κα

$$\sigma_b \approx \frac{1}{\Delta} \sum \frac{x_i^2}{\sigma_i^2}$$

4.3.2 Συσχέτιση (ανάλυση παλινδρόμησης) του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) με χρήσεις γης και περιβαλλοντικές παραμέτρους

Η παρούσα μελέτη έχει ως στόχο όχι τόσο να προβλέψει την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής αλλά να εξακριβώσει την ύπαρξη ή όχι συσχέτισης μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής καθώς και το βαθμό αυτής.

Στη συγκεκριμένη εργασία, ανεξάρτητες μεταβλητές X είναι η θερμοκρασία που σημειώθηκε το χρονικό διάστημα 1984-2009 στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα, η βροχόπτωση του ίδιου χρονικού διαστήματος, τα ποσοστά των επιμέρους χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης που αφορούν στη βλάστηση όλων αυτών των ετών και τέλος η εξατμισοδιαπνοή και η εποχιακή εξατμισοδιαπνοή επίσης από το 1984 έως και το 2009.

Υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές θερμοκρασίας για κάθε υδρολογικό έτος (Οκτώβρη ενός έτους – Σεπτέβρη του επόμενου) οι οποίες και εισήχθησαν στο στατιστικό πακέτο για την ανάλυση παλινδρόμησης. Οι τιμές βροχόπτωσης ήταν επίσης μηνιαίες, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της ετήσιας βροχόπτωσης (άθροισμα μηνιαίων βροχοπτώσεων) κάθε υδρολογικού έτους και τέλος ο μέσος όρος βροχόπτωσης μεταξύ των 3 σταθμών για κάθε χρονολογία (1984-2009) αποτέλεσε τα δεδομένα βροχόπτωσής μας. Τα ποσοστά των χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης υπολογίστηκαν μέσω του λογισμικού ArcGis 9.3 εφόσον είχε ήδη πραγματοποιηθεί η ταξινόμηση των χρήσεων γης. Όσον αφορά την εξατμισοδιαπνοή, υπολογίστηκαν οι μηνιαίες (άθροισμα ημερήσιων) τιμές και στη συνέχεια οι ετήσιες τιμές (μέσος όρος των μηνιαίων) ανά υδρολογικό έτος από το 1984 έως και το 2009. Η εποχιακή εξατμισοδιαπνοή αναφέρεται στην άνοιξη και πρόκειται για το μέσο όρο του αθροίσματος των τιμών της εξατμισοδιαπνοής των τριών μηνών της εποχής της άνοιξης (Μάρτιος, Απρίλιος, Μάϊος) κάθε υδρολογικού έτους.

Εξαρτημένη μεταβλητή Y είναι ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) καθώς και ο NDVI των επιμέρους χρήσεων γης. Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) κάθε έτους είναι η μέση τιμή NDVI που παρουσιάζει το σύνολο των εικονοστοιχείων σε κάθε παραχθέν raster, το οποίο αντιπροσωπεύει το εύρος τιμών του δείκτη βλάστησης για το κάθε έτος. Ο NDVI των επιμέρους χρήσεων γης υπολογίστηκε αφού κόπηκε το κάθε ετήσιο (1984-2009) raster με τις

τιμές NDVI με βάση κάθε χρήση γης ξεχωριστά ανά έτος και παρήχθησαν ξεχωριστά NDVI raster χρήσεων γης.

Έπειτα με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGis 9.3, το οποίο επεξεργάζεται στατιστικά τα δεδομένα μας χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι όροι των τιμών NDVI των νέων raster ως δεδομένα εισόδου και επεξεργασίας στο στατιστικό λογισμικό πακέτο για την ανάλυση παλινδρόμησης. Ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα στην ανάλυση παλινδρόμησης αποτελεί το R^2 , το οποίο ονομάζεται συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination), παίρνει τιμές στο κλειστό διάστημα $[0, 1]$ και όσο πλησιέστερα βρίσκεται η τιμή του προς το 1 τόσο καλύτερη είναι η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων ως εκτίμηση της ευθείας παλινδρόμησης και τόσο μεγαλύτερη είναι η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

Το στατιστικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση παλινδρόμησης είναι το Statistica 7 με τη βοήθεια του οποίου επιπρόσθετα πραγματοποιήθηκαν η περιγραφική στατιστική (τα μέγιστα, ελάχιστα, μέσοι όροι, τυπική απόκλιση), ο πίνακας συσχετίσεων (correlation matrix) καθώς και τα διαγράμματα διασποράς μεταξύ των διαθέσιμων παραμέτρων μας στα οποία εμφανίζεται κάθε φορά η εξίσωση $y=f(x)$ (η γραμμική και η πολυωνυμική στις περιπτώσεις που έχει επιλεγεί), ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 με σκοπό την εξακρίβωση του βαθού συσχέτισης μεταξύ τους και ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson r .

4.4 Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (Geographically Weighted Regression)

Η διαφορά της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση έγκειται στο γεγονός ότι στη γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση οι παρατηρήσεις οι οποίες λαμβάνονται υπόψη στη διαμόρφωση του υποδείγματος σταθμίζονται με βάρος τη γεωγραφική τους θέση.

Οι Fotheringham και Wong (Rogerson, 2001) αναφέρουν ότι η παλινδρόμηση είναι δυνατόν να αποδώσει εντελώς διαφορετικά συμπεράσματα ανάλογα με το χωρικό πεδίο αναφοράς της εφαρμογής. Η διαπίστωση ότι ο χώρος χαρακτηρίζεται από έντονες διαφοροποιήσεις ενισχύει τη μετάβαση της ανάλυσης από το υπερτοπικό επίπεδο (global) στο τοπικό επίπεδο (local) με τη δυναμική εισαγωγή της χωρικής παραμέτρου (location).

Η εισαγωγή της χωρικής διάστασης στον προσδιορισμό της ευθείας παλινδρόμησης επιχειρείται και στο παρελθόν με εναλλακτικές μεθόδους (Brunsdon, 1998), άλλες με λιγότερο και άλλες με περισσότερο ουσιώδη αποτελέσματα για τη χωρική ανάλυση τοπικής κλίμακας. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυναμική ανάλυσης της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης για την οποία ισχύει:

$$y_i = \sum_j X_{ij} \beta_j(\rho_i) + e_i \quad (1)$$

όπου ρ_i είναι η γεωγραφική τοποθεσία της παρατήρησης i . Στη συγκεκριμένη μέθοδο κάθε παράμετρος $\beta_j(\rho_i)$ του μοντέλου παλινδρόμησης, που συνοπτικά από δω και πέρα θα αναφέρεται ως β_{ij} , εκφράζεται συναρτήσει των χωρικών θέσεων των παρατηρήσεων.

Εάν σχεδιάζουμε έναν κύκλο ακτίνας r γύρω από συγκεκριμένο ρ_i και υπολογίσουμε ένα μοντέλο παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας μόνο τις παρατηρήσεις που βρίσκονται μέσα στον κύκλο, τότε το β_j που θα παραχθεί μπορεί να θεωρηθεί ως εκτίμηση των συσχετίσεων των παρατηρήσεων μέσα και γύρω από το ρ_i . Με λίγα λόγια πρόκειται δηλαδή για εκτιμήσεις του β_{ij} . Υπολογίζοντας το β_{ij} για κάθε ρ_i υπολογίζεται ένα σύνολο εκτιμήσεων των χωρικά διαφοροποιημένων παραμέτρων (Brunsdon, 1998).

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στον προσδιορισμό της ακτίνας r .

Κάθε παρατήρηση k (για συγκεκριμένη περιοχή ρ i) σταθμίζεται με βάρος W_{ik} έτσι ώστε (Brunsdon, 1998):

$$W_{ik} = \begin{cases} \{1 - (d_{ik}/h)^2\}^2 & d_{ik} < r \\ 0 & d_{ik} > r \end{cases} \quad (2)$$

Ο υπολογισμός του εύρους (kernel bandwidth) εφόσον δεν υπάρχει προηγούμενη εμπειρία (ανάλογα με την υπό εξέταση περίπτωση) βασίζεται στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων:

$$h = \sqrt{\frac{\sum \{y_i - \hat{y}_i(h)\}^2}{n}} \quad (3)$$

όπου $y(\hat{\square}h)$ i είναι η προβλεπόμενη τιμή του y i που υπολογίζεται σε μια γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση εφόσον για κάθε παρατήρηση i η εκτίμηση του y i γίνεται με την αφαίρεση της i – οστής τιμής (για την αποφυγή σημαντικών στατιστικών σφαλμάτων). (Brunsdon, 1998).

4.4.1 Υπολογισμός δεικτών

Ο *συντελεστής προσδιορισμού* είναι ένας κοινός στατιστικός δείκτης της παλινδρόμησης και της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης. Στη γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση δίνεται από τον τύπο:

$$r^2_i = \frac{\sum_j W_{ij}(y_j - \hat{y}_j)^2}{\sum_j W_{ij}(y_j - y)^2} \quad (4)$$

ο αριθμητής είναι το σύνολο του αθροίσματος των τετραγώνων και ο παρονομαστής είναι το γεωγραφικά σταθμισμένο άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων.

Υπάρχουν δύο ακόμα στατιστικοί δείκτες οι οποίοι μετρούν την επιρροή της κάθε παρατήρησης στον υπολογισμό του μοντέλου. Ο πρώτος δείκτης είναι οι λεγόμενες τιμές επιρροής ή τιμές ισχύος (leverage values). Για κάθε παρατήρηση εάν η τιμή του συγκεκριμένου δείκτη είναι μεγάλη η επιρροή της παρατήρησης στο μοντέλο ενδέχεται να είναι μεγάλη. Και στην περίπτωση αυτού του δείκτη η χαρτογράφηση

του είναι δυνατόν να φανερώσει την ύπαρξη χωρικών προτύπων (spatial patterns). Ο δεύτερος δείκτης είναι η απόσταση Cook η οποία επίσης αποτελεί ένδειξη επιρροής μιας παρατήρησης. Δίνεται από τον τύπο:

$$D_i = r_i^2 s_{ii} / p(1 - s_{ii}) \quad (5)$$

όπου r_i είναι το τυποποιημένο υπόλοιπο για το σημείο i και το p είναι ο αριθμός των παραμέτρων. Οι παρατηρήσεις με μεγάλη επιρροή στο μοντέλο θα έχουν τιμές μεγαλύτερες της μονάδας.

4.5 Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (Geographically Weighted Regression) του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) με περιβαλλοντικές παραμέτρους

Η εφαρμογή της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης εξετάζει το ζήτημα της χωρικής διαφοροποίησης των παραμέτρων της κλασσικής παλινδρόμησης ενώ η χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων συμβάλλει στην κατανόηση αυτών των διαφοροποιήσεων καθώς και στην ερμηνεία τους. Επιπρόσθετα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι εφόσον εξαρτάται από την τοποθεσία, η οποία ορίζεται από ένα ζευγάρι συντεταγμένων (x, y), η σχέση εξάρτησης ενδέχεται να παρουσιάζει μεταβλητότητα (Fotheringham et al., 2002).

Πολλές επιστημονικές μελέτες έχουν αποδείξει την υπεροχή της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης (geographically weighted regression) έναντι της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης καθώς εστιάζει στη διερεύνηση τοπικών διαφοροποιήσεων και όχι στη διαπίστωση της όποιας χωρικής ομοιομορφίας (Erdogan S., 2009, Mennis J., 2006, Noel Bonfilio Pineda Jaimés, 2010, Tu J. et Xia Zong-Guo, 2008). Η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση αποτελεί μία πρόσφατη βελτίωση της κλασσικής παλινδρόμησης και προσδιορίζεται όταν οι μετρήσεις των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών διαφέρουν από τοποθεσία σε τοποθεσία (Fotheringham et al., 2002).

Η στατιστική ανάλυση, η εφαρμογή της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης και η χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων έγινε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου ArcGis 9.3. Από κάθε στατιστική ανάλυση προέκυψε ένα αρχείο της μορφής *.txt το οποίο παρουσιάζεται σε μορφή πίνακα στο κεφάλαιο

των αποτελεσμάτων. Αυτό το αρχείο περιέχει συγκεντρωτικά όλους τους δείκτες των παραμέτρων της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης. Στη συνέχεια για κάθε παρατήρηση του υποδείγματος υπολογίζονται από το λογισμικό τα παρατηρούμενα στοιχεία, τα προβλεπόμενα στοιχεία, τα υπόλοιπα, τα τυποποιημένα υπόλοιπα, ο τοπικός συντελεστής προσδιορισμού, η επιρροή και ο δείκτης D του Cook. Οι παράμετροι στο τοπικής κλίμακας υπόδειγμα εμφανίζονται χωρικά διαφοροποιημένοι και δεν διατηρούν μια τιμή για όλες τις παρατηρήσεις της περιοχής μελέτης.

Οι παράμετροι που αναλύθηκαν και συσχετίστηκαν στη συγκεκριμένη εργασία με βάση τη γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση είναι το υψόμετρο, η κλίση, ο προσανατολισμός της περιοχής μελέτης καθώς και η μέση βροχόπτωση των χρονολογιών 1984, 1985, 1987, 1989, 1990 και 2002. Η ανάγκη δημιουργίας χαρτών βροχόπτωσης ήταν επιτακτική έτσι ώστε να εισαχθούν στο ArcGis 9.3 και να εφαρμοστεί η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση μεταξύ βροχόπτωσης και του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI. Οι τρεις σταθμοί (Καρίτσας, Μορφοβουνίου και Φράγματος Ταυρωπού) που υπήρχαν στη διάθεσή μας για τα βροχομετρικά δεδομένα θεωρούνταν ελλιπείς για την παραγωγή χαρτών βροχόπτωσης και καταλήξαμε στη ενσωμάτωση και άλλων 2 βροχομετρικών σταθμών της περιοχής, αυτούς της Μούχας και της Μπεζούλας, παρόλο που από αυτούς δεν υπήρχαν δεδομένα για τις χρονολογίες 2003, 2007 και 2009.

Οι ετήσιοι χάρτες βροχόπτωσης γεωαναφέρθηκαν με βάση τους χάρτες NDVI, πραγματοποιήθηκε χωρική παρεμβολή με τη μέθοδο spline του ArcGis 9.3 και η βροχόπτωση σε κάθε χάρτη παρουσιάζεται μετρημένη σε mm. Πραγματοποιήθηκε λοιπόν η παραγωγή χαρτών βροχόπτωσης από το 1984 έως και το 2002 καθώς και ο χάρτης μέσης βροχόπτωσης ο οποίος και υπολογίστηκε και δημιουργήθηκε με βάση τους ετήσιους χάρτες βροχόπτωσης (1984-2002). Το υψόμετρο, ο προσανατολισμός, η κλίση της υδρολογικής λεκάνης και η παραγωγή του χάρτη μέσης βροχόπτωσης δημιουργήθηκαν μέσω του πακέτου ArcGis 9.3.

Στη γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση ανεξάρτητες μεταβλητές είναι όπως προαναφέρθηκε το υψόμετρο, ο προσανατολισμός, η κλίση της υδρολογικής λεκάνης και η μέση βροχόπτωση που σημειώθηκε στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1984-2002. Εξαρτημένη μεταβλητή είναι η μέση τιμή NDVI, η οποία υπολογίστηκε με τη βοήθεια του ArcGis 9.3 από τα ετήσια NDVI αρχεία raster των χρονολογιών 1984, 1985, 1987, 1989, 1990 και 2002. Σκοπός αυτής της ανάλυσης ήταν η εξακρίβωση

του βαθμού εξάρτησης του μέσου NDVI (κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης) από τις προαναφερθείσες παραμέτρους καθώς επίσης και η χαρτογραφική τους απεικόνιση με βάση τον τοπικό συντελεστή προσδιορισμού ($local R^2$).

Στη συνέχεια, δόθηκε έμφαση σε 4 βασικές κατηγορίες χρήσεων γης οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τη βλάστηση (δάση κωνοφόρων, δάση πλατύφυλλων, καλλιεργήσιμη και μη γη και λιβάδια-θαμνότοποι) και έχουν έντονη παρουσία στην υδρολογική λεκάνη της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα. Λαμβάνοντας ως ημερομηνία αναφοράς το 2002, μελετήθηκε ο βαθμός συσχέτισης του μέσου Κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI με τις προαναφερθείσες παραμέτρους (υψόμετρο, κλίση, προσανατολισμός και μέση βροχόπτωση) στα σημεία εμφάνισης αυτών των χρήσεων γης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να παραχθούν αρχικά χάρτες που παρουσίαζαν την εκάστοτε χρήση γης του 2002 και το συντελεστή προσδιορισμού μεταξύ του μέσου NDVI και των ανεξάρτητων μεταβλητών που προαναφέρθηκαν και κατά δεύτερον την παραγωγή πινάκων περιγραφικής στατιστικής του συντελεστή προσδιορισμού ($max local R^2$, $min local R^2$, $mean local R^2$) στους οποίους διαφαίνεται ξεκάθαρα από ποια παράμετρο, κατά πόσο και σε ποια χρήση γης εξαρτάται ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης.

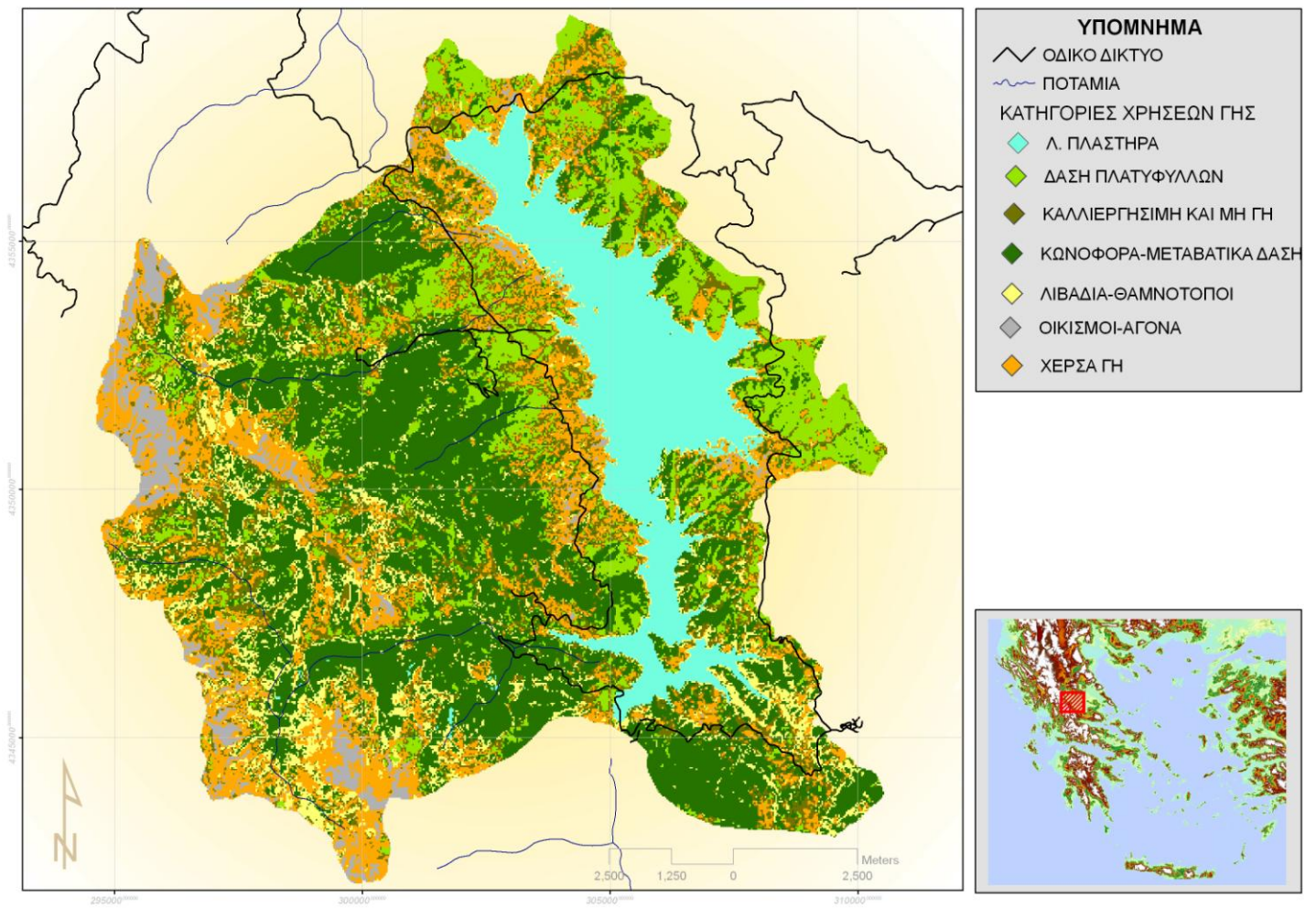
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Αποτύπωση χρήσεων γης της υπό μελέτη περιοχής μέσω αλγορίθμων ταξινόμησης χρήσεων γης δορυφορικών εικόνων και οι διαχρονικές μεταβολές τους

Μετά την εφαρμογή της προαναφερθείσας μεθοδολογίας στην περιοχή μελέτης, με την συνδρομή των προγραμμάτων ENVI 4.7 και ArcGis 9.3 παρήχθησαν οι εννέα χάρτες χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Ν. Πλαστήρα και ποσοτικοποιήθηκε η έκταση κάθε κατηγορίας χρήσης γης. Η ονοματολογία των κατηγοριών χρήσεως γης της περιοχής πραγματοποιήθηκε με την συνεισφορά του προγράμματος Corine 2000 και των υψηλής ανάλυσης δορυφορικών εικόνων IKONOS της ημερομηνίας 06/2007.

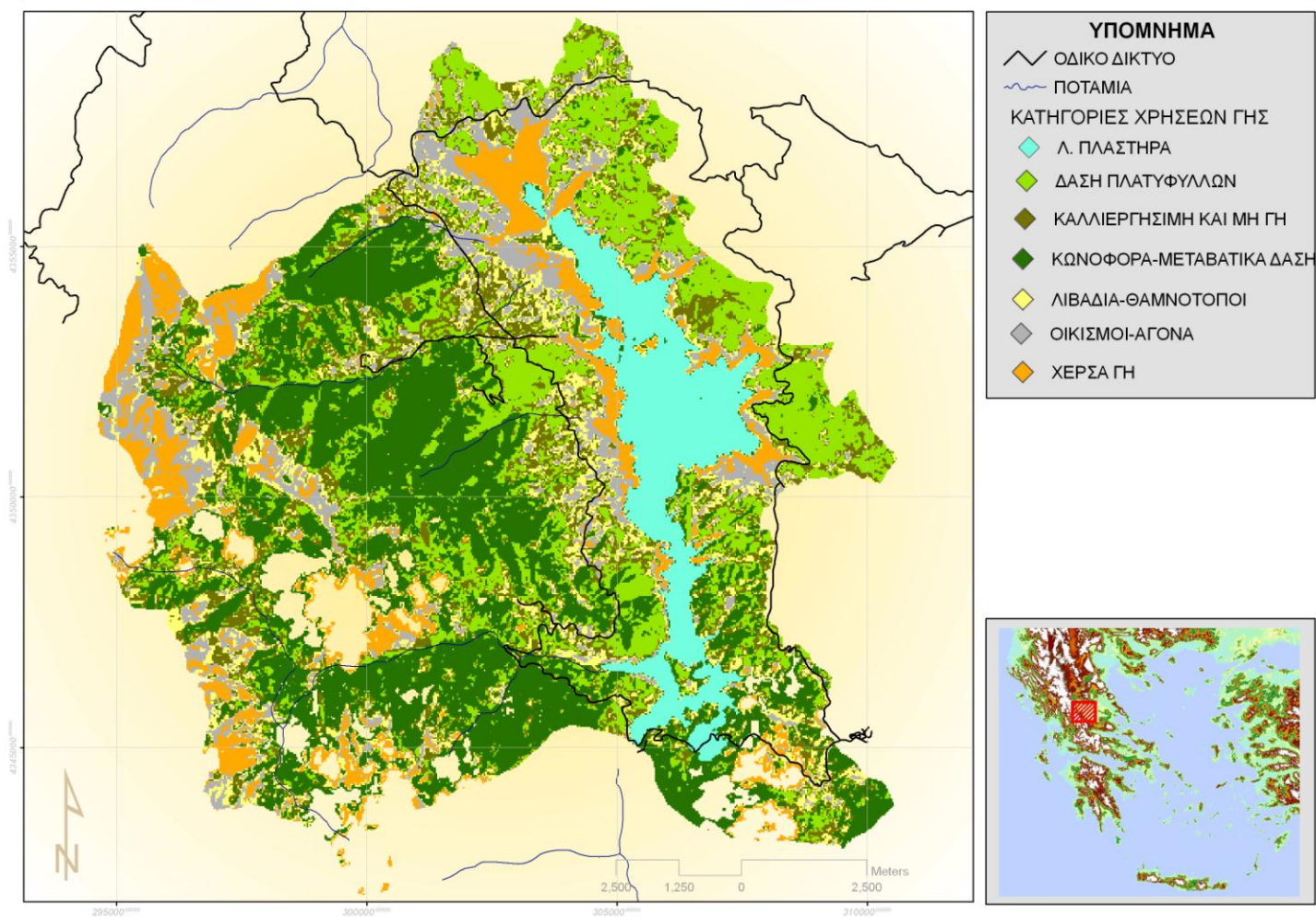
Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικά οι χάρτες χρήσεων γης των τριών ημερομηνιών 1984 (εικόνα 10), 1990 (εικόνα 11) και 2009 (εικόνα 12) και ο πίνακας 9 με τις εκτάσεις και τις μεταβολές των χρήσεων γης τους μεταξύ των ετών 1984-1990, 1990-2009 και 1984-2009. Οι υπόλοιποι έξι χάρτες παρουσιάζονται στο παράρτημα της παρούσας μελέτης. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάποιους χάρτες εμφανίζονται κάποια κενά σημεία ή κάποια που εμφανίζονται ως υδάτινο σώμα ενδιάμεσα άλλων χρήσεων γης. Αυτό συμβαίνει γιατί ο αλγόριθμος δεν κατάφερε να ταξινομήσει τα παραπάνω εικονοστοιχεία. Όταν η έκταση αυτών ήταν τόσο μεγάλη ώστε να επηρεάσει τα αποτελέσματα της ταξινόμησης, τότε διαγράφηκαν. Στις περιπτώσεις όπου η έκτασή τους θεωρήθηκε αμελητέα, διατηρήθηκαν.

ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 1984 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ



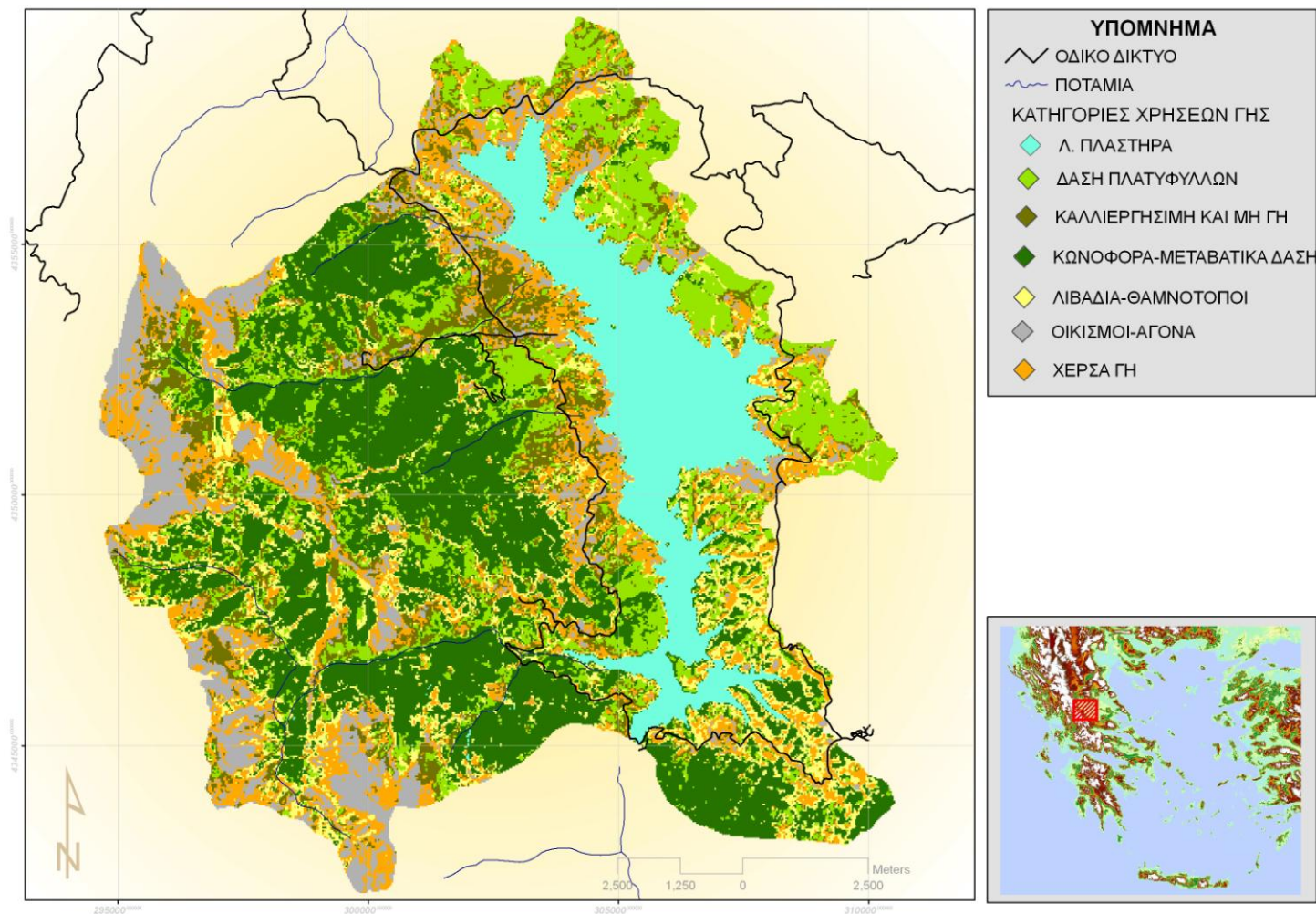
Εικόνα 10: Χάρτης χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 1984.

ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 1990 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ



Εικόνα 11: Χάρτης χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 1990.

ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 2009 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ



Εικόνα 12: Χάρτης χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 2009.

Πίνακας 9 : Εκτάσεις (m²) και διαχρονικές μεταβολές (%) των χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Κάλυψη/ χρήση γης	1984		1990		2009		Μεταβολή (%)		
	Έκταση (m ²)	(%)	Έκταση (m ²)	(%)	Έκταση (m ²)	(%)	1984-1990	1990-2009	1984-2009
Υδάτινο σώμα	18815400	11.9657	13157100	8.44775	19367100	12.2635	-3.52	+3.82	+0.29
Κωνοφόρα- Μεταβατικά δάση	49383000	31.4053	44427600	28.52553	44825400	28.384	-2.88	-0.14	-3.02
Χέρσα γη	20410200	12.9799	14345100	9.210526	22985100	14.5545	-3.77	+5.34	+1.57
Δάση Πλατύφυλλων	19936800	12.6789	30319200	19.46698	24645600	15.6059	+6.79	-3.86	+2.9
Καλλιεργήσιμη και μη γη	19857600	12.6285	21659400	13.9068	15311700	9.69556	+1.28	-4.21	-2.9
Οικισμοί- Άγωνα	16252200	10.3356	15238800	9.784342	14334300	9.07666	-0.55	-0.71	-1.26
Λιβάδια- Θαμνότοποι	12589200	8.00614	16599600	10.65807	16455600	10.4199	+2.65	-0.24	+2.41
Σύνολο	157244400	100	155746800	100	157924800	100			

Με την ανάλυση και επεξεργασία των διαθέσιμων δορυφορικών εικόνων και την εφαρμογή του αλγόριθμου ταξινόμησης, οι χάρτες χρήσεων γης που δημιουργήθηκαν παρουσιάζουν τις κάτωθι 7 κατηγορίες χρήσεων γης: 1) Υδάτινο σώμα (λίμνη Πλαστήρα) , 2) Κωνοφόρα-Μεταβατικά δάση, 3) Χέρσα γη, 4) Δάση Πλατύφυλλων , 5) Καλλιεργήσιμη και μη γη , 6) Οικισμοί-Άγονα και 7) Λιβάδια-Θαμνότοποι.

Γενικότερα, όχι μόνο στις 3 αλλά και στις 9 ημερομηνίες, το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής καταλαμβάνεται από δάση τα οποία αφορούν συγκεκριμένα τα κωνοφόρα, τα μεταβατικά και τα πλατύφυλλα και βρίσκονται κυρίως περιμετρικά της λίμνης Πλαστήρα αλλά και κεντρικά της υδρολογικής λεκάνης. Στη δεύτερη θέση συνήθως κάνει την εμφάνισή της η καλλιεργήσιμη και μη γη ή η χέρσα γη, και στην τρίτη οι οικισμοί και οι άγονες εκτάσεις. Ο πίνακας υποδεικνύει ότι το μεγαλύτερο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης την ημερομηνία 1984 καλύπτεται από κωνοφόρα και μεταβατικά δάση ($49383000 \text{ m}^2 - 31.4\%$), ενώ ακολουθεί η χέρσα γη ($20410200 \text{ m}^2 - 12.97\%$) με τη λίμνη Πλαστήρα να καταλαμβάνει σχεδόν το 12% της περιοχής ενδιαφέροντος (18815400 m^2). Τα λιβάδια-θαμνότοποι δεν καλύπτουν σημαντική έκταση της περιοχής μελέτης, αφού ξεπερνούν μόλις το 8% της συνολικής έκτασης. Το αμέσως μεγαλύτερο ποσοστό δασών που καλύπτει την περιοχή, αφορά τα δάση πλατύφυλλων (19936800 m^2 , 12.68% της περιοχής μελέτης).

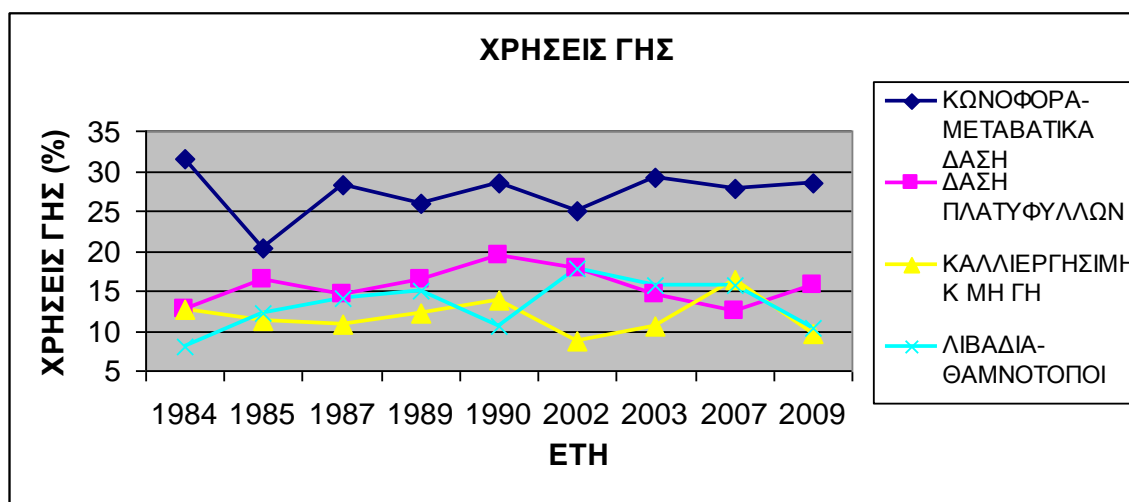
Όσον αφορά τους οικισμούς και τις άγονες εκτάσεις παρατηρείται ότι καλύπτουν περίπου το 10.3% της υδρολογικής λεκάνης και εμφανίζονται κυρίως δυτικά της λεκάνης απορροής αλλά και σε μικρό βαθμό περιμετρικά της λίμνης. Οι οικισμοί εμφανίζονται στην ίδια κατηγορία με τις άγονες εκτάσεις διότι οι ψηφιακές υπογραφές των δύο αυτών κατηγοριών χρήσης γης είναι παραπλήσιες και έτσι ο συγκεκριμένος αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε δεν δύναται να τις διαχωρίσει. Όσον αφορά τις γεωργικές εκτάσεις, η καλλιεργήσιμη και μη γη επίσης δημιουργούν παρόμοιες ψηφιακές υπογραφές στην δορυφορική εικόνα και καταγράφονται στην ίδια κατηγορία κατά την ανάλυση και επεξεργασία της αλλά είναι καταγεγραμμένες στην ίδια κατηγορία και στο πρόγραμμα Corine.

Μελετώντας τις χρήσεις γης της ημερομηνίας 1990, παρατηρείται ότι τα κωνοφόρα και μεταβατικά δάση εξακολουθούν να καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης ($44427600 \text{ m}^2 - 28.5\%$) με τη διαφορά ότι έχουν υποστεί μια μικρή μείωση της τάξης του 2.9% από το 1984 έως το 1990. Η επιφάνεια νερού που αντιστοιχεί στην λίμνη Πλαστήρα είναι αισθητά μειωμένη (13157100 m^2 ,

8.45 % της συνολικής έκτασης), συγκριτικά με την επιφάνεια που κάλυπτε το 1984. Οι οικισμοί και οι άγονες περιοχές ($15238800 \text{ m}^2 - 9.78\%$) επίσης παρουσιάζονται ελαφρά μειωμένοι σε σύγκριση με το 1984 κατά περίπου 0.55% ενώ αντίθετα τα λιβάδια και οι θαμνότοποι παρουσιάζονται αυξημένα κατά περίπου 2.65%. Αναφορικά με τη χέρσα γη του 1990, παρουσιάζεται μειωμένη σε σχέση με το 1984 κατά 3.77% και καταλαμβάνει μικρότερη έκταση (14345100 m^2 , 9.21%) στην υδρολογική λεκάνη. Τα δάση πλατύφυλλων αποτελούν επίσης τη δεύτερη μεγαλύτερη σε έκταση χρήση γης του 1990 όπως και το 1984, με τη διαφορά όμως ότι παρουσιάζουν μία αύξηση της τάξης του 6.8%.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των χρήσεων γης του 2009, τα δάση συνολικά παραμένουν η πρώτη κατηγορία κάλυψης της υδρολογικής λεκάνης (43.98%). Πιο συγκεκριμένα, τα κωνοφόρα και μεταβατικά δάση καλύπτουν 44825400 m^2 της συνολικής έκτασης, δηλαδή ένα ποσοστό περίπου 28.4%, παρόμοιο με το αντίστοιχο του 1990 αλλά μειωμένο κατά 3.02% σε σχέση με αυτό του 1984. Αντίθετα, τα δάση πλατύφυλλων εμφανίζονται μειωμένα σε σχέση με το 1990 (24645600 m^2 , 15.6%) αλλά κατά 2.9% αυξημένα συγκριτικά με το 1984. Όσον αφορά την έκταση της επιφάνειας της λίμνης Πλαστήρα παρατηρείται μια αισθητή αύξηση αυτής το 2009 (19367100 m^2 , 12.26%) σε σχέση με το 1990 κατά 3.8% και μια μικρότερη αύξηση συγκριτικά με το 1984 κατά 0.29%. Η χέρσα γη παρατηρείται να αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου (παρά την μείωσή της τα πρώτα έξι χρόνια από το 1984 έως το 1990), αφού φαίνεται από τον πίνακα ότι από το 9.2% που καταλάμβανε το 1990, το 2009 καταλαμβάνει το 14.5% της συνολικής έκτασης και σημειώνει μία αύξηση της τάξης του 1.57% από το 1984 έως και το 2009. Σε αντίθεση με τη χέρσα γη, οι οικισμοί και οι άγονες εκτάσεις παρουσιάζονται μειούμενες με το πέρασμα του χρόνου. Συγκεκριμένα το 1984 καταλαμβάνουν το 10.33% της λεκάνης απορροής, το 1990 το 9.78% ενώ το 2009 μειώνονται κι' άλλο αγγίζοντας σχεδόν το 9% της συνολικής έκτασης. Η μείωση που έχουν υποστεί συνολικά από το 1984 έως και το 2009 φτάνει το 1.26%. Όσον αφορά την καλλιεργήσιμη και μη γη, αφού παρατηρήθηκε μια αύξησή της από το 1984 (12.6%) έως το 1990 (13.9%), στη συνέχεια και μέχρι το 2009 (9.7%) παρατηρείται μια σταδιακή μείωση που αγγίζει το 2.9% σε σχέση με την έκταση που καταλάμβανε το 1984. Τέλος, τα λιβάδια και οι θαμνότοποι αφού αρχικά αυξήθηκαν από το 1984 έως και το 1990, το 2009 παρουσιάζουν μια μικρή μείωση της έκτασής τους (0.24%) από το 1990 με μία όμως σημαντική αύξηση κατά 2.41% από το 1984 έως το 2009.

Στη συνέχεια παρατίθενται δύο διαγράμματα με τις διαχρονικές μεταβολές των χρήσεων γης που εντοπίζονται στην υδρολογική λεκάνη της τεχνητής λίμνης Ν. Πλαστήρα. Το πρώτο διάγραμμα (εικόνα 13) περιλαμβάνει τις χρήσεις γης που σχετίζονται με τη βλάστηση της περιοχής, δηλαδή τα κωνοφόρα-μεταβατικά δάση, τα δάση πλατύφυλλων, την καλλιεργήσιμη και μη γη και τα λιβάδια-θαμνότοποι. Το δεύτερο διάγραμμα (εικόνα 14) αναπαριστά τις υπόλοιπες χρήσεις γης που ταξινομήθηκαν από τον αλγόριθμο και είναι το υδάτινο σώμα (λίμνη Πλαστήρα), η χέρσα γη, οι οικισμοί και οι άγονες εκτάσεις.



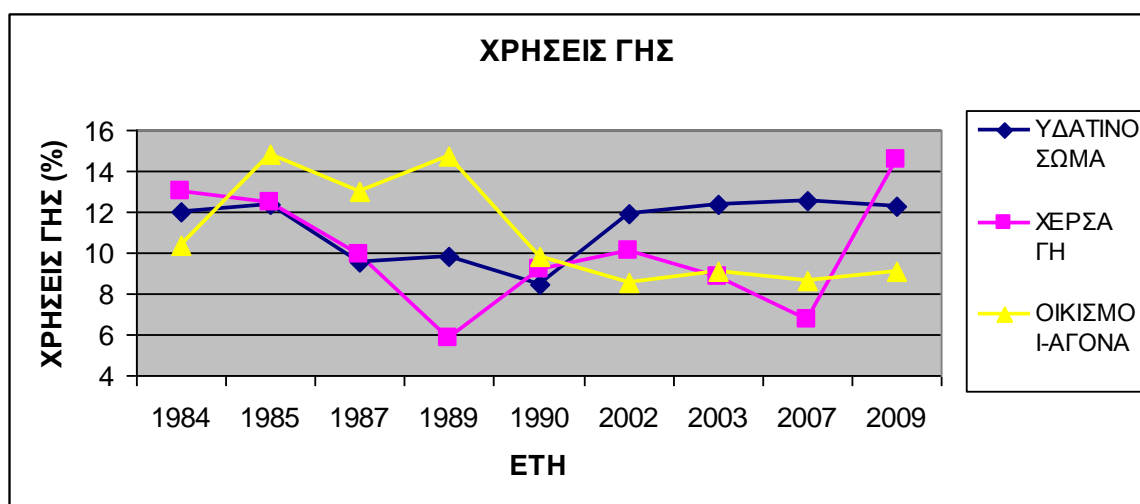
Εικόνα 13: Διαχρονική μεταβολή (%) των χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα, που σχετίζονται με τη βλάστηση.

Όπως προαναφέρθηκε, το παραπάνω διάγραμμα περιλαμβάνει τις χρήσεις γης που σχετίζονται με τη βλάστηση και τις αυξομειώσεις τους στο πέρασμα του χρόνου. Παρατηρείται λοιπόν ότι από το 1985 και έπειτα η έκταση των κωνοφόρων-μεταβατικών δασών αυξομειώνεται στα ίδια περίπου επίπεδα (μέση τιμή ποσοστιαίας έκτασης από το 1987 έως το 2009 27.6%) μέχρι και το 2009 που η έκτασή τους αγγίζει περίπου το 28,4%. Η ποσοστιαία έκταση των πλατύφυλλων δασών κυμαίνεται σε μικρότερες τιμές σε σχέση με τα κωνοφόρα- μεταβατικά δάση, με μικρότερη τιμή το 2007 (12,4 %) και μεγαλύτερη το 1990 (19,5%).

Σε γενικές γραμμές οι αυξομειώσεις της έκτασης των πλατύφυλλων δασών είναι πιο έντονες σε σχέση με τα κωνοφόρα-μεταβατικά και η μέση τιμή της ποσοστιαίας έκτασής τους είναι περίπου 15.5%. Αυτές οι αυξομειώσεις της έκτασης

των δασών προφανώς οφείλονται στις μεταβολές του κλίματος της περιοχής, κυρίως της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας, παράμετροι που καθορίζουν κατά κόρον τη βλάστηση οποιαδήποτε περιοχής. Η έκταση που καταλαμβάνει η καλλιεργήσιμη και μη γη είναι ακόμα μικρότερη από αυτή των πλατύφυλλων δασών με μέση τιμή 11.8%. Από το 1984 έχει μία τάση μείωσης μέχρι και το 1987 (10.8%), από όπου αρχίζει πάλι να αυξάνεται, με εξαίρεση το 2002 όπου μειώνεται πάλι, μέχρι το 2007 όπου εντοπίζεται η μέγιστη τιμή της (16,3%) και τελικά το 2009 εμφανίζεται μειωμένη για ακόμα μία φορά (9,7%). Από στοιχεία απογραφής της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, προκύπτει ότι όντως οι καλλιέργειες της ευρύτερης περιοχής έχουν υποστεί μείωση από το 1984 μέχρι το 2009, με την έκτασή τους να καλύπτει 38990 στρέμματα το 1984 και 24600 στρέμματα το 2009.

Σχετικά με την έκταση της χρήσης λιβάδια-θαμνότοποι παρατηρείται ότι κυμαίνεται αριθμητικά μεταξύ των πλατύφυλλων δασών και της καλλιεργήσιμης γης. Η μέγιστη τιμή τους εντοπίζεται το 2002 (17,8%), η ελάχιστη το 1984 (8%) ενώ η μέση ποσοστιαία τους έκταση αγγίζει το 13.3%. Μετά την έντονη αύξηση από το 1990 έως το 2002, τα επόμενα έτη (2003, 2007) μειώνεται σταδιακά μέχρι και το 2009 που φτάνει το 10.42%.



Εικόνα 14: Διαχρονική μεταβολή (%) των χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Πλαστήρα.

Το παραπάνω διάγραμμα συνοψίζει τις μεταβολές των υπόλοιπων χρήσεων γης (λίμνη Πλαστήρα, χέρσα γη, οικισμοί-άγωνα) που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης κατά τη διάρκεια των ετών 1984 έως και το 2009. Η επιφάνεια της λίμνης Πλαστήρα παρουσιάζει σημαντικές αυξομειώσεις με το πέρασμα του χρόνου με τη μέγιστη τιμή της να εμφανίζεται το 2007 (12.5%) και την ελάχιστη το 1990 (8.4%). Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι ενώ από το 1984 έως και το 1990 παρουσιάζει μία τάση μείωσης με μέση ποσοστιαία έκταση 10.4%, από το 1990 μέχρι το 2009 αρχίζει να αυξάνεται αισθητά με μέση έκταση 12.2%. Πιο αναλυτικά παρατηρούνται οι διακυμάνσεις της στάθμης της λίμνης Πλαστήρα στο ακόλουθο διάγραμμα (εικόνα 15) (Δημητρίου κ. άλλοι, ΕΛΚΕΘΕ, 2009).



Εικόνα 15: Διακυμάνσεις της στάθμης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα σε m.

Τα διαθέσιμα δεδομένα αφορούν τα έτη 1996-2008 και συγκεκριμένα παρουσιάζεται η απόλυτη στάθμη της λίμνης των προαναφερθέντων ετών του μήνα Ιουλίου σε μέτρα. Η στάθμη της λίμνης χαρακτηρίζεται από έντονες αυξομειώσεις και 2 μέγιστα, τον Ιούλιο του 1998 (789.58 m) και τον Ιούλιο του 2004 (789.66 m). Επίσης παρατηρείται πως η στάθμη του 2007 (785.6 m) είναι μεγαλύτερη από του 2002 (783 m), γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της ταξινόμησης της δορυφορικής εικόνας.

Όσον αφορά τη χέρσα γη παρατηρείται ότι καταλαμβάνει μια ποσοστιαία έκταση με μέση τιμή περίπου 10%. Η μέγιστη τιμή της είναι 14.55% το 2009 και η ελάχιστη 5.8% το 1989 και οι διαχρονικές μεταβολές της χαρακτηρίζονται από έντονες αυξομειώσεις. Εξετάζοντας την έκταση που καταλαμβάνουν οι οικισμοί και οι άγονες εκτάσεις, παρατηρείται ότι ενώ από το 1984 έως το 1989 κινείται σε υψηλότερα επίπεδα (13.2%), από το 1989 και μετά ακολουθεί μία καθοδική πορεία (μέση τιμή 1989-2009 10%). Η μέγιστη τιμή τους καταγράφεται το 1985 με ποσοστιαία έκταση 14.8%, η ελάχιστη το 2002 με 8.56% και η μέση τιμή όλων των χρονολογιών ανέρχεται στο 10.9% της συνολικής έκτασης. Αυτό δικαιολογείται λόγω της αστικοποίησης του πληθυσμού και της συγκέντρωσης των δραστηριοτήτων του δευτερογενούς και τριτογενούς τομέα στις αστικές περιοχές. Επιπρόσθετα, στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας σχετικά με τον πληθυσμό που διαμένει στην ευρύτερη περιοχή της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Πλαστήρα, αποδεικνύουν ότι ο ενεργός πληθυσμός έχει μειωθεί αισθητά από το 1984 έως και το 2009. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά για 6980 κατοίκους το 1984, 6899 το 1990 και 4390 το 2009.

Αν παρατηρήσουμε διεξοδικά τους χάρτες χρήσεων γης των χρονολογιών 1984 και 2009 μπορούμε να διακρίνουμε τις διαχρονικές μεταβολές τους και να διαπιστώσουμε ποιες χρήσεις γης μετατράπηκαν σε άλλες και κατέλαβαν μέρος της έκτασης τους με το πέρασμα του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση των κωνοφόρων-μεταβατικών δασών μεταξύ 1984-2009 είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση και την εν μέρει παραχώρηση της έκτασής τους στα δάση των πλατύφυλλων, στη χέρσα γη και σε μικρότερο ποσοστό στην καλλιεργήσιμη και μη γη.

Τα δάση πλατύφυλλων έχουν εκτοπίσει τα κωνοφόρα-μεταβατικά κυρίως βορειοανατολικά της λίμνης και κεντρικά της υπό μελέτη υδρολογικής λεκάνης. Αντίστοιχα, περιμετρικά της λίμνης αλλά και γενικότερα, η χέρσα γη έχει αντικαταστήσει σε κάποια τμήματα τα κωνοφόρα-μεταβατικά δάση. Επίσης μείωση παρατηρήθηκε στην έκταση της καλλιεργήσιμης και μη γης η οποία όπως διαφαίνεται έχει εν μέρει αντικατασταθεί (κατά ένα ποσοστό 2.9%) από τους οικισμούς και άγονες εκτάσεις κυρίως βορειοδυτικά της λεκάνης απορροής, από τα δάση κωνοφόρων σε κάποια τμήματα δυτικά της λεκάνης και τα λιβάδια-θαμνότοπους κυρίως νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά της λίμνης Πλαστήρα.

Όσον αφορά τη χρήση γης οικισμοί και άγονες εκτάσεις και τη μείωση της ποσοστιαίας έκτασής της κατά -1.26% επί της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης

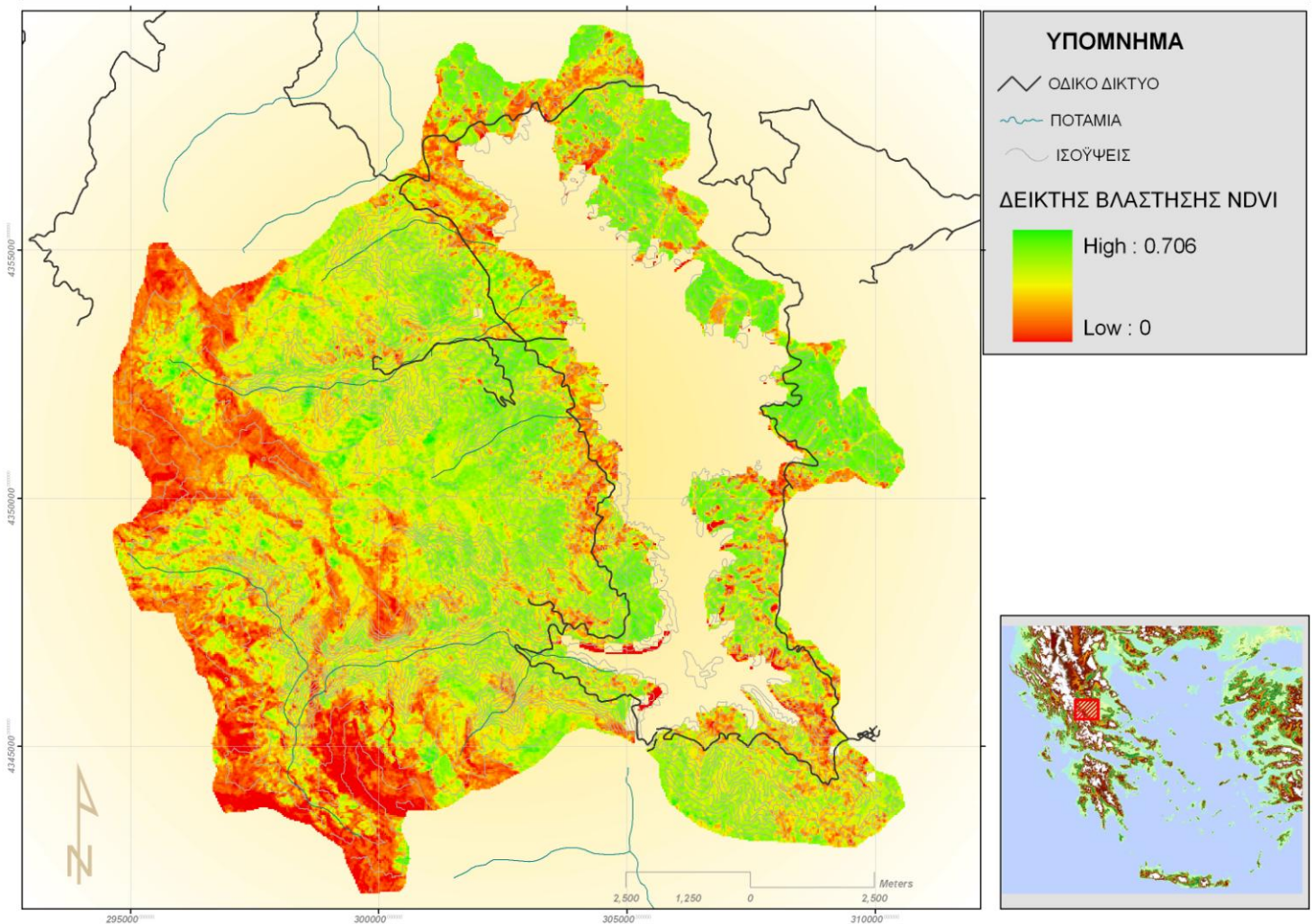
Πλαστήρα, παρατηρείται ότι έχει υποχωρίσει τοπικά έναντι τριών χρήσεων γης. Αρχικά, διαπιστώνεται ότι περιμετρικά της λίμνης Πλαστήρα και δυτικά της λεκάνης παρουσιάζεται ύπαρξη λιβαδιών-θαμνότοπων ενώ το 1984 υπήρχαν χέρσα γη, οικισμοί και άγωνα. Επίσης, περιμετρικά της λίμνης τμήματα χέρσας γης έχουν αντικαταστήσει κάποιους οικισμούς και άγωνα και τέλος βορειοδυτικά της λεκάνης έχουν αντικατασταθεί σε μικρό ποσοστό από δάση πλατύφυλλων. Οι παραπάνω μεταβολές από το 1984 έως το 2009 και οι μετατροπές των χρήσεων γης μεταξύ τους, δικαιολογούν την αύξηση της χέρσας γης κατά 1.57%, την αύξηση των πλατύφυλλων δασών κατά 2.9% και τέλος την αύξηση των λιβαδιών-θαμνότοπων κατά περίπου 2.41% επί της υδρολογικής λεκάνης της χρονολογίας 2009 σε σχέση με αυτή του 1984.

5.2 Εκτίμηση Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) από δορυφορικές εικόνες.

Τα αποτελέσματα όσον αφορά την εκτίμηση του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) από δορυφορικές εικόνες, είναι τιμές που αντιπροσωπεύουν την παρουσία και την υγεία της βλάστησης σε μια περιοχή και συνθέτουν εικόνες φυτοκάλυψης αυτής, στις οποίες φαίνεται η παρουσία ή η απουσία της βλάστησης. Σημειώνεται πάλι, ότι οι τιμές των εικονοστοιχείων (*pixel*) που παρουσιάζει ο δείκτης NDVI είναι μεταξύ του -1 έως +1, ενώ οι περιοχές που δεν φέρουν ίχνος βλάστησης δίνουν αρνητική τιμή ή τιμή που αγγίζει την τιμή μηδέν (0). Έτσι, μία αρνητική τιμή ή μία τιμή που αγγίζει το 0, σημαίνει ότι δεν υπάρχει βλάστηση, ενώ μία τιμή που αγγίζει το +1 (0,7-1) αντιπροσωπεύει την καλύτερη κατάσταση υγείας της βλάστησης αλλά και την έντονη παρουσία της στην περιοχή.

Οι χάρτες αναπαράστασης των τιμών NDVI που προέκυψαν από τις δορυφορικές μας εικόνες παρουσιάζονται παρακάτω. Η αναπαράσταση της έντονης παρουσίας της βλάστησης γίνεται με έντονο πράσινο χρώμα ενώ οι άγονες εκτάσεις και οι οικισμοί παρουσιάζουν τιμές που τείνουν στο μηδέν και συμβολίζονται με κόκκινο χρώμα. Η οπτική αναπαράσταση της βλάστησης γίνεται με ομαλή μετάβαση από τη μία απόχρωση του χρώματος στην επόμενη έτσι ώστε το αποτέλεσμα να είναι πιο αντιπροσωπευτικό. Λόγω μεγάλου αριθμού χαρτών παρατίθενται στη συνέχεια ενδεικτικά οι χάρτες των 3 ημερομηνιών 1984 (εικόνα 6), 1990 (εικόνα 7) και 2009 (εικόνα 8) ενώ οι υπόλοιποι παρουσιάζονται στο παράρτημα της μελέτης.

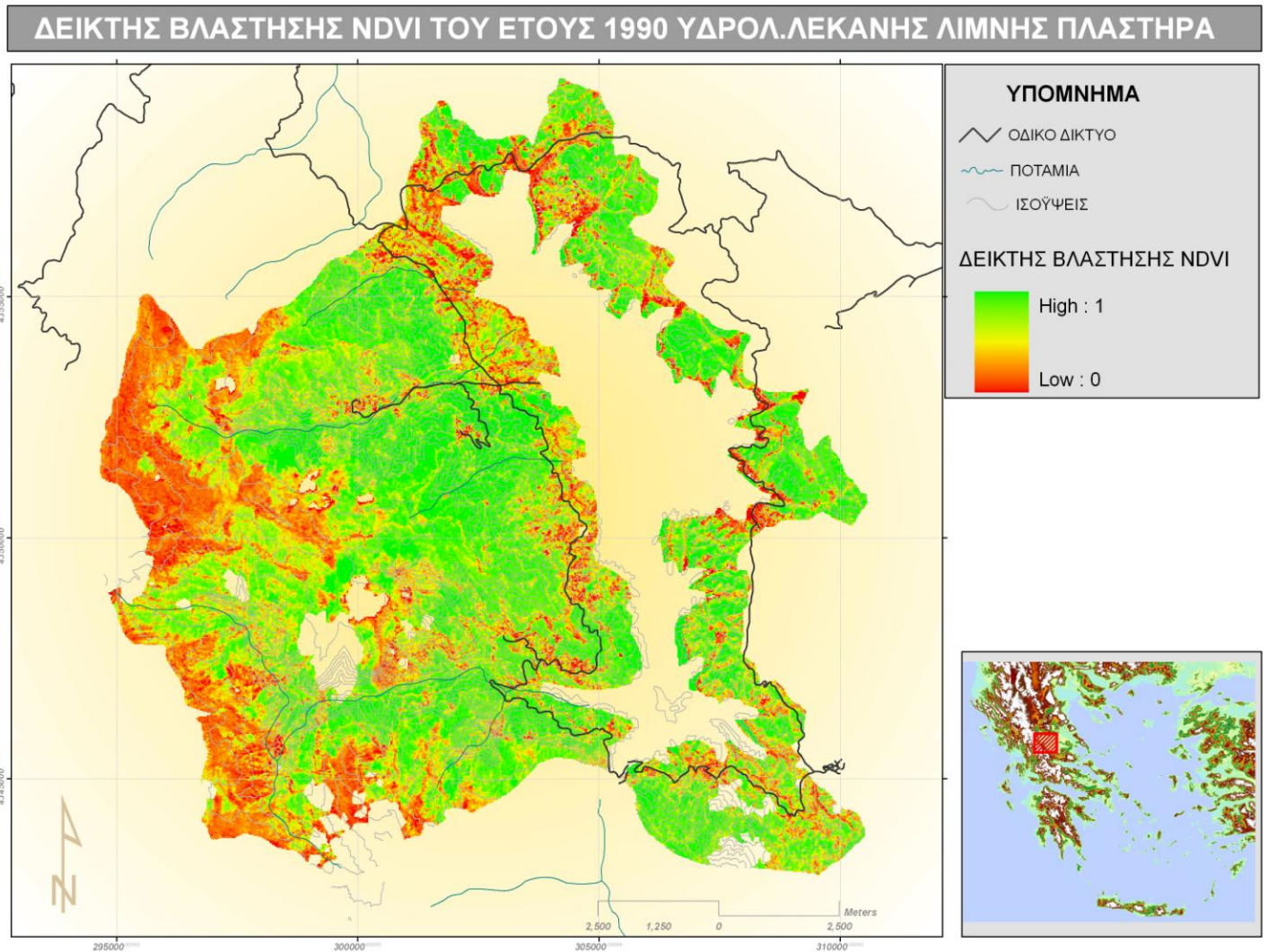
ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 1984 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ



Εικόνα 6: Χάρτης βλάστησης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 1984 με βάση τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI.

Στην περιοχή μελέτης ο σχετικός χάρτης φυτοκάλυψης του 1984 παρουσιάζει τιμές που κυμαίνονται από 0 έως περίπου 0,70, ενώ ο μέσος όρος των τιμών φυτοκάλυψης για ολόκληρη την περιοχή είναι 0.399. Η χωρική κατανομή της φυτοκάλυψης χαρακτηρίζεται από έντονη βλάστηση στις χαμηλού υψόμετρου περιοχές (περίπου 800-1000 m) και από χαμηλού βαθμού φυτοκάλυψη στις περισσότερο ορεινές περιοχές (1500-2000 m) όπου υπάρχουν οικισμοί, λιβάδια και άγονες περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, στις περιοχές των καλλιεργειών, της χέρσας γης, των οικισμών και άγονων περιοχών η τιμή του δείκτη βλάστησης κυμαίνεται από το

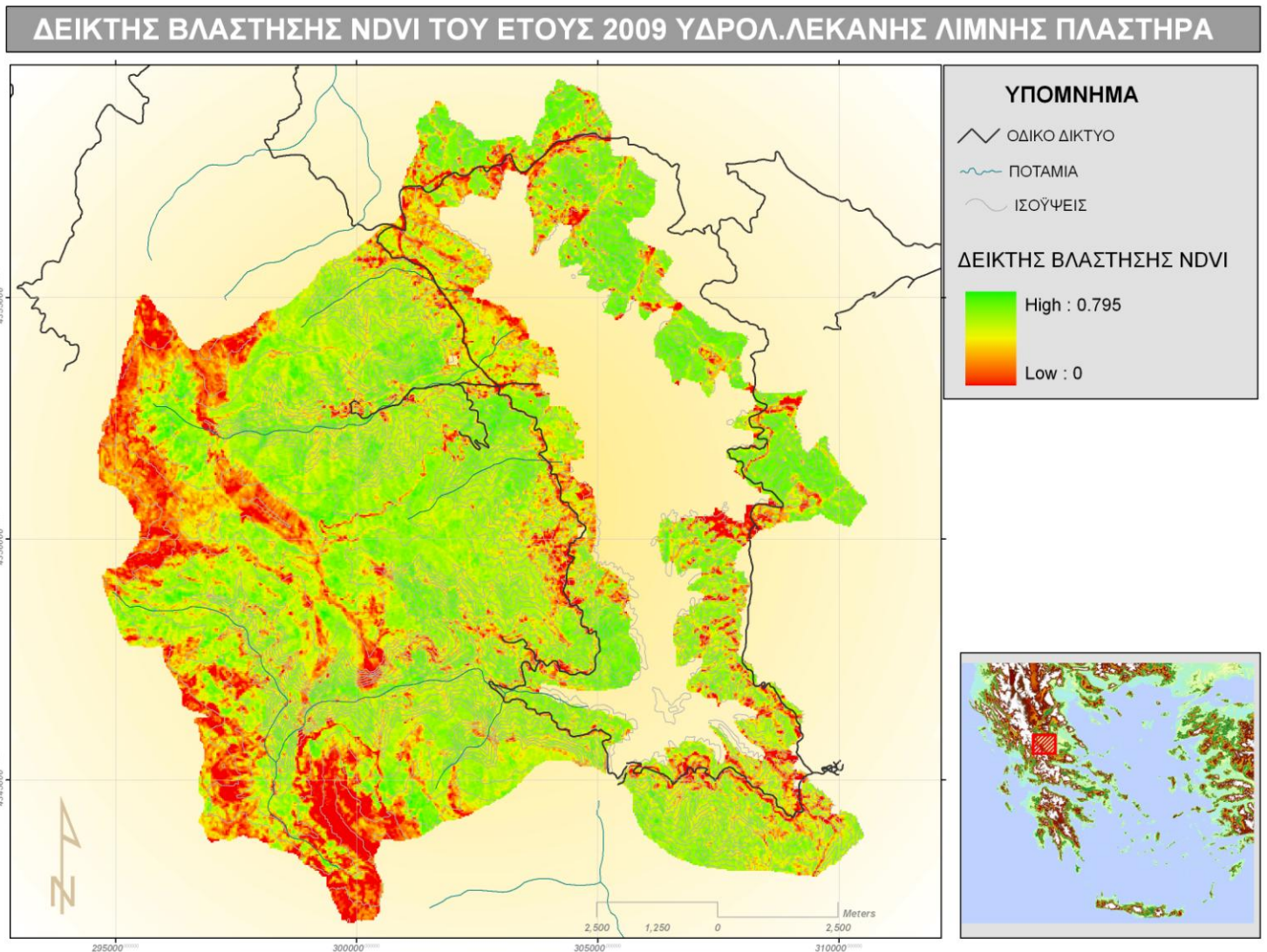
0 έως 0,3 ενώ η μέγιστη τιμή 0,7 εμφανίζεται στις περιοχές των κωνοφόρων, μεταβατικών και πλατύφυλλων δασών.



Εικόνα 7: Χάρτης βλάστησης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 1990 με βάση τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI.

Παραπάνω παρουσιάζεται ο χάρτης φυτοκάλυψης της χρονολογίας 1990. Τα κενά τμήματα που εμφανίζονται στο χάρτη είναι κομμένη πληροφορία της δορυφορικής εικόνας λόγω ύπαρξης σύννεφων με σκοπό την καλύτερη και πιο αξιόπιστη επεξεργασία και απόδοση των αποτελεσμάτων. Στον εν λόγω χάρτη οι τιμές του δείκτη NDVI κυμαίνονται από 0 έως 1, οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές

εμφανίζονται στις ίδιες τοποθεσίες με το χάρτη του 1984 και ο μέσος όρος των τιμών είναι 0.678. Παρατηρείται ότι η βλάστηση της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Πλαστήρα του 1990 είναι πολύ πιο πλούσια σε σχέση με αυτή της ημερομηνίας 1984 εφόσον η μέγιστη τιμή είναι 1, του 1984 είναι 0,70 και η μέση τιμή του δείκτη NDVI του 1984 είναι 0.399 ενώ του 1990 είναι 0.678 για ολόκληρη την περιοχή.



Εικόνα 8: Χάρτης βλάστησης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 2009 με βάση τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI.

Ο συγκεκριμένος χάρτης αφορά τη βλάστηση του 2009 με τις τιμές του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI να κυμαίνονται από 0 έως 0,79 και ο μέσος όρος τιμών της ευρύτερης περιοχής να είναι 0.563. Επίσης φαίνεται ότι στις περιοχές των καλλιεργειών, της χέρσας γης, των οικισμών και των άγονων περιοχών η τιμή του δείκτη βλάστησης είναι χαμηλή μεταξύ 0 και 0,3 ενώ η μέγιστη τιμή 0,79 εντοπίζεται για ακόμα μια φορά στις περιοχές των κωνοφόρων, μεταβατικών και πλατύφυλλων δασών.

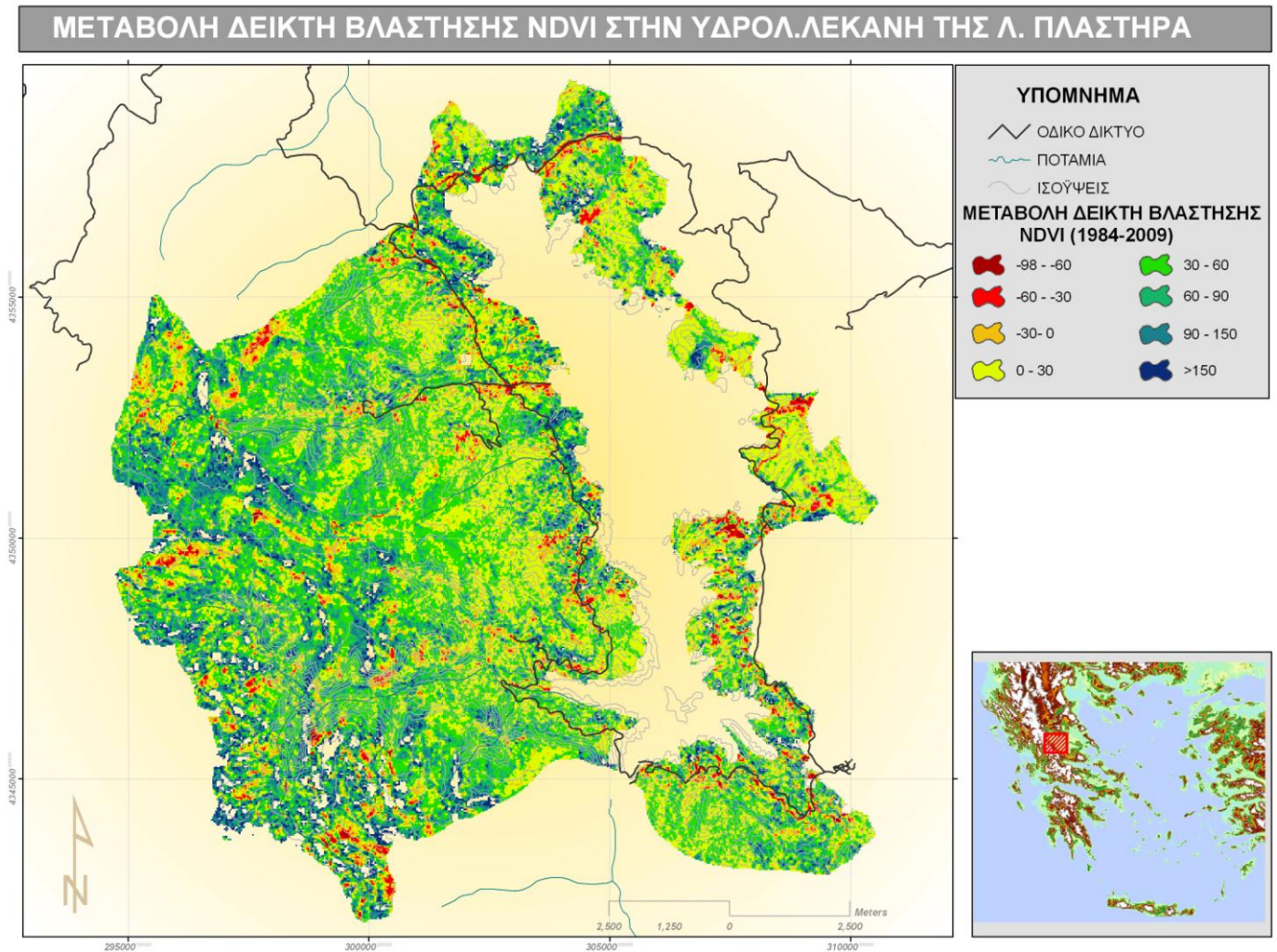
Συγκριτικά με τις χρονιές 1984 και 2009 παρατηρείται ότι η βλάστηση της χρονολογίας 1990 είναι πιο πλούσια και υγιής κυρίως στις περιοχές που κυριαρχείται από δάση, εφόσον παρουσιάζει μέγιστη τιμή του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (1.0) μεγαλύτερη από αυτές του 1984 (0.70) και του 2009 (0.79). Επιπρόσθετος λόγος που αποδεικνύει την αφθονία και την υγεία της βλάστησης του 1990 σε σχέση με τις άλλες δύο χρονολογίες, είναι ο μέσος όρος των τιμών του δείκτη βλάστησης για όλη την περιοχή της υδρολογικής λεκάνης, ο οποίος είναι επίσης μεγαλύτερος (0.678) από αυτούς του 1984 (0.399) και του 2009 (0.563). Ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες έχουν προφανώς συνεισφέρει στην πλούσια βλάστηση του 1990 σε συνδυασμό με την μετατροπή της περιοχής από αγροκτηνοτροφική σε τουριστική παρόλο που το έτος 1990 εντάσσεται στην μεταβατική αναπτυξιακή περίοδο της περιοχής κατά την οποία η επίδραση του ανθρώπου στην βλάστηση δεν ήταν σημαντική.

5.2.1 Υπολογισμός μεταβολής Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI)

Η ποσοστιαία μεταβολή της βλάστησης κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2009 στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα αποδόθηκε χρησιμοποιώντας τον μαθηματικό τύπο που αναλύθηκε στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας. Το αποτέλεσμα ήταν ένα αρχείο τύπου raster το οποίο κατηγοριοποιήθηκε σε κλάσεις σύμφωνα με τη μεταβολή του δείκτη βλάστησης. Οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν είναι οι ακόλουθες:

-98% έως -60% (πολύ σημαντική μείωση), -60% έως -30% (σημαντική μείωση), -30% έως +0% (μέτρια μείωση), +0% έως + 30% (μικρή αύξηση), +30% έως +60%

(μέτρια αύξηση), +60% έως +90% (σημαντική αύξηση), >90% (πολύ σημαντική αύξηση) και ο χάρτης μεταβολής της φυτοκάλυψης (εικόνα 9) παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 9: Χάρτης ποσοστιαίας μεταβολής της βλάστησης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα κατά τη χρονική διάρκεια 1984-2009 με βάση τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI.

Στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα ο χάρτης ποσοστιαίας μεταβολής της βλάστησης παρουσιάζει ένα εύρος τιμών που κυμαίνεται από -96 έως και περισσότερο από +150. Η μέση τιμή της ποσοστιαίας μεταβολής της φυτοκάλυψης στην περιοχή μελέτης για το χρονικό διάστημα 1984-2009 είναι

περίπου 47% , χαρακτηρίζεται δηλαδή γενικότερα από μια μέτρια αύξηση της βλάστησης. Η χωρική κατανομή της μεταβολής της βλάστησης δείχνει ότι στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής παρατηρείται μικρή (+0% έως + 30%) και μέτρια (+30% έως +60%) αύξηση με κάποιες μικρές εξαιρέσεις περιμετρικά της λίμνης Πλαστήρα, νοτιοδυτικά και σε κάποια άλλα τμήματα της υδρολογικής λεκάνης όπου παρατηρείται σημαντική (-60% έως -30%) και μέτρια (-30% έως +0%) μείωση.

Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται μικρή αύξηση της βλάστησης περιμετρικά της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα στο σημείο όπου επικρατούν τα δάση πλατύφυλλων. Παράλληλα, μέτρια παρουσιάζεται η αύξηση των κωνοφόρων και μεταβατικών δασών καθώς αυτά εναλλάσσονται με τα πλατύφυλλα στην υδρολογική λεκάνη. Τέλος, δυτικά της λεκάνης παρατηρούνται οι ισχυρότερες αλλαγές βλάστησης. Οι τοποθεσίες οι οποίες κυριαρχούνται από άγονες περιοχές και θαμνότοπους παρουσιάζουν μια μέτρια μείωση (-30% έως +0%) της βλάστησης νοτιοδυτικά ενώ κάποια άλλα τμήματα βορειοδυτικά επιδεικνύουν σημαντική (+60% έως +90%) αλλά και πολύ σημαντική (>90%) αύξηση.

Εξετάζοντας τις ανωτέρω αυξομειώσεις σε σχέση με την τοπογραφία της περιοχής προκύπτει ότι οι περιοχές που παρουσιάζουν αύξηση της βλάστησης συμπίπτουν κυρίως με τα πιο ορεινά και ανεκμετάλλευτα τμήματα της υδρολογικής λεκάνης (1400-2000 m) ενώ οι περιοχές που παρουσιάζουν μείωση της βλάστησης με τα πιο πεδινά τμήματα (800-1400 m) που αποτελούν λιβάδια, οικισμούς και καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

5.3 Συσχέτιση του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) με χρήσεις γης και περιβαλλοντικές παραμέτρους

Όπως έχει προαναφερθεί στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, η παρούσα μελέτη έχει ως στόχο να εξακριβώσει την ύπαρξη ή όχι συσχέτισης μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής καθώς και το βαθμό αυτής. Στη συγκεκριμένη εργασία, ανεξάρτητες μεταβλητές X είναι η θερμοκρασία που σημειώθηκε το χρονικό διάστημα 1984-2009 στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα, η βροχόπτωση του ίδιου χρονικού διαστήματος, τα ποσοστά των επιμέρους χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης που αφορούν τη βλάστηση όλων αυτών των ετών και τέλος η

εξαμυσοδιαπνοή και η εποχιακή εξαμυσοδιαπνοή της άνοιξης επίσης από το 1984 έως και το 2009.

Οι χρήσεις γης που επιλέχθηκαν και αφορούν τη βλάστηση είναι τα κωνοφόρα, μεταβατικά και πλατύφυλλα δάση, η καλλιεργήσιμη και μη γη και τα λιβάδια και οι θαμνότοποι. Εξαρτημένη μεταβλητή Y είναι ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) καθώς και ο NDVI των επιμέρους χρήσεων γης κάθε έτους. Στη συνέχεια ακολουθούν οι πίνακες με τις τιμές όλων των παραμέτρων, εξαρτημένων και ανεξάρτητων (πίνακες 10,11,12), οι πίνακες περιγραφικής στατιστικής (πίνακας 13) και συσχετίσεων (correlation matrix) (πίνακας 14) και τα διαγράμματα διασποράς στα οποία παρατηρήθηκε υψηλή συσχέτιση ακολουθούμενα από την ερμηνεία τους.

Τα υπόλοιπα διαγράμματα με τις ασθενέστερες συσχετίσεις μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής παρουσιάζονται στο παράρτημα της μελέτης. Στα διαγράμματα διασποράς παρουσιάζεται η γραμμική εξίσωση $y=f(x)$, η πολυωνυμική εξίσωση στις περιπτώσεις που προτιμήθηκε λόγω καλύτερου συντελεστή προσδιορισμού, ο συντελεστής προσδιορισμού και ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson r .

Πίνακας 10: Μέση τιμή NDVI των χρήσεων γης που αφορούν τη βλάστηση ανά χρονολογία.

ΗΜΕΡΟ-ΜΗΝΙΑ	NDVI (ΛΙΒΑΔΙΑ_ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ)	NDVI (ΚΩΝΟΦΟΡΑ_ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ ΔΑΣΗ)	NDVI (ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ ΚΑΙ ΜΗ ΓΗ)	NDVI (ΔΑΣΗ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ)
1 1984	0.21049337	0.463092261	0.395362797	0.558651777
2 1985	0.217362136	0.441597863	0.457767267	0.553501275
3 1987	0.268445106	0.401000671	0.528748753	0.511146018
4 1989	0.316910616	0.495273506	0.619478883	0.593772622
5 1990	0.467038424	0.776792427	0.654018598	0.766686285
6 2002	0.471331528	0.81827306	0.624357274	0.770660419
7 2003	0.374554679	0.479907956	0.548639988	0.5438538
8 2007	0.463555797	0.585308138	0.657172791	0.597608018
9 2009	0.42427199	0.628015819	0.615721457	0.691734721

Πίνακας 11: Ποσοστά χρήσεων γης που σχετίζονται με τη βλάστηση ανά χρονολογία

ΗΜΕΡΟ-ΜΗΝΙΑ	ΛΙΒΑΔΙΑ_ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ (%)	ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ Κ ΜΗ ΓΗ(%)	ΚΩΝΟΦΟΡΑ_ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ ΔΑΣΗ(%)	ΔΑΣΗ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ (%)
1 1984	10.3356	12.6285	31.4053	12.6789
2 1985	12.1397	11.35443	20.41599	16.4238
3 1987	14.0807	10.7695	28.294701	14.4424
4 1989	15.1026	12.3045	25.914	16.3328
5 1990	9.784342	13.9068	28.52553	19.46698
6 2002	17.835699	8.6805	25.0818	17.7749
7 2003	15.5903	10.5231	29.2066	14.4565
8 2007	15.63111	16.30552	27.86681	12.38335
9 2009	14.5545	9.69556	28.384	15.6059

Πίνακας 12: Περιβαλλοντικές παράμετροι οι οποίες αποτέλεσαν τις ανεξάρτητες μεταβλητές κατά την εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης.

	ΗΜΕΡΟ -ΜΗΝΙΑ	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ Α (°C)	ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑ -ΠΝΟΗ (mm/y)	NDVI	ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝ ΟΗ (mm/y)
1	1984	1330.76333	10.475	1377.17863	0.399093	349.935541
2	1985	1160.73	11.1833333	1438.4759	0.3988	399.871372
3	1987	1180.57667	10.5166667	1423.03999	0.381848	340.22835
4	1989	977.853333	11	1408.59238	0.475477	402.952914
5	1990	694.6	11.65	1496.43281	0.67827	429.492277
6	2002	1140.90667	11.4385833	1039.15343	0.669986	242.141814
7	2003	1155.18312	11.1894201	1029.12182	0.452848	239.623514
8	2007	767.317933	12.2451005	1064.7005	0.547392	260.092255
9	2009	1034.85194	11.9643385	990.056535	0.563673	272.792691

Με τη συνεισφορά της περιγραφικής στατιστικής παρουσιάζονται τα δεδομένα μας συνοπτικά και αποτελεσματικά. Συγκεκριμένα, στον ακόλουθο πίνακα αναγράφεται το σύνολο των παραμέτρων-παρατηρήσεων, η μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή τους καθώς και η τυπική απόκλιση. Η τυπική απόκλιση μας δίνει ένα μέτρο της μέσης απόστασης-απόκλισης των παρατηρήσεων από τη μέση τιμή τους.

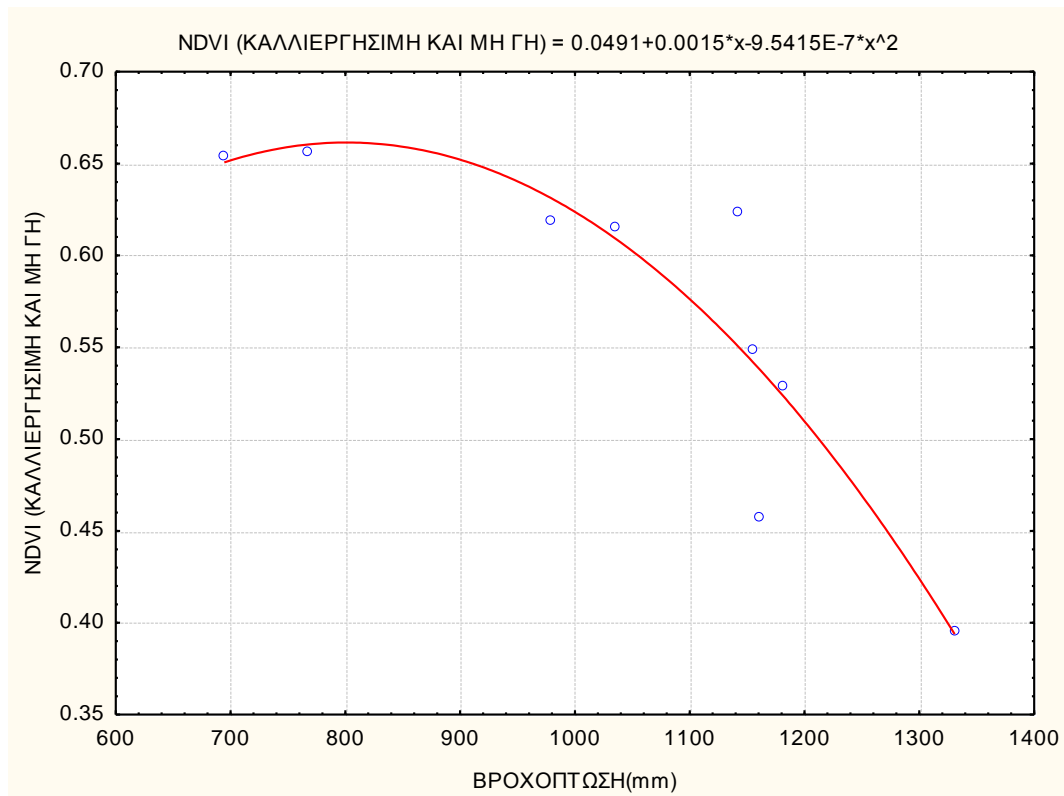
Πίνακας 13: Περιγραφική στατιστική των διαθέσιμων δεδομένων.

	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.
NDVI (ΛΙΒΑΔΙΑ_ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ)	9	0.357	0.2105	0.471	0.1071
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ(mm)	9	1049.198	694.6000	1330.763	205.8865
NDVI (ΚΩΝΟΦΟΡΑ_ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ ΔΑΣΗ)	9	0.565	0.4010	0.818	0.1492
NDVI (ΔΑΣΗ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ)	9	0.621	0.5111	0.771	0.0977
NDVI (ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ ΚΑΙ ΜΗ ΓΗ)	9	0.567	0.3954	0.657	0.0917
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	9	11.296	10.4750	12.245	0.6006
ΚΩΝΟΦΟΡΑ_ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ ΔΑΣΗ(%)	9	27.233	20.4160	31.405	3.1358
ΔΑΣΗ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ (%)	9	15.507	12.3834	19.467	2.3008
ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ Κ ΜΗ ΓΗ(%)	9	11.796	8.6805	16.306	2.3111
ΛΙΒΑΔΙΑ_ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ (%)	9	13.895	9.7843	17.836	2.6456
NDVI	9	0.507	0.3818	0.678	0.1138
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (mm/y)	9	1251.861	990.0565	1496.433	212.9084
ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (mm/y)	9	326.348	239.6235	429.492	74.6086

Η εφαρμογή της ανάλυσης παλινδρόμησης έγινε σε κάθε πιθανό συνδυασμό των παραπάνω παραμέτρων. Η ανεξάρτητη παράμετρος που επέδειξε τη μεγαλύτερη συσχέτιση με τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI αλλά και με τους δείκτες NDVI των χρήσεων γης που σχετίζονται με τη βλάστηση (τα κωνοφόρα, μεταβατικά και πλατύφυλλα δάση, η καλλιεργήσιμη και μη γη, τα λιβάδια και οι θαμνότοποι) είναι η θερμοκρασία που σημειώθηκε στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα κατά τη διάρκεια των ετών 1984, 1985, 1987, 1989, 1990, 2002, 2003, 2007 και 2009.

Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει τη φυτοκάλυψη με διάφορους τρόπους. Η βλάστηση μπορεί να αυξηθεί λόγω υψηλότερων θερμοκρασιών (Williams, Eugster, Rastetter, McFadden, & Chapin, 2000) και μεγαλύτερων περιόδων ανάπτυξης εφόσον το στρώμα των πάγων μειώνεται και το χιόνι λιώνει πιο γρήγορα την άνοιξη (Groisman, Karl, & Knight, 1994). Αντίθετα, η βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή, η εποχιακή εξατμισοδιαπνοή και τα ποσοστά των χρήσεων γης ανάλογα με την έκταση που καταλαμβάνουν στη λεκάνη απορροής, επέδειξαν ασθενή συσχέτιση με τις προαναφερθείσες εξαρτημένες παραμέτρους.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα διασποράς με το μεγαλύτερο συντελεστή προσδιορισμού. Όσον αφορά την ανάλυση παλινδρόμησης μεταξύ των δεικτών NDVI των χρήσεων γης και τη βροχόπτωση, το μεγαλύτερο συντελεστή προσδιορισμού παρουσίασε ο NDVI της χρήσης γης καλλιεργήσιμη και μη γη ίσο με 0.6621 (εικόνα 16).



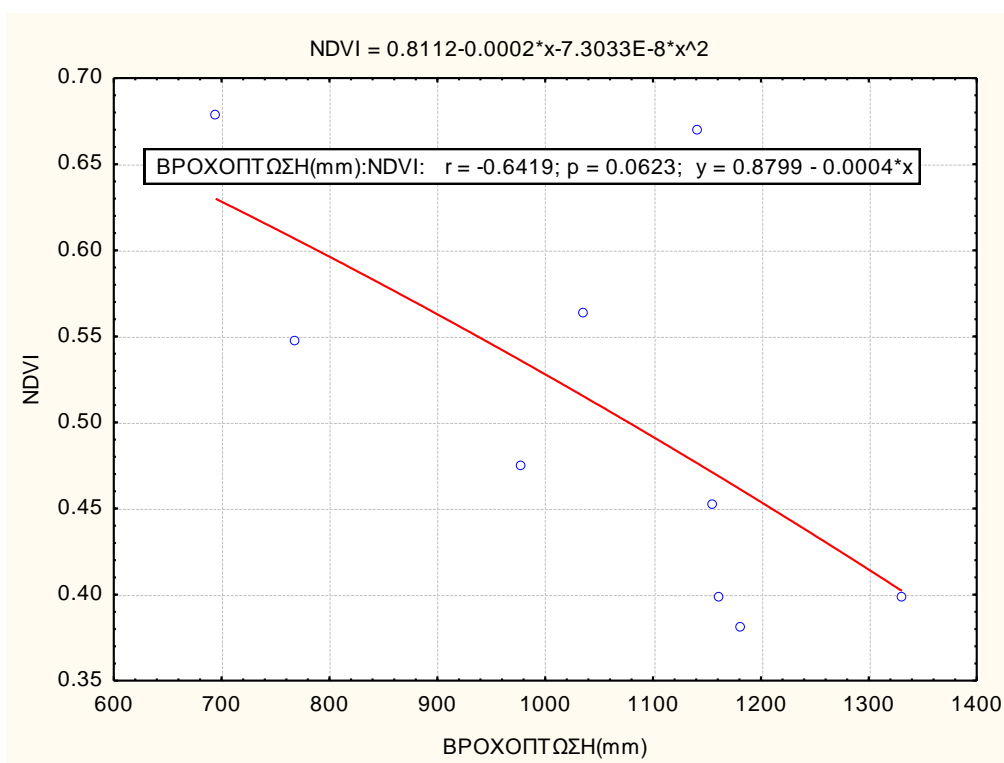
BΡΟΧΟΠΤΩΣΗ(mm):NDVI (ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ Κ ΜΗ ΓΗ): $r = -0.8137$; $p = 0.0076$; $y = 0.9472 - 0.0004*x$

Εικόνα 16: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της βροχόπτωσης και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης καλλιεργήσιμη και μη γη της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Εκτός από το συντελεστή προσδιορισμού, το στατιστικό πακέτο Statistica 7 υπολογίζει και το συντελεστή γραμμικής συσχέτισης του Pearson (r) ο οποίος επίσης παίρνει τιμές από $[-1,1]$. Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι ίσος με -0.8137 γεγονός που υποδεικνύει πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ των 2 μεταβλητών. Αυτό συμβαίνει γιατί ο βαθμός γραμμικής συσχέτισης καθορίζεται από την απόλυτη τιμή του r και όχι από το πρόσημό του. Το πρόσημο καθορίζει το είδος της συσχέτισης, θετική ή αρνητική.

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα επομένως συμπεραίνεται ότι η γραμμική συσχέτιση εκτός από πολύ ισχυρή είναι και αρνητική, δηλαδή όσο αυξάνονται οι τιμές της βροχόπτωσης τόσο μειώνονται οι τιμές του NDVI της καλλιεργήσιμης και μη γης. Αντίστοιχα, θα γίνει αναφορά στις μικρότερες τιμές των συντελεστών προσδιορισμού και των συντελεστών γραμμικής συσχέτισης όσον αφορά τη συσχέτιση των υπόλοιπων NDVI χρήσεων γης με τη βροχόπτωση.

Η ανάλυση παλινδρόμησης μεταξύ του NDVI των λιβαδιών-θαμνότοπων και της βροχόπτωσης είχε ως αποτέλεσμα το συντελεστή προσδιορισμού ίσο με 0.4882 και το συντελεστή γραμμικής συσχέτισης $r=-0.69$. Ο NDVI των κωνοφόρων-μεταβατικών δασών έδωσε ως αποτέλεσμα $R^2=0.2653$ και $r=-0.51$ ενώ ο NDVI των πλατύφυλλων δασών 0.2355 και -0.48 αντίστοιχα. Η βροχόπτωση τέλος συσχετίστηκε και με το γενικό δείκτη NDVI της περιοχής (εικόνα 17). Το διάγραμμα διασποράς είναι το ακόλουθο και τα αποτελέσματα αυτού: $R^2=0.4120$ και $r=-0.64$. Παρατηρείται ότι η βροχόπτωση γενικά διατηρεί μια αρνητική σχέση με τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI, δηλαδή αυξήσεις στην τιμή της έχουν ως αποτέλεσμα μειώσεις στις τιμές του NDVI.

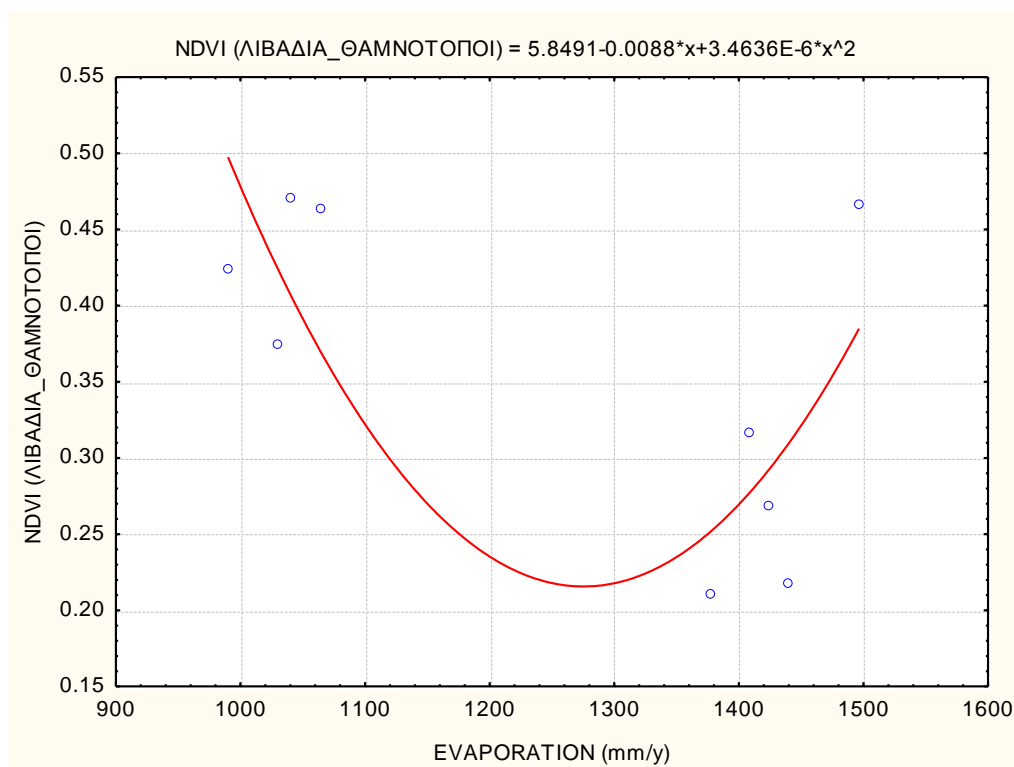


Εικόνα 17: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας βροχόπτωσης και του ετήσιου δείκτη βλάστησης NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού φανερώνει μια αθνή συσχέτιση μεταξύ της βροχόπτωσης και του δείκτη βλάστησης ενώ η τιμή του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης φανερώνει μία μέση αρνητική γραμμική συσχέτιση.

Αναφορικά με την ανάλυση παλινδρόμησης μεταξύ του NDVI, του NDVI των χρήσεων γης και της εξατμισοδιαπνοής επίσης δεν εξακριβώθηκε ισχυρή συσχέτιση

μεταξύ τους. Στη συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα με το μεγαλύτερο συντελεστή προσδιορισμού και το μεγαλύτερο συντελεστή γραμμικής συσχέτισης συγκριτικά με τα υπόλοιπα της προηγούμενης κατηγορίας (NDVI-εξατμισοδιαπνοή) και είναι αυτό που αφορά τη συσχέτιση μεταξύ του NDVI των λιβαδιών-θαμνότοπων και της εξατμισοδιαπνοής (εικόνα 18).



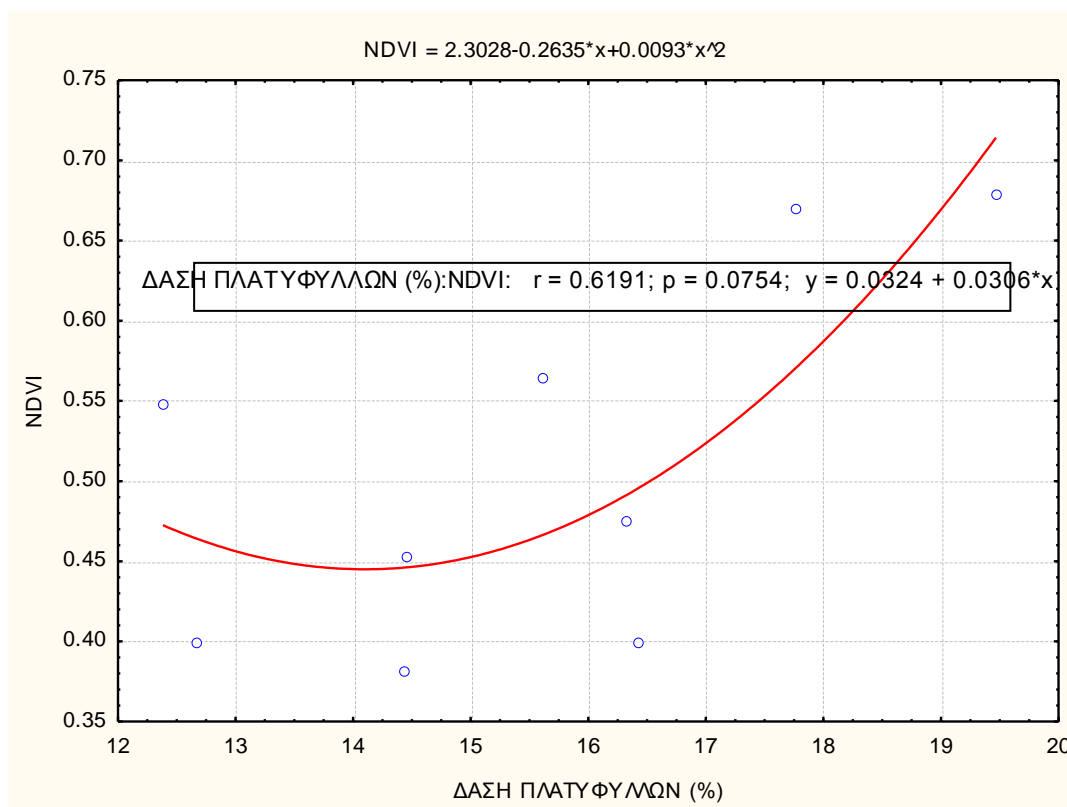
EVAPORATION (mm/y):NDVI (ΛΙΒΑΔΙΑ_ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ): $r = -0.5741$; $p = 0.1060$; $y = 0.7187 - 0.0003*x$

Εικόνα 18: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας εξατμισοδιαπνοής και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης λιβάδια και θαμνότοποι της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Ο συντελεστής προσδιορισμού υπολογίστηκε ίσος με 0.329 και ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης ίσος με -0.5741. Πρόκειται δηλαδή για μια μέση γραμμική αρνητική συσχέτιση σύμφωνα με την οποία όσο αυξάνεται η τιμή της εξατμισοδιαπνοής, θα φθίνει με μέσο ρυθμό η τιμή του NDVI των λιβαδιών-θαμνότοπων. Αντίστοιχα, οι υπόλοιπες συσχετίσεις είχαν τις ακόλουθες τιμές: η συσχέτιση NDVI των κωνοφόρων-μεταβατικών δασών με την εξατμισοδιαπνοή παρουσίασαν τα αποτελέσματα $R^2=0.094$ και $r=-0.3079$ (καμμία γραμμική συσχέτιση). Ο NDVI των πλατύφυλλων δασών είχαν ως αποτέλεσμα $R^2=0.048$ και

$r=-0.22$ και ο NDVI της καλλιεργήσιμης και μη γης $R^2=0.1315$ και $r=-0.3628$ (ασθενής γραμμική συσχέτιση) αντίστοιχα. Παρόμοια είναι και η συμπεριφορά του γενικού NDVI σε σχέση με την εξαμυσοδιαπνοή, τα αποτελέσματα των οποίων είναι $R^2=0.1062$ και $r=-0.3259$. Επίσης παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάζονται και στις συσχετίσεις του NDVI και του NDVI των χρήσεων γης με την εποχιακή εξαμυσοδιαπνοή, από τα οποία μεγαλύτερη συσχέτιση εμφανίζεται να παρουσιάζει ο NDVI των λιβαδιών-θαμνότοπων με $R^2=0.1985$ και $r=-0.4456$ (ασθενής γραμμική συσχέτιση). Οι υπόλοιπες παράμετροι είχαν ακόμα μικρότερες τιμές συντελεστή προσδιορισμού και συντελεστή γραμμικής συσχέτισης με τη μικρότερη αυτή μεταξύ του NDVI των πλατύφυλλων δασών και της εποχιακής εξαμυσοδιαπνοής να είναι $R^2=0.0029$ και $r=-0.0543$ αντίστοιχα.

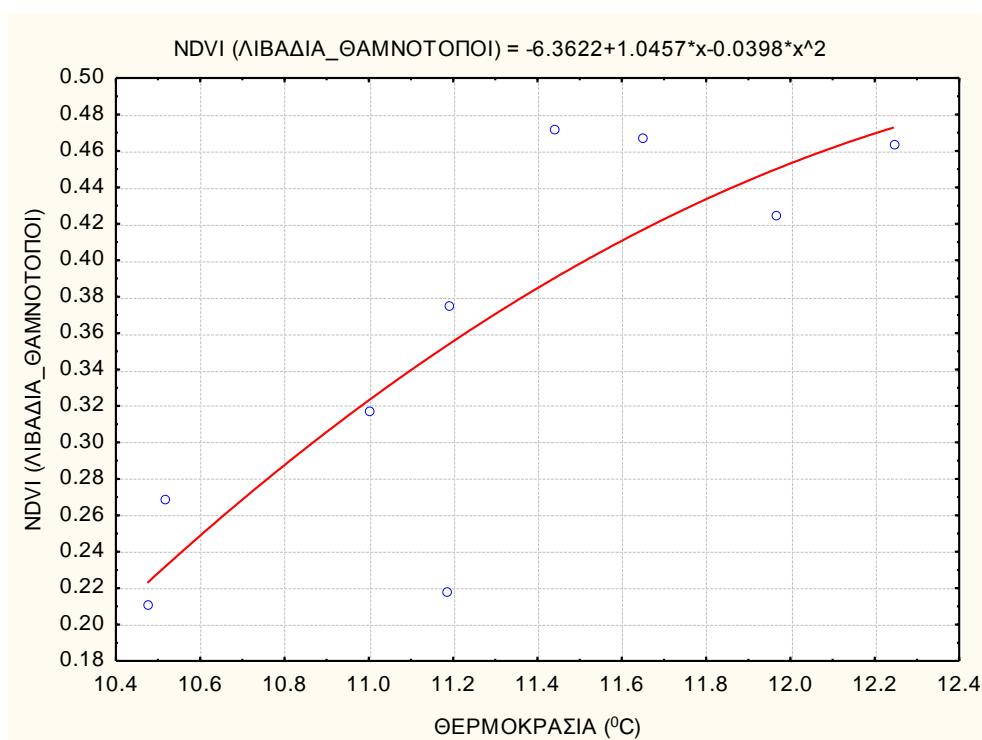
Η επόμενη εφαρμογή της ανάλυσης παλινδρόμησης έγινε μεταξύ του NDVI όλων των ημερομηνιών και των ποσοστών χρήσεων γης που καταλαμβάνουν στην υδρολογική λεκάνη της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά των προηγούμενων συσχετίσεων εφόσον οι συσχετίσεις είναι ασθενείς και οι τιμές των συντελεστών προσδιορισμού και αυτών της γραμμικής συσχέτισης είναι πολύ μικρές. Οι μεγαλύτερες από αυτές τις τιμές παρουσιάζονται στο διάγραμμα διασποράς που ακολουθεί, αυτό μεταξύ του NDVI και του ποσοστού που καταλαμβάνουν τα δάση πλατύφυλλων (εικόνα 19).



Εικόνα 19: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ του ποσοστού που καταλαμβάνει στην υπό μελέτη λεκάνη η χρήση γης δάση πλατύφυλλων και του ετήσιου NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

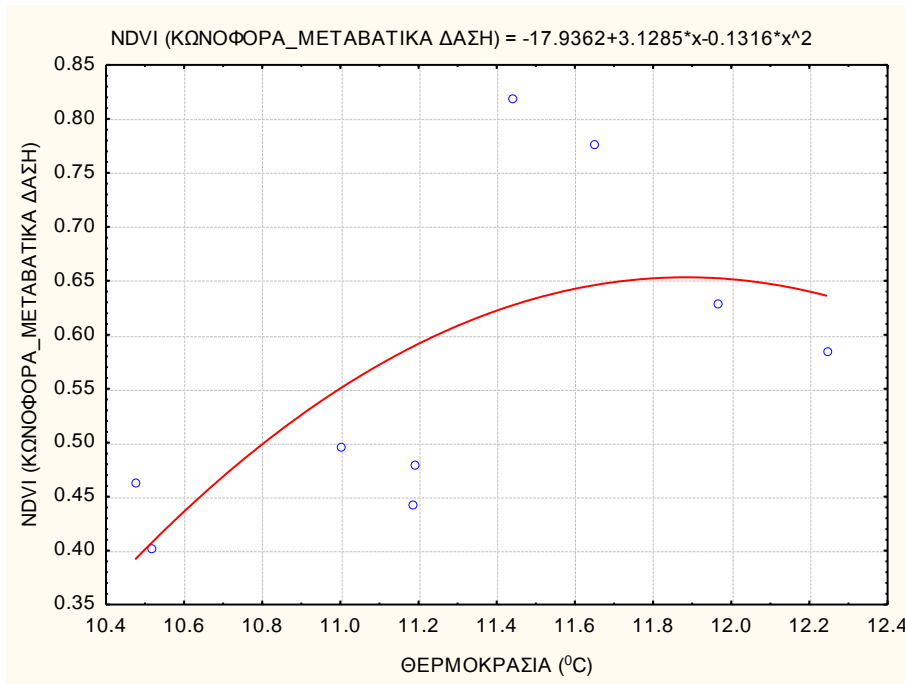
Παρατηρώντας το συγκεκριμένο διάγραμμα και τις τιμές των προαναφερθέντων συντελεστών ($R^2=0.3833$ και $r=0.6191$) συμπεραίνεται ότι επικρατεί μια μέση θετική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των δύο παραμέτρων, δηλαδή όσο αυξάνεται η τιμή του ποσοστού των πλατύφυλλων δασών αυξάνεται και η τιμή του γενικού NDVI της υπό μελέτη περιοχής με ένα μέσο ρυθμό. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα των υπόλοιπων παραμέτρων είναι: NDVI και ποσοστό κωνοφόρων-μεταβατικών δασών: $R^2=0.0003$ και $r=0.0178$, NDVI και ποσοστό καλλιεργήσιμης και μη γης : $R^2=0.0007$ και $r=0.0267$ και τέλος NDVI και ποσοστό λιβαδιών-θαμνότοπων: $R^2=0.037$ και $r=0.1937$.

Όπως προαναφέρθηκε, η ανάλυση παλινδρόμησης μεταξύ της θερμοκρασίας, του NDVI και του NDVI της εκάστοτε χρήσης γης επέδειξε τη μεγαλύτερη συσχέτιση. Μέσω του διαγράμματος διασποράς που ακολουθεί (εικόνα 20) παρατηρείται ότι ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης r είναι περίπου ίσος με 0.8, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ του NDVI των λιβαδιών-θαμνότοπων και της θερμοκρασίας. Επιπρόσθετα, ο συντελεστής προσδιορισμού ισούται με 0.65 το οποίο επίσης αποδεικνύει την αρκετά ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των δύο προαναφερθέντων μεταβλητών.



$$\text{ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (}^{\circ}\text{C):NDVI (ΛΙΒΑΔΙΑ_ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ): } r = 0.8090; p = 0.0083; y = -1.2725 + 0.1443 * x$$

Εικόνα 20: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας θερμοκρασίας και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης λιβάδια και θαμνότοποι της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

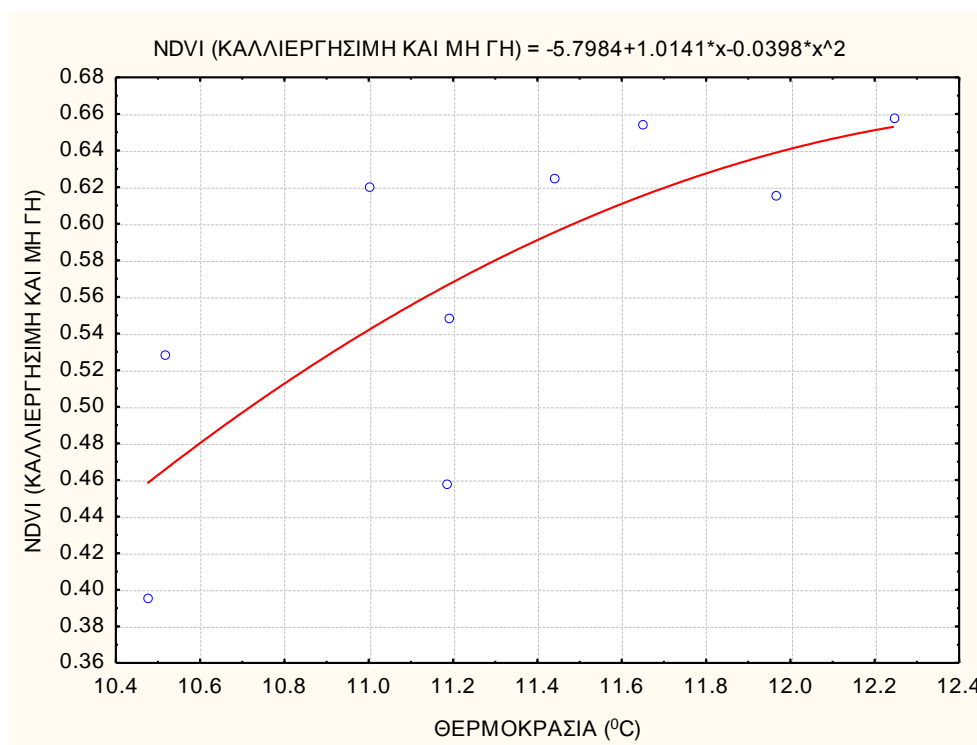


$$\text{ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (}^{\circ}\text{C):NDVI (ΚΩΝΟΦΟΡΑ_ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ ΔΑΣΗ): } r = 0.5965; p = 0.0900; y = -1.1079 + 0.1481 * x$$

Εικόνα 21: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας θερμοκρασίας και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης κωνοφόρα και μεταβατικά δάση της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Στο παραπάνω διάγραμμα (εικόνα 21) η συσχέτιση εμφανίζεται μικρότερη σε σχέση με την προηγούμενη εφόσον ο συντελεστής προσδιορισμού είναι $R^2=0.356$ και ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι $r=0.596$. Παρόλα αυτά εντοπίζεται μία μέση θετική γραμμική συσχέτιση, που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται διαχρονικά η θερμοκρασία στην υδρολογική λεκάνη αυξάνεται και ο δείκτης βλάστησης NDVI των κωνοφόρων-μεταβατικών δασών με ένα μέσο ρυθμό.

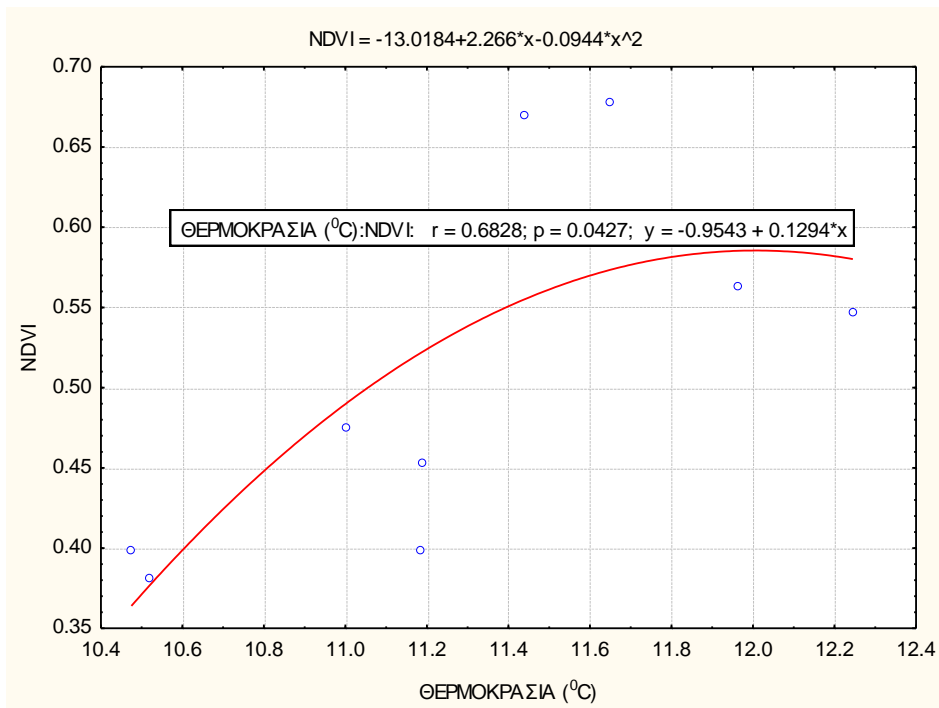
Η αμέσως επόμενη συσχέτιση που αφορά την επίδραση της θερμοκρασίας στο δείκτη NDVI κάποιας χρήσης γης είναι αυτή με τον NDVI της καλλιεργήσιμης και μη γης και το διάγραμμα διασποράς είναι το ακόλουθο (εικόνα 22). Ο συντελεστής προσδιορισμού αγγίζει το 0.55 ενώ ο συντελεστής Pearson είναι ίσος με 0.74. Για ακόμα μία φορά εντοπίζεται ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών και κυρίως επιβεβαιώνεται η επίδραση της θερμοκρασίας στον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης.



ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C):NDVI (ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ Κ ΜΗ ΓΗ): $r = 0.7409$; $p = 0.0224$; $y = -0.7114 + 0.1132*x$

Εικόνα 22: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας θερμοκρασίας και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης καλλιεργήσιμη και μη γη της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Αντίθετα, ο NDVI των πλατύφυλλων δασών δείχνει μικρότερη απόκριση στην αύξηση της θερμοκρασίας εφόσον η ανάλυση παλινδρόμησης που εφαρμόστηκε μεταξύ τους είχε ως αποτέλεσμα το συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 0.3035$ και το συντελεστή γραμμικής συσχέτισης $r = 0.55$. Φυσικά υφίσταται η επιρροή της θερμοκρασίας και στο δείκτη NDVI των πλατύφυλλων δασών αφού η γραμμική συσχέτιση που εντοπίζεται μεταξύ τους είναι μέση και θετική.



Εικόνα 23: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας θερμοκρασίας και του ετήσιου δείκτη βλάστησης NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα

Η τελευταία εφαρμογή της ανάλυσης παλινδρόμησης ήταν αυτή μεταξύ της θερμοκρασίας και του γενικού NDVI (εικόνα 23). Ο συντελεστής προσδιορισμού ήταν $R^2 = 0.4661$, πρόκειται δηλαδή για μία ασθενή συσχέτιση και ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης r ήταν ίσος με 0.6828. Αρχικά προκύπτει ότι η γραμμική συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας και του γενικού NDVI είναι θετική, δηλαδή με την αύξηση της τιμής της θερμοκρασίας αυξάνεται και η τιμή του NDVI, η τιμή όμως του συντελεστή του Pearson υποδηλώνει μία μέση γραμμική συσχέτιση, δηλαδή η αύξηση δε θα γίνεται με τον ίδιο ρυθμό.

Μία άλλη δυνατότητα που υπάρχει στο στατιστικό πακέτο Statistica 7 είναι η εξαγωγή και δημιουργία του πίνακα συσχετίσεων (correlation matrix), ο οποίος περιέχει σα στοιχεία του, τους συντελεστές συσχέτισης του Pearson για κάθε ζευγάρι μεταβλητών. Οριζόντια και κάθετα γράφονται οι μεταβλητές με την ίδια ακριβώς σειρά, οι τιμές είναι απαραίτητα ίσες με τη μονάδα στη διαγώνιο, ο πίνακας είναι συμμετρικός και κανένα στοιχείο δε μπορεί να πάρει τιμή μεγαλύτερη σε απόλυτη τιμή από το 1. Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας συσχετίσεων (πίνακας 14) όλων των παρατηρήσεων, όπου οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις έχουν επισημανθεί με κόκκινο χρώμα.

Παρατηρείται λοιπόν πως ο πίνακας συσχετίσεων επιβεβαιώνει τις προηγούμενες αναλύσεις της παλινδρόμησης και προκύπτει ότι οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές συσχετίσεις είναι αυτές μεταξύ του NDVI των λιβαδιών-θαμνότοπων με: τη βροχόπτωση ($r=-0,7$, μέση αρνητική γραμμική συσχέτιση) και τη θερμοκρασία ($r=0,81$, πολύ ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση). Η βροχόπτωση συσχετίζεται στατιστικά σημαντικά με: το δείκτη NDVI της καλλιεργήσιμης και μη γης ($r=-0.81$, πολύ ισχυρή αρνητική γραμμική συσχέτιση) και τη θερμοκρασία ($r=-0.73$, ισχυρή αρνητική γραμμική συσχέτιση).

Ο δείκτης NDVI της καλλιεργήσιμης και μη γης συσχετίστηκε γραμμικά με τη θερμοκρασία ($r=0,74$, ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση). Αντίστοιχα η θερμοκρασία εκτός των προαναφερθέντων συσχετίστηκε σημαντικά με το γενικό δείκτη NDVI της υδρολογικής λεκάνης ($r=0,68$, μέση θετική γραμμική συσχέτιση). Τέλος, το ποσοστό της έκτασης που καταλαμβάνουν στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα τα λιβάδια-θαμνότοποι, συσχετίζεται στατιστικά με την εξατμισοδιαπνοή ($r=-0.73$, ισχυρή αρνητική γραμμική συσχέτιση) και με την εποχιακή εξατμισοδιαπνοή ($r=-0.74$, ισχυρή αρνητική γραμμική συσχέτιση).

Πίνακας 14: Πίνακας συσχετίσεων (Correlation matrix) όλων των διαθέσιμων δεδομένων

	NDVI (ΛΙΒΑΔΙΑ_ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ)	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ(mm)	NDVI (ΚΩΝΟΦΟΡΑ_ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ_ΔΑΣΗ)	NDVI (ΔΑΣΗ_ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ)	NDVI (ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ_ΚΑΙ_ΜΗ_ΓΗ)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΚΩΝΟΦΟΡΑ_ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ_ΔΑΣΗ(%)	ΔΑΣΗ_ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ (%)	ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ_ΚΑΙ_ΜΗ_ΓΗ(%)	ΛΙΒΑΔΙΑ_ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ (%)	NDVI	ΕΞΑΤΜΙΣΗ (mm/y)	ΕΠΟΧΙΑΚΗ_ΕΞΑΤΜΙΣΗ_ΔΙΑΠΝΟΗ (mm/y)
NDVI (ΛΙΒΑΔΙΑ_ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ)	1.00	-0.70	0.83	0.76	0.90	0.81	0.14	0.35	0.10	0.42	0.90	-0.57	-0.45
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ(mm)	-0.70	1.00	-0.52	-0.49	-0.81	-0.73	0.00	-0.35	-0.63	0.06	-0.64	-0.02	-0.19
NDVI (ΚΩΝΟΦΟΡΑ_ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ_ΔΑΣΗ)	0.83	-0.52	1.00	0.98	0.67	0.60	-0.01	0.63	-0.06	0.17	0.98	-0.31	-0.18
NDVI (ΔΑΣΗ_ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ)	0.76	-0.49	0.98	1.00	0.63	0.55	-0.04	0.72	-0.13	0.07	0.96	-0.22	-0.05
NDVI (ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ_ΚΑΙ_ΜΗ_ΓΗ)	0.90	-0.81	0.67	0.63	1.00	0.74	-0.01	0.41	0.18	0.46	0.78	-0.36	-0.21
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	0.81	-0.73	0.60	0.55	0.74	1.00	-0.12	0.16	0.30	0.29	0.68	-0.56	-0.35

	NDVI (ΛΙΒΑΔΙΑ_ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ)	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ(mm)	NDVI (ΚΩΝΟΦΟΡΑ_ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ_ΔΑΣΗ)	NDVI (ΔΑΣΗ_ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ)	NDVI (ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ_ΚΑΙ_ΜΗ_ΓΗ)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C)	ΚΩΝΟΦΟΡΑ_ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ_ΔΑΣΗ(%)	ΔΑΣΗ_ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ(%)	ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ_ΚΑΙ_ΜΗ_ΓΗ(%)	ΛΙΒΑΔΙΑ_ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ(%)	NDVI	ΕΞΑΤΜΙΣΗ_ΟΔΙΑΠΝΟΗ(mm/y)	ΕΠΟΧΙΑΚΗ_ΕΞΑΤΜΙΣΗ_ΟΔΙΑΠΝΟΗ(mm/y)
ΚΩΝΟΦΟΡΑ_ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ_ΔΑΣΗ(%)	0.14	0.00	-0.01	-0.04	-0.01	-0.12	1.00	-0.42	0.21	-0.19	0.02	-0.16	-0.24
ΔΑΣΗ_ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ(%)	0.35	-0.35	0.63	0.72	0.41	0.16	-0.42	1.00	-0.30	-0.11	0.62	0.27	0.41
ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ_ΚΑΙ_ΜΗ_ΓΗ(%)	0.10	-0.63	-0.06	-0.13	0.18	0.30	0.21	-0.30	1.00	-0.38	0.03	0.28	0.30
ΛΙΒΑΔΙΑ_ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ(%)	0.42	0.06	0.17	0.07	0.46	0.29	-0.19	-0.11	-0.38	1.00	0.19	-0.73	-0.74
NDVI	0.90	-0.64	0.98	0.96	0.78	0.68	0.02	0.62	0.03	0.19	1.00	-0.33	-0.17
ΕΥΑΠΟΡΑΤΙΟΝ(mm/y)	-0.57	-0.02	-0.31	-0.22	-0.36	-0.56	-0.16	0.27	0.28	-0.73	-0.33	1.00	0.94
TEMPORAL_ΕΥΑΠΟΡΑΤΙΟΝ(mm/y)	-0.45	-0.19	-0.18	-0.05	-0.21	-0.35	-0.24	0.41	0.30	-0.74	-0.17	0.94	1.00

5.4 Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (Geographically Weighted Regression) του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) με περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης από την εφαρμογή της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης καθώς και οι χαρτογραφικές απεικονίσεις αυτών. Μέσω αυτών των χαρτογραφήσεων δίνεται επίσης η δυνατότητα απεικόνισης των ενδεχόμενων διαφοροποιήσεων και η εξαγωγή άμεσων συμπερασμάτων. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης ανεξάρτητες μεταβλητές είναι όπως έχει ήδη προαναφερθεί στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, το υψόμετρο, ο προσανατολισμός, η κλίση της υδρολογικής λεκάνης και η μέση βροχόπτωση των χρονολογιών 1984, 1985, 1987, 1989, 1990 και 2002 και εξαρτημένη μεταβλητή είναι η μέση τιμή NDVI των χρονολογιών 1984, 1985, 1987, 1989, 1990 και 2002.

Στη συνέχεια ακολουθούν οι πίνακες με τα αποτελέσματα κάθε στατιστικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε, οι οποίοι περιέχουν όλους τους δείκτες των παραμέτρων της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης. Παράλληλα με τις χαρτογραφικές απεικονίσεις των αποτελεσμάτων με βάση τον τοπικό συντελεστή προσδιορισμού ($local R^2$), παρουσιάζονται επίσης σε μορφή πίνακα τα παρατηρούμενα στοιχεία, τα προβλεπόμενα στοιχεία, τα υπόλοιπα, τα τυποποιημένα υπόλοιπα, ο τοπικός συντελεστής προσδιορισμού ($local R^2$), η επιρροή και ο δείκτης D του Cook, τα οποία υπολογίζονται από το λογισμικό για κάθε παρατήρηση του υποδείγματος. Εδώ, πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε ανάλυση γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης παράγει ένα ογκώδες σύνολο χωρικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των εξεταζόμενων γεωαναφερμένων μεταβλητών. Οι αριθμητικές μεταβλητές μπορούν να αποδοθούν γραμμικά και παρουσιάζουν ένα εύρος θετικών και αρνητικών τιμών (Erdogan S., 2009).

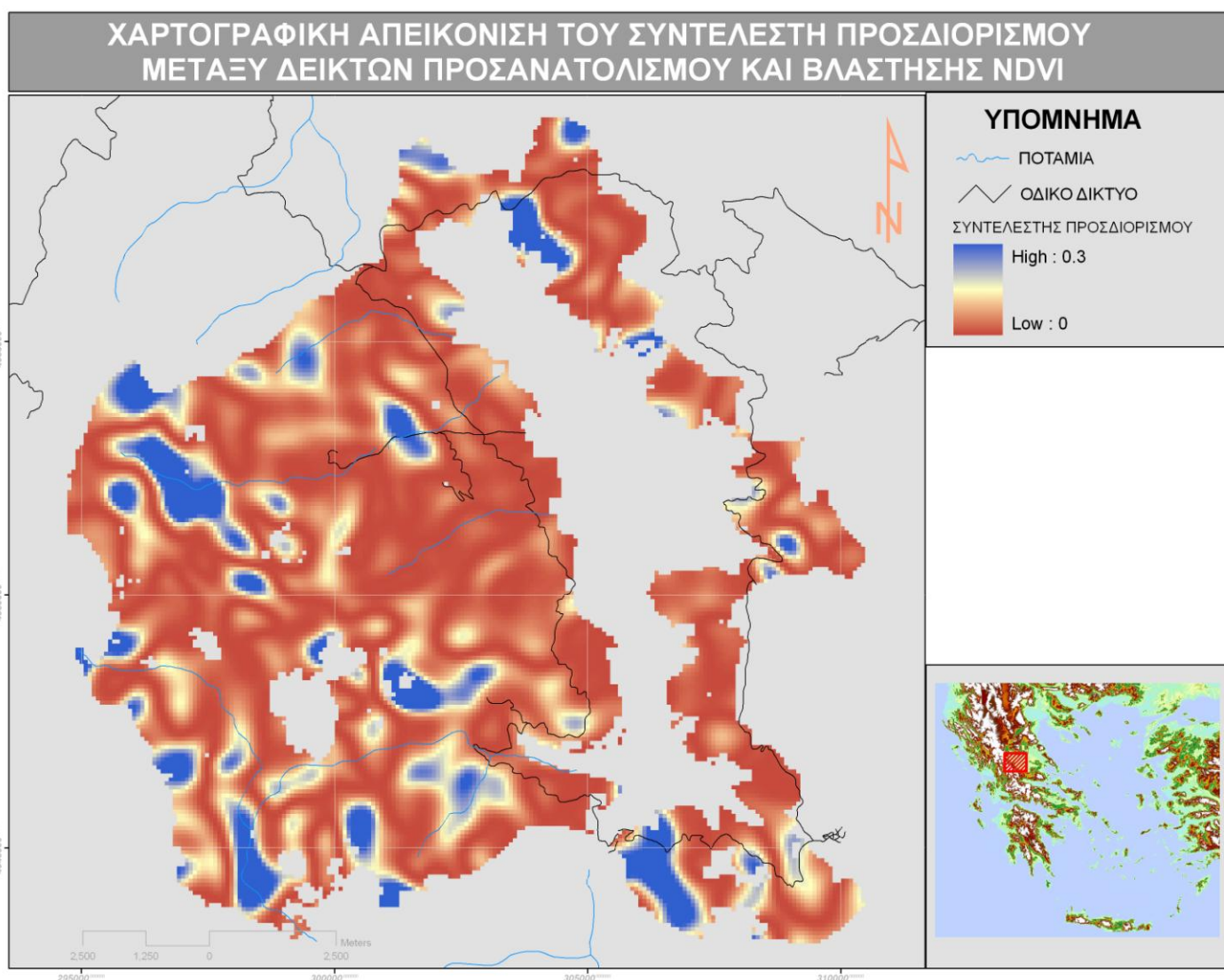
Επειδή όμως οι παρατηρήσεις ξεπερνούν αριθμητικά τις μερικές χιλιάδες, παρουσιάζονται οι πρώτες περίπου 20 κάθε ανάλυσης με τη μορφή που παρουσιάζονται στο λογισμικό, στο παράρτημα της μελέτης. Τέλος, ακολουθούν οι πίνακες περιγραφικής στατιστικής του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού (max

local R^2 , min local R^2 , mean local R^2) για την εκάστοτε χρήση γης του 2002 μεταξύ του μέσου NDVI και των ιδίων ανεξάρτητων μεταβλητών.

Στον επόμενο πίνακα (πίνακας 15) παρουσιάζεται η εκτίμηση παραμέτρων στη γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση με ανεξάρτητη μεταβλητή τον **προσανατολισμό** (aspect) της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Πίνακας 15: Δείκτες των παραμέτρων της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης μεταξύ του προσανατολισμού και της μέσης τιμής NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Αριθμός παρατηρήσεων	30209
Αριθμός ανεξάρτητων μεταβλητών	1
Αριθμός θέσεων που ελήφθησαν υπόψη στο μοντέλο	30209
Διαγνωστικές πληροφορίες	
Άθροισμα τετραγώνων των υπολοίπων	13968.650
Σίγμα	0.687
Κριτήριο Akaike	63342.045
Συντελεστής προσδιορισμού	0.681
Adjusted Συντελεστής προσδιορισμού	0.674



Εικόνα 24: Χαρτογραφική απεικόνιση του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) μεταξύ του προσανατολισμού και της μέσης τιμής NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Η χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων έγινε με βάση τον τοπικό συντελεστή προσδιορισμού (R^2) μεταξύ του μέσου NDVI και του προσανατολισμού της περιοχής μελέτης μας. Στον παραπάνω χάρτη (εικόνα 24) απεικονίζεται το εύρος των τιμών του συντελεστή προσδιορισμού με τις μεγαλύτερες τιμές να παρουσιάζονται με σκούρο μπλε χρώμα ενώ αντίθετα οι μικρότερες με κόκκινο.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα προκύπτει ότι στην ανάλυση τοπικής κλίμακας η συσχέτισή του προσανατολισμού με το μέσο NDVI είναι κυρίως αρνητική με τη μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή προσδιορισμού να είναι περίπου 0,3. Αντίθετα στην περίπτωση της παλινδρόμησης σε υπερτοπική κλίμακα η συγκεκριμένη παράμετρος είναι θετική με τιμή συντελεστή παλινδρόμησης ίση με 0,68. Η διαφορά αυτή υπάρχει γιατί η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση επεκτείνει το παραδοσιακό πλαίσιο παλινδρόμησης (γραμμική παλινδρόμηση) επιτρέποντας την εκτίμηση τοπικών παρά ολικών παραμέτρων (Fotheringham and Brunsdon, 1999).

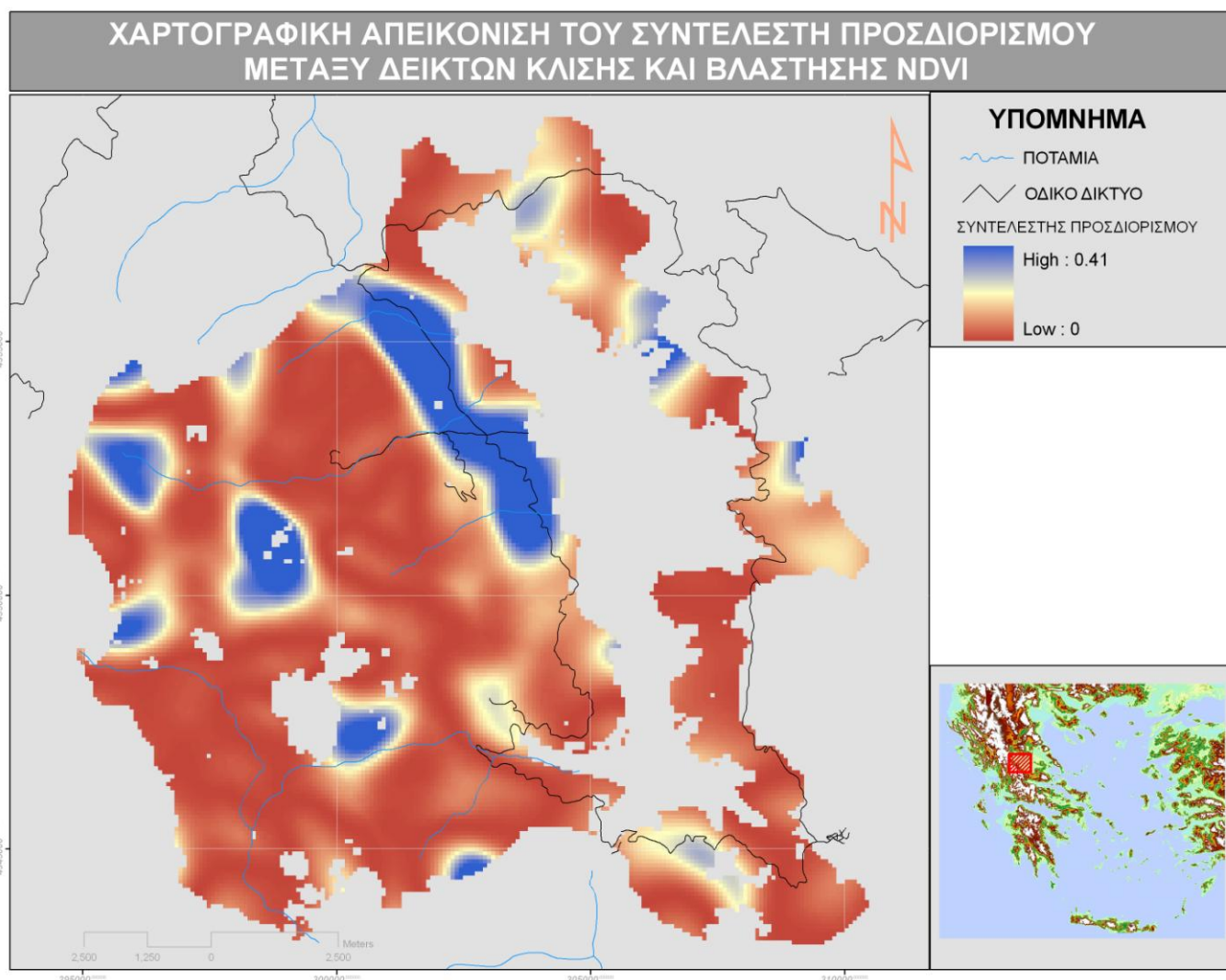
Αυτή η παλινδρόμηση ελέγχει ουσιαστικά την ύπαρξη χωρικής αστάθειας στη σχέση που προκύπτει ανάμεσα στην εξαρτημένη και κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επιτρέποντας στις παραμέτρους των ανεξάρτητων μεταβλητών να μεταβάλλονται στο χώρο (Καλογήρου, 2009, De Smith et al., 2007). Παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται κυρίως νοτιοδυτικά της υδρολογικής λεκάνης ενώ γύρω από τη λίμνη οι τιμές παραμένουν αρνητικές με εξαίρεση δύο σημεία βόρεια και νότια της λίμνης.

Όσον αφορά τις χρήσεις γης, παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες τιμές νοτιοδυτικά της λεκάνης απορροής εμφανίζονται στις περιοχές που επικρατούν κυρίως οικισμοί - άγονες εκτάσεις καθώς και λιβάδια-θαμνότοποι. Νότια όμως της λίμνης, όπου εμφανίζεται η τιμή του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού κοντά στο 0,3, επικρατούν κωνοφόρα και μεταβατικά δάση. Τέλος, στο κέντρο της λεκάνης εντοπίζονται επίσης κάποιες μέγιστες τιμές στις οποίες εντοπίζονται λιβάδια αλλά και κάποια τμήματα καλλιεργήσιμης και μη γης.

Ο ακόλουθος πίνακας (πίνακας 16) παρουσιάζει την εκτίμηση των παραμέτρων στη γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση με ανεξάρτητη μεταβλητή την κλίση (slope) της υπό μελέτη υδρολογικής λεκάνης.

Πίνακας 16: Δείκτες των παραμέτρων της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης μεταξύ της κλίσης και της μέσης τιμής NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Αριθμός παρατηρήσεων	29679
Αριθμός ανεξάρτητων μεταβλητών	1
Αριθμός θέσεων που ελήφθησαν υπόψη στο μοντέλο	29679
Διαγνωστικές πληροφορίες	
Άθροισμα τετραγώνων των υπολοίπων	16130.718
Σίγμα	0.740
Κριτήριο Akaike	66526.941
Συντελεστής προσδιορισμού	0.618
Adjusted Συντελεστής προσδιορισμού	0.615



Εικόνα 25: Χαρτογραφική απεικόνιση του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) μεταξύ της κλίσης και της μέσης τιμής NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

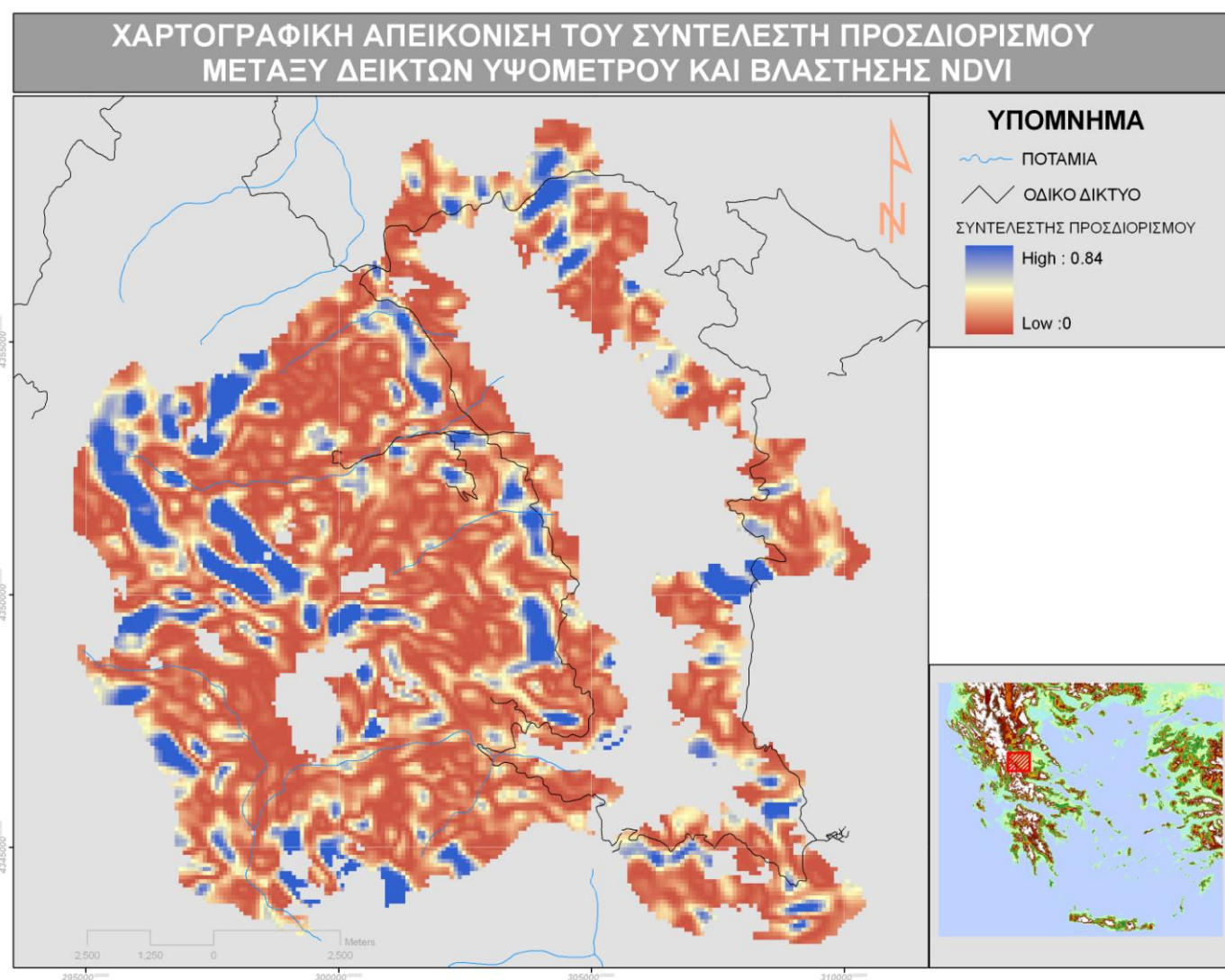
Όπως φαίνεται ανωτέρω, η χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων έγινε με βάση τον τοπικό συντελεστή προσδιορισμού (R^2) μεταξύ του μέσου NDVI και της κλίσης της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Πλαστήρα (εικόνα 25). Αντίθετα με τις τιμές που παρουσιάζονται στην κλασσική γραμμική παλινδρόμηση, οι υπολογισμοί των παραμέτρων που γίνονται μέσω της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης χαρτογραφούνται έτσι ώστε να δείξουν την φύση της διάστασης-μεταβλητότητας στην υπό μελέτη περιοχή μας. Κάτι τέτοιο ενδέχεται να αποκαλύψει χωρικές διαφοροποιήσεις στη σχέση εξάρτησης μεταξύ των μεταβλητών, γεγονός που θα μπορούσε να μην παρατηρηθεί στην ανάλυση παγκόσμιας κλίμακας (Foody, 2003).

Έτσι λοιπόν παρατηρείται ότι ενώ οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού για την παλινδρόμηση τοπικής κλίμακας κυμαίνονται μεταξύ 0 και 0,41, η αντίστοιχη τιμή σε υπερτοπική κλίμακα είναι περίπου 0,62. Οι λόγοι της διαφοράς μεταξύ των τιμών των δύο ειδών παλινδρόμησης είναι οι προαναφερθέντες και παρατηρείται έντονη συσχέτιση μεταξύ κλίσης και NDVI κυρίως βορειοδυτικά της λίμνης Πλαστήρα και δυτικά της λεκάνης απορροής όπου βρίσκονται περιοχές με μεγάλη κλίση, από 19° έως και 58.6° . Αντίθετα, οι μικρότερες τιμές συσχέτισης κάνουν την εμφάνισή τους νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά της λεκάνης όπου οι κλίση κυμαίνεται σε τιμές κυρίως μικρότερες των 20° . Στις περιοχές υψηλής συσχέτισης κλίσης και NDVI βορειοδυτικά και βορειοανατολικά της λίμνης, εντοπίζονται κυρίως οικισμοί και άγονες εκτάσεις αλλά και λιβάδια-θαμνότοποι. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και δυτικά της λεκάνης απορροής όπου επίσης εμφανίζονται οι ίδιες χρήσεις γης, γεγονός που φανερώνει ότι η ύπαρξη ή μη βλάστησης στις ανωτέρω περιοχές εξαρτάται εν μέρει από την κλίση του εδάφους της υπό μελέτη υδρολογικής λεκάνης.

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 17) παρουσιάζεται η εκτίμηση των παραμέτρων στη γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση με ανεξάρτητη μεταβλητή το **υψόμετρο** (elevation) της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Πίνακας 17: Δείκτες των παραμέτρων της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης μεταξύ του υψομέτρου και της μέσης τιμής NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Αριθμός γειτόνων	30
Αριθμός παρατηρήσεων	29327
Αριθμός ανεξάρτητων μεταβλητών	1
Αριθμός θέσεων που ελήφθησαν υπόψη στο μοντέλο	29327
Διαγνωστικές πληροφορίες	
Άθροισμα τετραγώνων των υπολοίπων	1430.084
Σίγμα	0.467
Κριτήριο Akaike	11288.993
Συντελεστής προσδιορισμού	0.873
Adjusted Συντελεστής προσδιορισμού	0.846



Εικόνα 26: Χαρτογραφική απεικόνιση του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) μεταξύ του υψομέτρου και της μέσης τιμής NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Η παραπάνω χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων αφορά τον τοπικό συντελεστή προσδιορισμού (R^2) μεταξύ του μέσου NDVI και του υψομέτρου που παρατηρείται στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα (εικόνα 26). Παρομοίως οι μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή προσδιορισμού παρουσιάζονται με σκούρο μπλε χρώμα και οι μικρότερες με κόκκινο και όσον αφορά στις τιμές μεταξύ τοπικής και υπερτοπικής κλίμακας προκύπτει ότι κυμαίνονται από 0,84 μέχρι και κάποιες πολύ χαμηλές (0) και 0,87 αντίστοιχα.

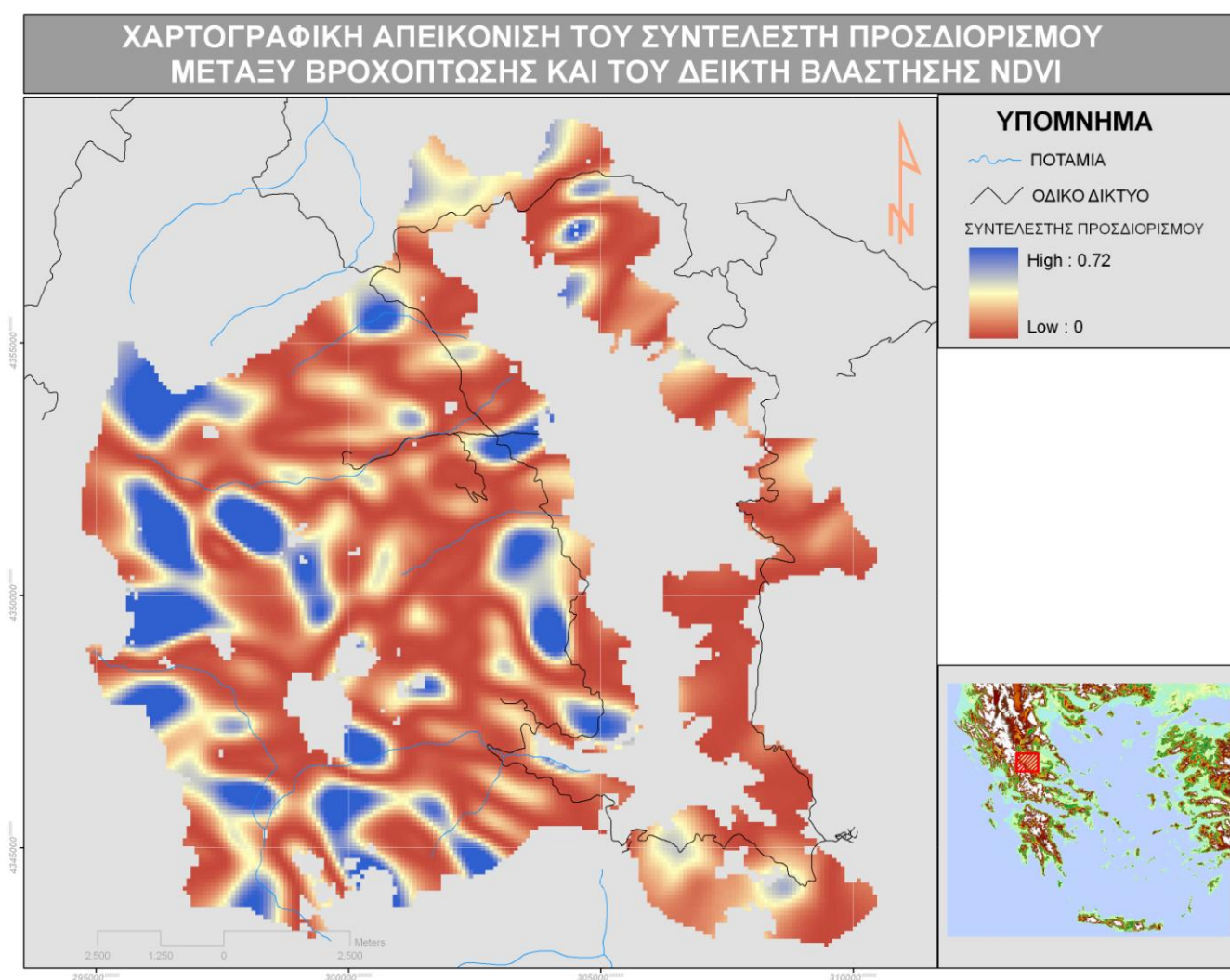
Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η συγκεκριμένη παράμετρος είναι θετική και για τα δύο είδη παλινδρόμησης και η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών είναι πολύ ισχυρή. Οι μεγαλύτερες τιμές του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού εμφανίζονται διασκορπισμένες σε όλη την έκταση της λεκάνης απορροής της λίμνης Πλαστήρα, περισσότερο συγκεντρωμένες όμως εντοπίζονται κυρίως δυτικά της λεκάνης και περιμετρικά της λίμνης. Δυτικά της λεκάνης εντοπίζεται επίσης το μεγαλύτερο υψόμετρο της περιοχής, από 1500 m έως και 2000 m και οι χρήσεις γης που επικρατούν εδώ είναι επίσης οικισμοί, οι άγονες εκτάσεις, τα λιβάδια και οι θαμνότοποι.

Αντίθετα περιμετρικά της λίμνης, στα σημεία που εμφανίζονται οι υψηλές τιμές του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού, το υψόμετρο της περιοχής είναι χαμηλό (από 800 m έως 1000 m) ενώ οι χρήσεις γης που εμφανίζονται είναι επίσης τα λιβάδια-θαμνότοποι με κάποιες εξαιρέσεις καλλιεργήσιμης και μη γης ανατολικά της λίμνης. Οι μικρότερες τιμές του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού εντοπίζονται κυρίως στο κέντρο της λεκάνης, όπου το υψόμετρο κυμαίνεται περίπου από 1000 m έως 1500 m και οι χρήσεις γης που αναγνωρίστηκαν είναι κυρίως δάση κωνοφόρων και πλατύφυλλων .

Στη συνέχεια (πίνακας 18) παρουσιάζεται η εκτίμηση των παραμέτρων στη γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση με ανεξάρτητη μεταβλητή τη **μέση βροχόπτωση** που σημειώθηκε στην υδρολογική λεκάνη της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Πίνακας 18: Δείκτες των παραμέτρων της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης μεταξύ της μέσης βροχοπτώσης και της μέσης τιμής NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Αριθμός γειτόνων	600
Αριθμός παρατηρήσεων	30602
Αριθμός ανεξάρτητων μεταβλητών	1
Αριθμός θέσεων που ελήφθησαν υπόψη στο μοντέλο	30602
Διαγνωστικές πληροφορίες	
Άθροισμα τετραγώνων των υπολοίπων	104.96871054392876
Σίγμα	0.5851268422768735
Κριτήριο Akaike	549.2102817339206
Συντελεστής προσδιορισμού	0.9479276578841143
Adjusted Συντελεστής προσδιορισμού	0.947688399327753



Εικόνα 27: Χαρτογραφική απεικόνιση του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) μεταξύ της μέσης βροχόπτωσης και της μέσης τιμής NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Η χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων έγινε με βάση τον τοπικό συντελεστή προσδιορισμού (R^2) μεταξύ του μέσου NDVI και της μέσης βροχόπτωσης που σημειώθηκε στην υδρολογική λεκάνη κατά τη διάρκεια των ετών 1984-2002 (εικόνα 27). Παρά το γεγονός ότι όλες μελέτες που έχουν ερευνήσει τη σχέση NDVI-βροχόπτωσης διαφέρουν σε κάποιες λεπτομέρειες, έχει παρατηρηθεί μια πολύ ισχυρή και θετική σχέση μεταξύ τους (Grist et al., 1997; Wang et al., 2003). Η σχέση μεταξύ του δείκτη βλάστησης NDVI και της βροχόπτωσης είναι γνωστό ότι ποικίλλει χωρικά, κυρίως λόγω της επίδρασης σε αυτήν τη διακύμανση διάφορων ιδιοτήτων όπως ο τύπος βλάστησης και το μητρικό υλικό του εδάφους (du Plessis, 1999; Li et al., 2002; Nicholson & Farrar, 1994), έτσι ώστε η ευαισθησία των τιμών του NDVI να ποικίλλει περιφερειακά στις διακυμάνσεις της βροχόπτωσης (Richard & Pocard, 1998).

Παρά το γεγονός ότι στην απλή γραμμική παλινδρόμηση η σχέση μεταξύ NDVI και βροχόπτωσης παρατηρείται να είναι ισχυρή (π.χ. Grist et al., 1997; Wang et al., 2003), το μοντέλο απλής παλινδρόμησης ενδέχεται να παρουσιάζει διαστρεβλωμένη τη σχέση εξάρτησης. Πιο συγκεκριμένα, η υπερτοπική παλινδρόμηση μπορεί να παρέχει μία φτωχή περιγραφή της σχέσης τοπικά με αποτέλεσμα να παραλείπονται σημαντικές λεπτομέρειες. Η συμβολική απεικόνιση (μπλε-κόκκινο χρώμα) των μεγαλύτερων και μικρότερων τιμών του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού παραμένει η ίδια και το εύρος των τιμών του κυμαίνεται από 0,72 μέχρι 0 για την παλινδρόμηση τοπικής κλίμακας και ισούται με 0,95 για αυτή της υπερτοπικής. Οι μεγαλύτερες τιμές του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού μεταξύ NDVI και της μέσης βροχόπτωσης εμφανίζονται σε όλη σχεδόν τη λεκάνη απορροής με εξαίρεση το ανατολικό της τμήμα. Κυρίως δυτικά της λεκάνης και δυτικά της λίμνης εμφανίζεται η πλειοψηφία αυτών των τιμών όπου κυριαρχούν κυρίως οικισμοί και άγονες εκτάσεις και εντοπίζονται και κάποια λιβάδια-θαμνότοποι. Κάποιες μέγιστες τιμές εμφανίζονται και στις περιοχές των κωνοφόρων και μεταβατικών δασών κεντρικά της λεκάνης.

Το ανατολικό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης το οποίο κυριαρχείται από δάση πλατύφυλλων και καλλιεργήσιμη και μη γη, επιδεικνύει χαμηλή συσχέτιση μεταξύ NDVI και μέσης βροχόπτωσης, ίσως λόγω χαμηλής κλίσης του εδάφους στις συγκεκριμένες περιοχές. Τα παραπάνω αποτελέσματα υποδεικνύουν μία μεγάλου βαθμού χωρική και χρονική διακύμανση στη σχέση μεταξύ NDVI και βροχόπτωσης στην υπό μελέτη περιοχή.

Πολλοί λόγοι μπορεί να εξηγούν τα παραπάνω αποτελέσματα, πιθανόν να σχετίζονται με τις διακυμάνσεις στον τύπο εδάφους και στην κάλυψη και χρήση γης όπως επίσης και να συνδέονται με την παραγωγή και την ακρίβεια των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν (π.χ. Foody, 2001; Ringrose, Matheson, Matlala, O'Neill, & Werner, 1994). Η συσχέτιση του δείκτη βλάστησης NDVI με τη μέση βροχόπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας γενικός δείκτης της παραγωγικότητας του εδάφους, όσον αφορά την υποβάθμιση αλλά και τη βελτίωσή του (J. Lia et al., 2004).

5.4.1 Εφαρμογή γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης σε περιβαλλοντικές παραμέτρους με σκοπό την εξακρίβωση του βαθμού συσχέτισής τους με το μέσο NDVI, ανάλογα με τις χρήσεις γης

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια ελέγχου της συσχέτισης μεταξύ του μέσου NDVI, της κλίσης, του προσανατολισμού, του υψομέτρου και της μέσης βροχόπτωσης. Στη συνέχεια δίνοντας έμφαση σε 4 βασικές κατηγορίες χρήσεων γης (δάση κωνοφόρων, δάση πλατύφυλλων, καλλιεργήσιμη και μη γη και λιβάδια-θαμνότοποι) οι οποίες αφορούν τη βλάστηση και έχουν έντονη παρουσία στην υδρολογική λεκάνη της περιοχής, μελετήθηκε ο βαθμός συσχέτισης αυτών των παραμέτρων στα σημεία εμφάνισης αυτών των χρήσεων γης για τη χρονολογία 2002.

Η συσχέτιση του δείκτη βλάστησης NDVI με τις προαναφερθείσες παραμέτρους και ιδιαίτερα με τη μέση βροχόπτωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αξιολόγηση της κατάστασης της χρήσης/κάλυψης γης της υπό μελέτη περιοχής και για τις περιοχές όπου το έδαφος αποκρίνεται στη βροχόπτωση με υψηλή παραγωγικότητα και για τις περιοχές με χαμηλή, γεγονός που υποδεικνύει την υποβάθμιση αυτού. Στις περιπτώσεις στις οποίες η συσχέτιση είναι χαμηλή,

προφανώς υπάρχουν άλλοι παράγοντες που επιδρούν στη χαμηλή παραγωγικότητα της βλάστησης.

Κάποιες από τις αιτίες της χαμηλής παραγωγικότητας μπορούν να συνδεθούν με τη φυσική κατάσταση του εδάφους, όπως το γεωλογικό υπόβαθρο ή το φυσιολογικά μη παραγωγικό έδαφος. Από μια άλλη άποψη η χαμηλή συσχέτιση με τη βροχόπτωση μπορεί να οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα και επιρροή.

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες περιγραφικής στατιστικής με τις τιμές του τοπικού συντελεστή συσχέτισης για όλες τις προαναφερθείσες παραμέτρους εντοπισμένες στις 4 βασικές κατηγορίες βλάστησης. Όλοι οι πίνακες παρουσιάζουν ένα κοινό σημείο το οποίο αφορά κάποιες μέγιστες τιμές του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού, οι οποίες φανερώνουν υψηλή τοπική συσχέτιση, μεταξύ του υψόμετρου και της μέσης βροχόπτωσης με το μέσο NDVI σε όλες τις χρήσεις γης που μελετήθηκαν παρόλο που οι μέσες τιμές που εντοπίζονται γενικότερα είναι ιδιαίτερα χαμηλές.

Πίνακας 19: Πίνακας περιγραφικής στατιστικής των τιμών του τοπικού συντελεστή παλινδρόμησης (R^2) της χρήσης καλλιεργήσιμη και μη γη.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ ΚΑΙ ΜΗ ΓΗ			
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	MIN (R^2)	MAX (R^2)	MEAN (R^2)
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	-0.00178	0.2921	0.0237
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	-0.0036	0.8223	0.1079
ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	-0.00007	0.6599	0.1084
ΚΛΙΣΗ	-0.00052	0.3805	0.0601

Σε γενικές γραμμές στον πίνακα 19 παρατηρείται ότι στις περιοχές της υδρολογικής λεκάνης που εκτείνεται η καλλιεργήσιμη και μη γη, οι τοπικές συσχετίσεις μεταξύ του μέσου NDVI και των περιβαλλοντικών παραμέτρων είναι ασθενείς με τη μέση τιμή του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού να κυμαίνεται στο 0.07. Παρόλα αυτά στα μέγιστα συναντώνται κάποιες υψηλές τιμές του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού όπως είναι το υψόμετρο $r^2=0.82$ και η μέση βροχόπτωση με $r^2=0.66$, όμως η πλειοψηφία των παρατηρήσεων χαρακτηρίζεται από τιμές που κινούνται κοντά στο 0.1. Αυτές οι υψηλές τιμές του τοπικού συντελεστή

προσδιορισμού όσον αφορά την καλλιεργήσιμη και μη γη και το υψόμετρο, εντοπίζονται κυρίως βόρεια, δυτικά και βορειοανατολικά της λίμνης σε σημεία που προφανώς το υψόμετρο, το οποίο είναι χαμηλό, επηρεάζει τη βλάστηση της καλλιεργήσιμης και μη γης και όσο αυξάνεται σε τοπική κλίμακα τόσο αυξάνεται στις συγκεκριμένες περιοχές και η βλάστηση της καλλιεργήσιμης και μη γης. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τη μέση βροχόπτωση, η οποία παρουσιάζεται να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την βλάστηση της καλλιεργήσιμης και μη γης κυρίως δυτικά και νοτιοδυτικά της λίμνης αλλά και κεντρικά και δυτικά της λεκάνης απορροής όπου και εντοπίζονται οι μεγαλύτερες τιμές βροχόπτωσης. Οι περισσότερες εκτάσεις της καλλιεργήσιμης και μη γης, οι οποίες καλλιεργούνται εντατικά τις τελευταίες δεκαετίες χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές του συντελεστή προσδιορισμού (R^2).

Σε αυτές τις περιοχές, ένα μεγάλο τμήμα της φυσικής βλάστησης έχει αντικατασταθεί από καλλιέργειες με αποτέλεσμα τα συγκεκριμένα εδάφη να υστερούν σε γονιμότητα και πλούσιο οργανικό υλικό λόγω εντατικοποίησης των καλλιεργειών.

Πίνακας 20: Πίνακας περιγραφικής στατιστικής των τιμών του τοπικού συντελεστή παλινδρόμησης (R^2) της χρήσης δάση κωνοφόρων.

ΔΑΣΗ ΚΩΝΟΦΟΡΩΝ			
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	MIN(R^2)	MAX(R^2)	MEAN(R^2)
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	-0.0004	0.2998	0.0241
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	-0.0193	0.8264	0.0816
ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	-0.0002	0.6913	0.0932
ΚΛΙΣΗ	-2.7707	0.4090	0.0345

Παρόμοια είναι η συμπεριφορά των περιβαλλοντικών παραμέτρων σε σχέση με το μέσο NDVI στις περιοχές που επικρατούν τα δάση κωνοφόρων (πίνακας 20). Εδώ συγκεκριμένα η μέση τιμή του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού είναι ακόμα μικρότερη (0.058) σε σχέση με αυτήν της καλλιεργήσιμης και μη γης. Παρόλα αυτά οι μέγιστες τιμές του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού σε σχέση με το υψόμετρο ($r=0.82$) και τη μέση βροχόπτωση ($r=0.69$) επιδεικνύουν επίσης υψηλή συσχέτιση με

τη βλάστηση των κωνοφόρων δασών. Πιο συγκεκριμένα, σε σημεία βορειοδυτικά και νοτιοδυτικά της λίμνης, νότια και κεντρικά-δυτικά της λεκάνης η αύξηση ή μείωση των κωνοφόρων δασών εξαρτάται από την αύξηση ή τη μείωση αντίστοιχα του υψομέτρου των συγκεκριμένων περιοχών.

Επίσης παρόμοια είναι η συμπεριφορά των κωνοφόρων δασών βορειοδυτικά και νότια της λεκάνης όσον αφορά τη μέση βροχόπτωση και την αύξηση ή και μείωσή της. Επιπρόσθετα, όσον αφορά την συσχέτιση μέσης βροχόπτωσης και NDVI δασών γενικότερα, συμπεραίνεται ότι όταν οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού είναι σχετικά χαμηλές αλλά θετικές, αποδεικνύεται ότι η κάλυψη/βλάστηση είναι καλής κατάστασης. Αντίθετα οι αρνητικές ή οι πολύ χαμηλές θετικές τιμές σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές του δείκτη NDVI αποδεικνύουν το αντίθετο, δηλαδή την κακή κατάσταση της βλάστησης.

Γενικότερα, από τη συσχέτιση υψηλών τιμών βροχόπτωσης και χαμηλών τιμών NDVI μπορεί να προκύψει ένας δείκτης που επισημαίνει τις περιοχές με χαμηλή παραγωγικότητα και με πιθανή υποβάθμιση του οικοσυστήματός τους (Hiernaux, 1984).

Πίνακας 21: Πίνακας περιγραφικής στατιστικής των τιμών του τοπικού συντελεστή παλινδρόμησης (R^2) της χρήσης δάση πλατύφυλλων.

ΔΑΣΗ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ			
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	MIN(R^2)	MAX(R^2)	MEAN(R^2)
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	-0.0006	0.2755	0.0201
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	-0.0043	0.7498	0.0968
ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	-0.00032	0.6068	0.0845
ΚΛΙΣΗ	-3.2667	0.3943	0.0589

Πίνακας 22: Πίνακας περιγραφικής στατιστικής των τιμών του τοπικού συντελεστή παλινδρόμησης (R^2) της χρήσης λιβάδια και θαμνότοποι.

ΛΙΒΑΔΙΑ-ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ			
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	MIN(R²)	MAX(R²)	MEAN(R²)
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	-0.0003	0.2580	0.0286
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	-0.0082	0.7761	0.1467
ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	-0.0004	0.7162	0.1429
ΚΛΙΣΗ	-0.0005	0.3962	0.0505

Παρόμοια, εκτός κάποιων μικρών διαφοροποιήσεων, είναι τα αποτελέσματα της εφαρμογής της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης στις χρήσεις γης των πλατύφυλλων δασών (πίνακας 21) και των λιβαδιών-θαμνότοπων (πίνακας 22) του 2002. Παρόλο που εντοπίζονται υψηλές τιμές τοπικού συντελεστή προσδιορισμού, η μέση τιμή παραμένει χαμηλή (0.065 για τα πλατύφυλλα δάση και 0.092 για τα λιβάδια-θαμνότοπους), αποκαλύπτοντας τη μη ισχυρή συσχέτιση μεταξύ ανεξάρτητων και εξαρτημένης παραμέτρου.

Συγκεκριμένα ο NDVI των πλατύφυλλων δασών παρουσιάζει κάποιες μεμονωμένες υψηλές θετικές συσχετίσεις με το υψόμετρο της περιοχής ($r=0.75$) κυρίως περιμετρικά της λίμνης, όπου το υψόμετρο είναι χαμηλό, περίπου 800 m, και δυτικά και νότια της λεκάνης απορροής με τη μέση βροχόπτωση ($r=0.61$) όπου επίσης σημειώνονται οι πιο υψηλές τιμές της περιοχής. Παρόμοιες είναι και οι τιμές του τοπικού συντελεστή για τα λιβάδια και τους θαμνότοπους, των οποίων ο NDVI επίσης παρουσιάζει υψηλή συσχέτιση με το υψόμετρο ($r=0.77$) και τη μέση βροχόπτωση ($r=0.72$).

Ο NDVI των λιβαδιών και των θαμνότοπων που εμφανίζονται ανατολικά της λίμνης και βορειοανατολικά και νοτιοδυτικά της λεκάνης απορροής συσχετίζεται έντονα και θετικά με το υψόμετρο της περιοχής, γεγονός που σημαίνει ότι όσο πιο υψηλό είναι το υψόμετρο της περιοχής τόσο μεγαλύτερος εμφανίζεται ο δείκτης βλάστησης για τις συγκεκριμένες περιοχές. Αντίστοιχα, επηρεάζεται και από τη μέση βροχόπτωση που σημειώνεται στη λεκάνη δυτικά αυτής και ανατολικά της λίμνης όπου και εμφανίζονται κάποια από τα λιβάδια και τους θαμνότοπους.

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης προσέγγισε την ανίχνευση των αλλαγών της φυτοκάλυψης, των χρήσεων / κάλυψης γης και του φυσικού περιβάλλοντος της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα καθώς και το βαθμό επιρροής των περιβαλλοντικών παραγόντων στην τοπική βλάστηση και στις μεταβολές αυτής. Για την μελέτη των αλλαγών της βλάστησης και των χρήσεων γης, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Εδαφικής Κάλυψης CORINE 2000 (CORINE land cover project), μετεωρολογικά – κλιματολογικά στοιχεία, καθώς επίσης και οι δορυφορικές εικόνες LANDSAT 5, LANDSAT 7, SPOT5 και IKONOS.

Αρχικά έλαβε χώρα η ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση των δορυφορικών εικόνων LANDSAT 5, LANDSAT 7 και SPOT5 μέσω του λογισμικού ENVI 4.7. Στη συνέχεια, έγινε η γεωαναφορά όλων των καναλιών των 9 δορυφορικών εικόνων σύμφωνα με το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 και έπειτα η ένωση των καναλιών (Layer Stacking). Στη συνέχεια ακολούθησε η ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων μέσω του αλγόριθμου K-MEANS του λογισμικού ENVI 4.7 με σκοπό την καταγραφή των χρήσεων γης της λεκάνης. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των Τηλεπισκοπικών δεδομένων στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ArcGis 9.3) και ο συνδυασμός τους με τα δεδομένα του CORINE. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης σε συνδυασμό με τα δεδομένα του προγράμματος CORINE και τις δορυφορικές εικόνες IKONOS, έδειξαν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό έκτασης στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής καταλαμβάνουν τα κωνοφόρα και μεταβατικά δάση με ποσοστό 29.44% (μέση τιμή των τριών χρονολογιών 1984, 1990 και 2009), ακολουθούν τα δάση πλατύφυλλων με ποσοστό 15.9%, η χέρσα γη (12.25%) και η καλλιεργήσιμη και μη γη (12.07% της συνολικής έκτασης). Αντίθετα, τη μικρότερη έκταση στη λεκάνη καταλαμβάνουν τα λιβάδια και οι θαμνότοποι (9.69%), στη συνέχεια ακολουθούν οι οικισμοί και οι άγονες εκτάσεις (9.73%) και τέλος η έκταση της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα, η οποία αντιστοιχεί στο 10.9% της συνολικής έκτασης. Με την πάροδο των ετών και την επίδραση πολλών παραγόντων αναμενόμενη είναι και η εμφάνιση σημαντικών αλλαγών. Οι μεγαλύτερες αλλαγές που σημειώθηκαν αφορούν τη μείωση των κωνοφόρων και μεταβατικών δασών (-3.02%) και την αύξηση των λιβαδιών-θαμνότοπων κατά 2.41%. Μετά από αυτή την

εφαρμογή, προέκυψε ότι η δημιουργία χάρτη χρήσης γης από δορυφορικά δεδομένα δίνει άμεσα και εύκολα αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζουν σημαντική ακρίβεια και αξιοπιστία αλλά απαραίτητα απαιτούν και τη γνώση του καθεστώτος χρήσης γης της περιοχής μελέτης, προκειμένου να μπορούν να επιβεβαιωθούν και να διορθωθούν εφόσον απαιτείται.

Η επόμενη εφαρμογή που έλαβε χώρα στην συγκεκριμένη εργασία ήταν η εφαρμογή του δείκτη βλάστησης NDVI με αποτέλεσμα τη δημιουργία 9 χαρτών φυτοκάλυψης, οι οποίοι μας έδωσαν πληροφορίες για τον βαθμό φυτοκάλυψης της περιοχής μελέτης και για το στάδιο ανάπτυξης της φυσικής βλάστησης. Οι χάρτες αυτοί μας έδειξαν ότι μεγαλύτερος βαθμός φυτοκάλυψης επικρατεί στην ημιορεινή ζώνη όπου εντοπίζονται κωνοφόρα, μεταβατικά και πλατύφυλλα δάση και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι σχετικά περιορισμένες, ενώ όπου υπάρχουν οικισμοί, άγονες εκτάσεις και καλλιέργειες ο δείκτης φυτοκάλυψης ήταν αισθητά μικρότερος. Τέλος, όσον αφορά την εφαρμογή του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI, υπολογίστηκε η ποσοστιαία διαχρονική μεταβολή της φυτοκάλυψης από το 1984 έως και το 2009 και δημιουργήθηκε ο χάρτης αυτής της μεταβολής, από όπου και προέκυψε ότι οι περιοχές που παρουσιάζουν αύξηση της βλάστησης συμπίπτουν κυρίως με τα πιο ορεινά και ανεκμετάλλευτα τμήματα της υδρολογικής λεκάνης (1400-2000 m) ενώ οι περιοχές που παρουσιάζουν μείωση της βλάστησης με τα πιο πεδινά τμήματα (800-1400 m) όπου εντοπίζονται κυρίως λιβάδια, οικισμοί, άγονες και καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Στη συνέχεια της διατριβής, εφαρμόστηκαν δύο είδη παλινδρόμησης, η απλή γραμμική (σε υπερτοπική κλίμακα) και η γεωγραφικά σταθμισμένη (σε τοπική κλίμακα) και έγινε μια προσπάθεια γνωριμίας με τις δυνατότητες και τους περιορισμούς της κάθε μεθόδου. Όσον αφορά την απλή γραμμική παλινδρόμηση, τις ανεξάρτητες μεταβλητές X αποτέλεσαν η θερμοκρασία και η βροχόπτωση που σημειώθηκαν το χρονικό διάστημα 1984-2009 στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα, τα ποσοστά των επιμέρους χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης που αφορούν τη βλάστηση (κωνοφόρα, μεταβατικά και πλατύφυλλα δάση, η καλλιεργήσιμη και μη γη και τα λιβάδια και οι θαμνότοποι) και τέλος η εξατμισοδιαπνοή και η εποχιακή (άνοιξη) εξατμισοδιαπνοή, επίσης από το 1984 έως και το 2009. Εξαρτημένη μεταβλητή Y είναι ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) της υπό μελέτη λεκάνης καθώς και ο NDVI των επιμέρους χρήσεων γης κάθε έτους. Η ανεξάρτητη παράμετρος που επέδειξε τη μεγαλύτερη συσχέτιση με τον

κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI αλλά και με τους δείκτες NDVI των χρήσεων γης που σχετίζονται με τη βλάστηση, είναι η θερμοκρασία. Αντίθετα, η βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή, η εποχιακή εξατμισοδιαπνοή και τα ποσοστά των χρήσεων γης ανάλογα με την έκταση που καταλαμβάνουν στη λεκάνη απορροής, επέδειξαν ασθενή συσχέτιση με τις προαναφερθείσες εξαρτημένες παραμέτρους.

Στη γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση, τις ανεξάρτητες μεταβλητές αποτέλεσαν το υψόμετρο, ο προσανατολισμός, η κλίση της υδρολογικής λεκάνης και η μέση βροχόπτωση των χρονολογιών 1984, 1985, 1987, 1989, 1990 και 2002 και την εξαρτημένη μεταβλητή η μέση τιμή NDVI των προαναφερθέντων χρονολογιών. Από τις προηγούμενες εφαρμογές προέκυψε ότι η ανεξάρτητη μεταβλητή που επέδειξε τη μεγαλύτερη συσχέτιση με τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI είναι το υψόμετρο με τη μέγιστη τιμή του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού να ισούται με 0.84 (local $R^2=0.84$). Η δεύτερη ανεξάρτητη μεταβλητή που επιδρά έντονα στη διαμόρφωση της βλάστησης της υπό μελέτη περιοχής είναι η βροχόπτωση με μέγιστο τοπικό συντελεστή προσδιορισμού ίσο με 0.72. Από αρκετές επιστημονικές μελέτες (Grist et al., 1997; Wang et al., 2003) έχει προκύψει ότι συχνά παρατηρείται μια πολύ ισχυρή και θετική σχέση μεταξύ NDVI και της βροχόπτωσης. Η διαφορά των αποτελεσμάτων των δύο ειδών παλινδρόμησης όσον αφορά τη συσχέτιση μεταξύ του NDVI και της βροχόπτωσης έγκειται στο γεγονός ότι η γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση επιτρέπει την εκτίμηση τοπικών παρά ολικών παραμέτρων (Fotheringham and Brunson, 1999), και ελέγχει την ύπαρξη χωρικής αστάθειας στη σχέση που προκύπτει ανάμεσα στην εξαρτημένη και κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επιτρέποντας στις παραμέτρους των ανεξάρτητων μεταβλητών να μεταβάλλονται στο χώρο (Καλογήρου, 2009; De Smith et al., 2007). Αντίθετα, η υπερτοπική παλινδρόμηση παρέχει μία φτωχή περιγραφή της σχέσης τοπικά, με αποτέλεσμα να παραλείπονται σημαντικές λεπτομέρειες. Στα μοντέλα υπερτοπικής κλίμακας είναι δυνατόν να συνυπάρχει μεγάλος όγκος χωρικής πληροφορίας (σε επίπεδο αλληλεπίδρασης) που διαφαίνεται μόνο στην περίπτωση κατά την οποία υπολογίζονται οι τοπικής σημασίας παράμετροι.

Στο τελικό στάδιο της μελέτης, δόθηκε έμφαση σε 4 βασικές κατηγορίες χρήσεων γης (δάση κωνοφόρων, δάση πλατύφυλλων, καλλιεργήσιμη και μη γη και λιβάδια-θαμνότοποι) και μελετήθηκε ο βαθμός συσχέτισης των ίδιων περιβαλλοντικών παραμέτρων στα σημεία εμφάνισης αυτών των χρήσεων γης για τη χρονολογία 2002. Η παραπάνω εφαρμογή φανέρωσε υψηλή τοπική

συσχέτιση, μεταξύ του υψομέτρου και της μέσης βροχόπτωσης με το μέσο NDVI σε όλες τις χρήσεις γης που μελετήθηκαν παρόλο που οι μέσες τιμές που εντοπίζονται γενικότερα είναι ιδιαίτερα χαμηλές.

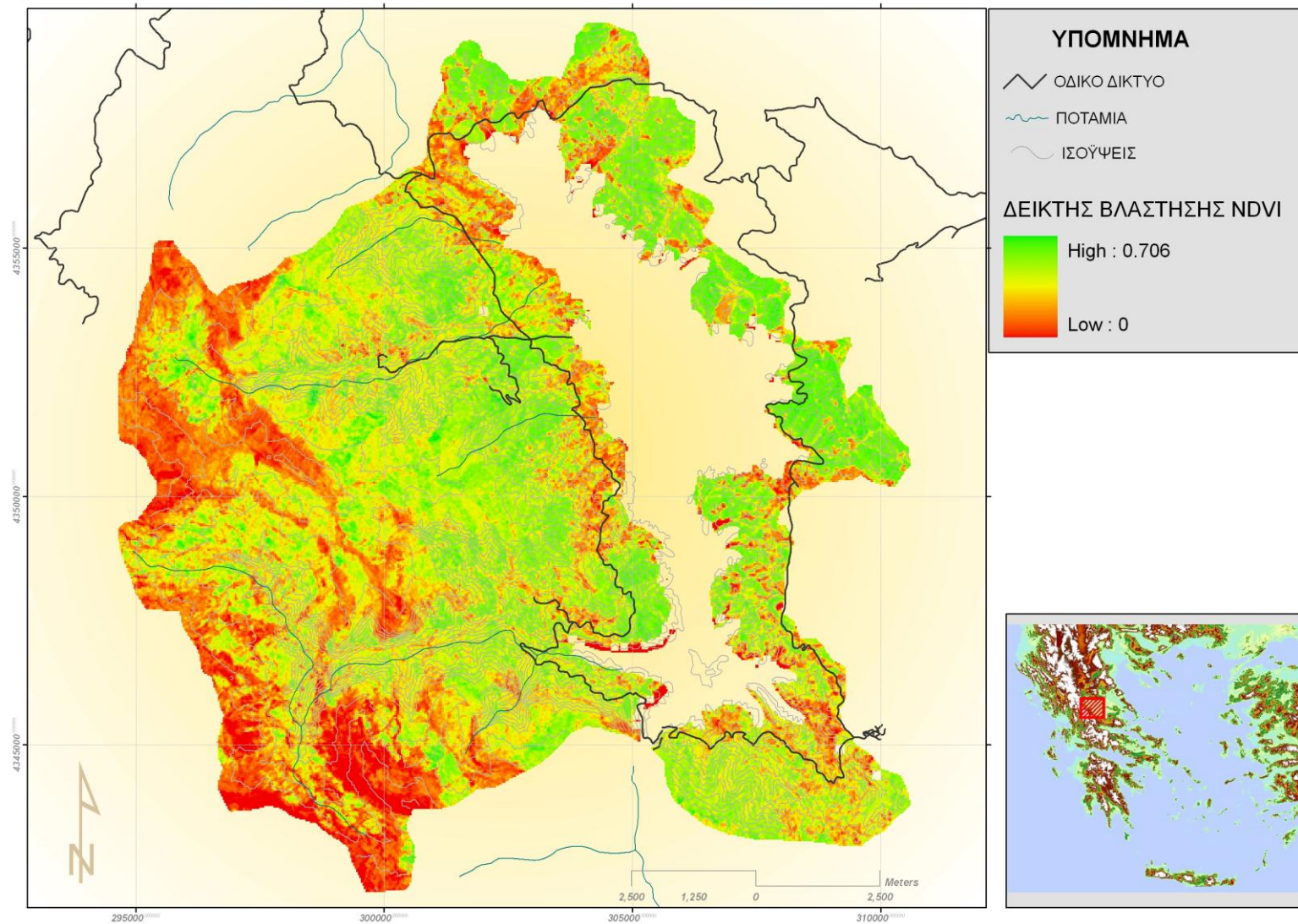
Τα κυριότερα συμπεράσματα που παρήχθησαν από την παρούσα μελέτη είναι ότι:

1. η επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων παρέχει πλήθος σημαντικών πληροφοριών με αυξημένη ακρίβεια και αξιοπιστία.
2. Ο συνδυασμός της Τηλεπισκόπησης με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελεί ένα πολύ ισχυρό εργαλείο επεξεργασίας, ανάλυσης των δεδομένων καθώς επίσης και απεικόνισης των αποτελεσμάτων.
3. Η συμβολή των στατιστικών μεθόδων στην χωρική ανάλυση είναι αδιαμφισβήτητη σημαντική και
4. Οι μέθοδοι τοπικής κλίμακας υπερισχύουν έναντι εκείνων που εφαρμόζονται σε υπερτοπικό επίπεδο.

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

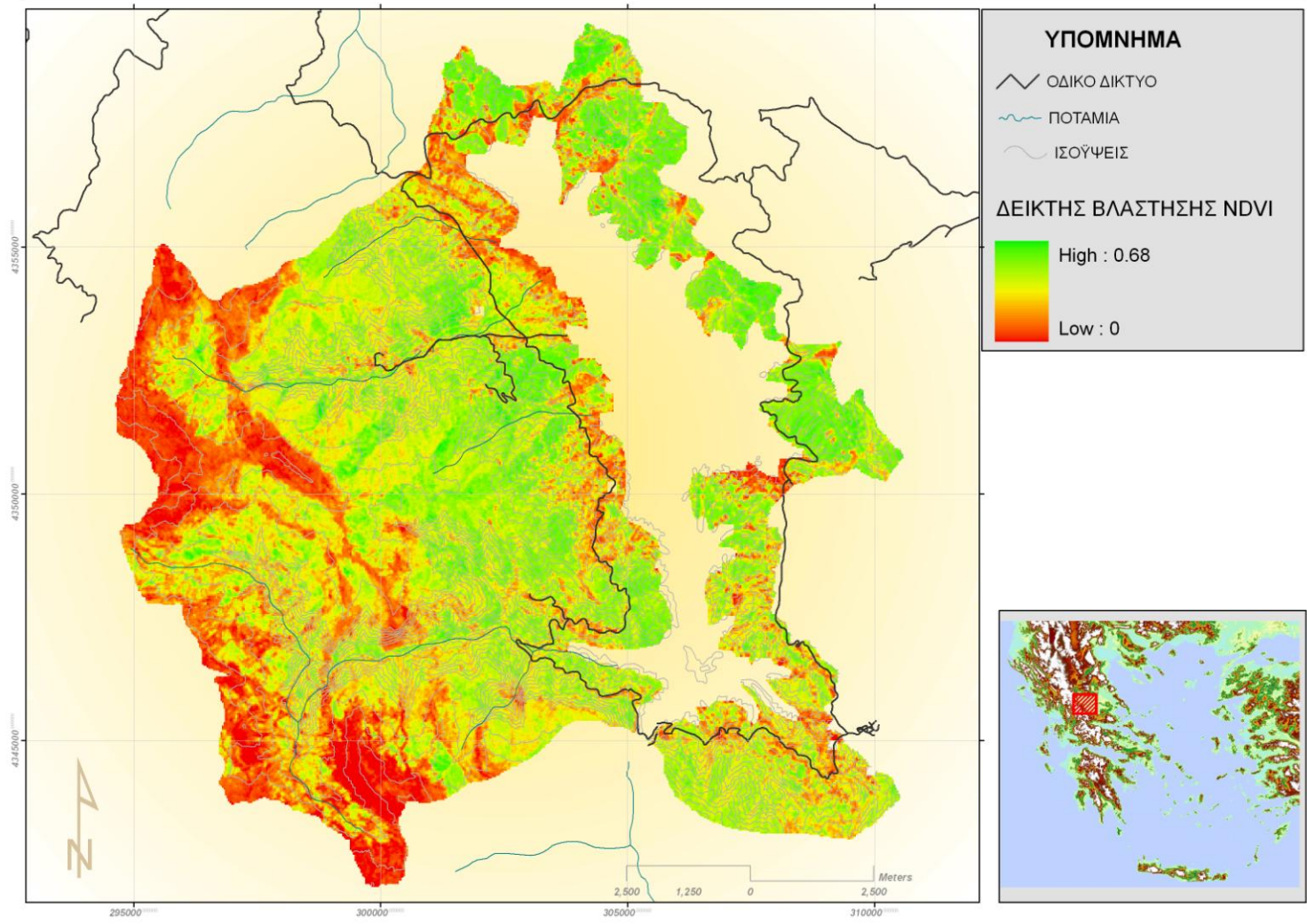
7.1 ΧΑΡΤΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 1985 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ

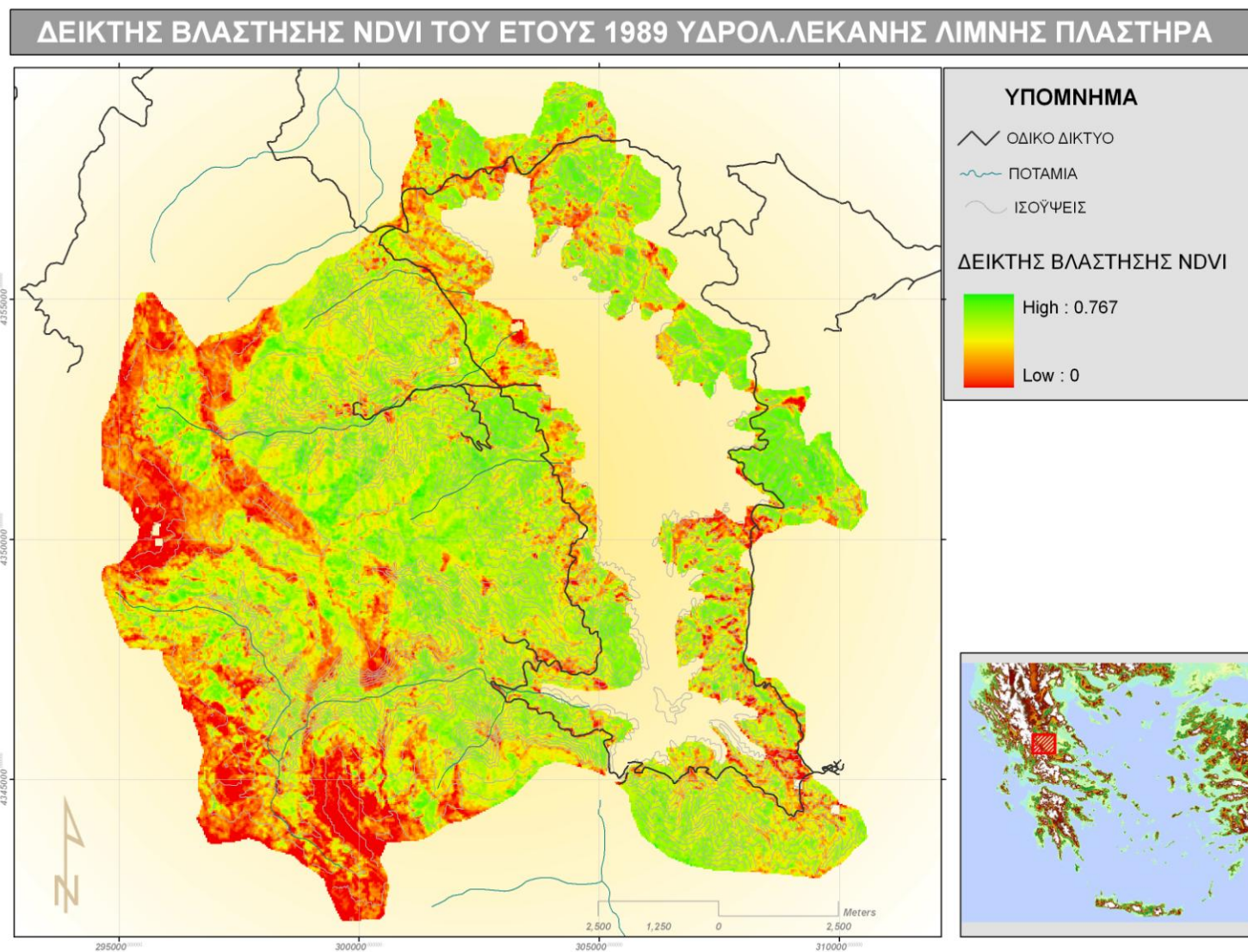


Εικόνα 1: Χάρτης βλάστησης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 1985 με βάση τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης

ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 1987 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ

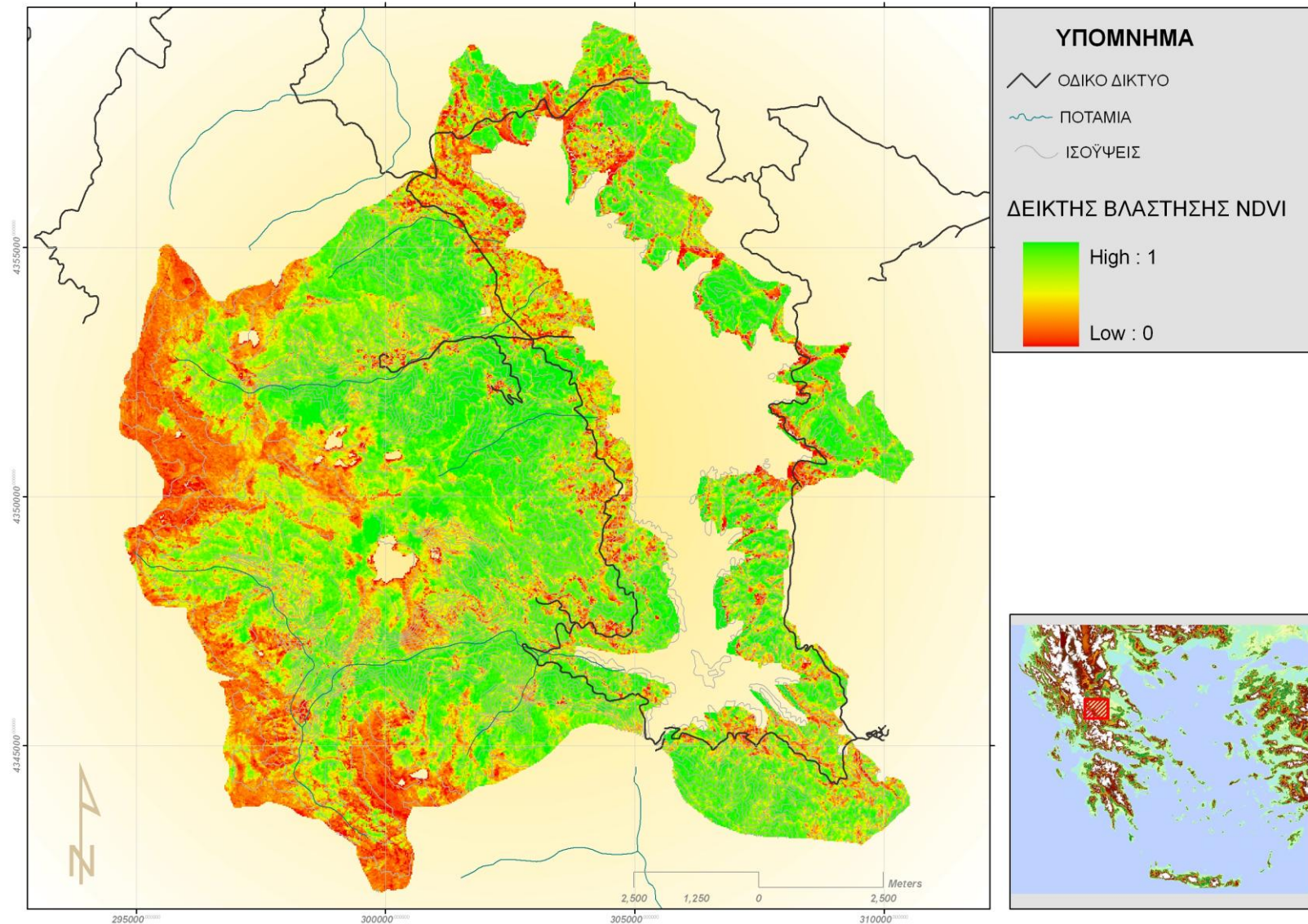


Εικόνα 2: Χάρτης βλάστησης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 1987 με βάση τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI

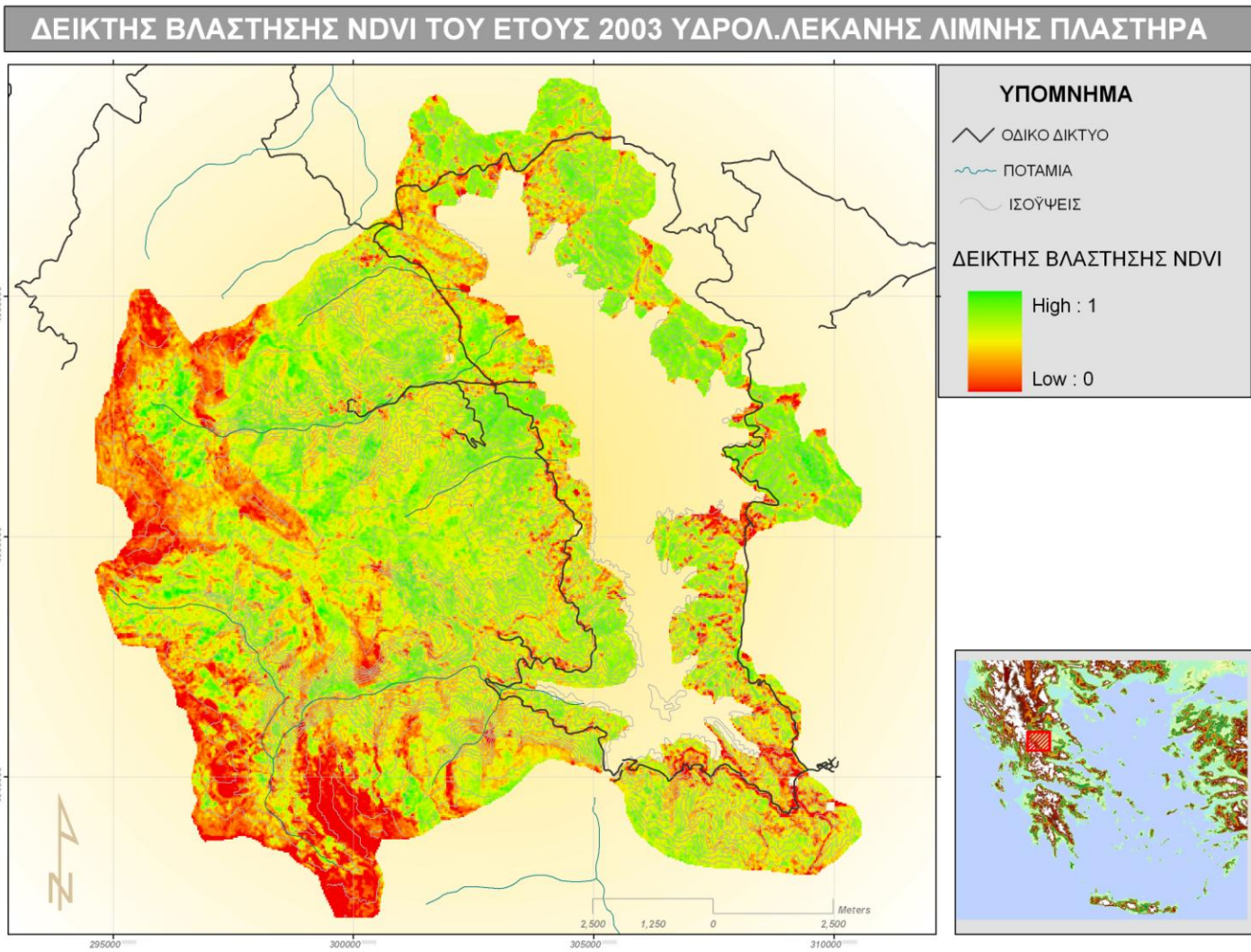


Εικόνα 3: Χάρτης βλάστησης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 1989 με βάση τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης

ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 2002 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ

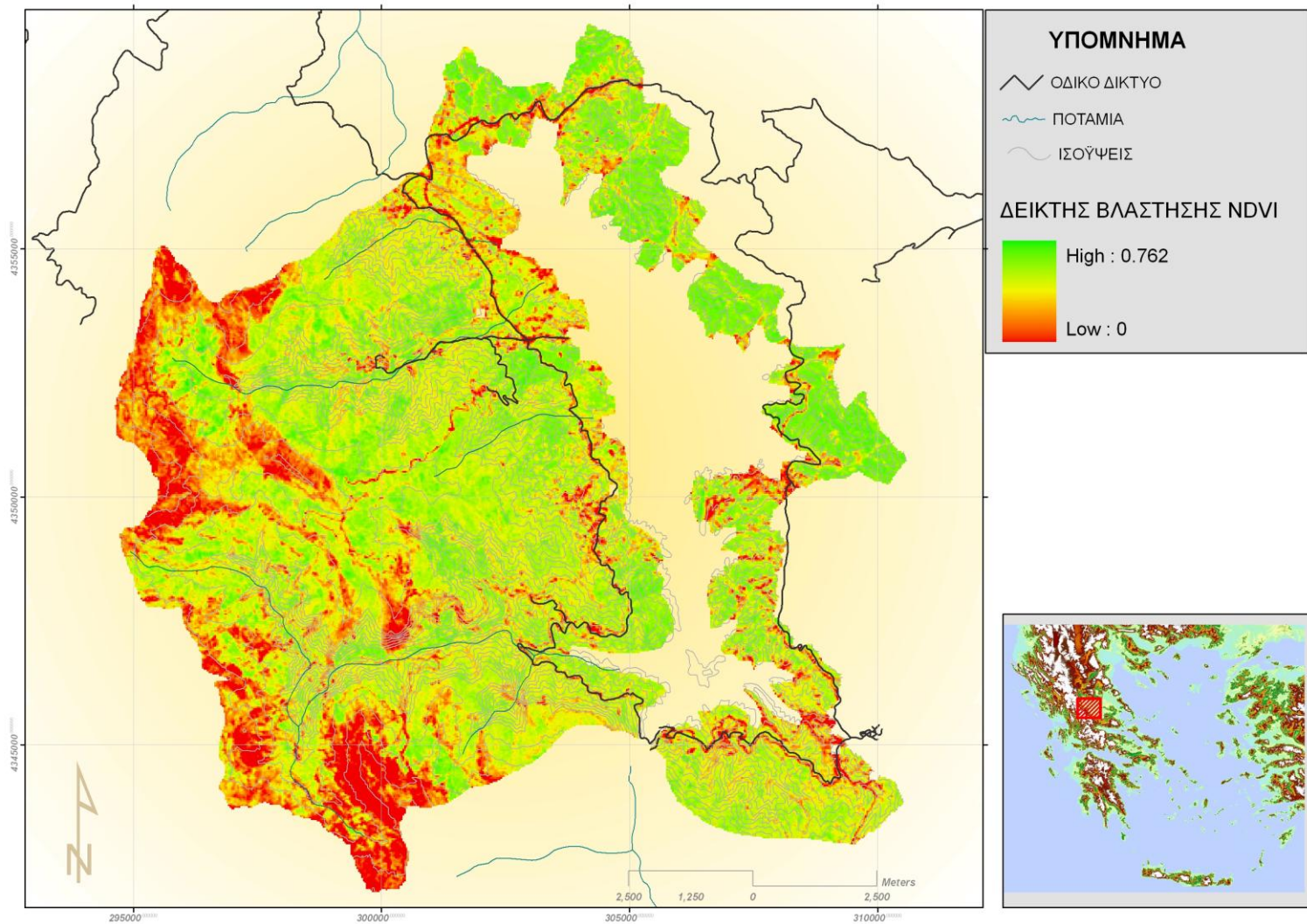


Εικόνα 4: Χάρτης βλάστησης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 2002 με βάση τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI



Εικόνα 5: Χάρτης βλάστησης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 2003 με βάση τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI

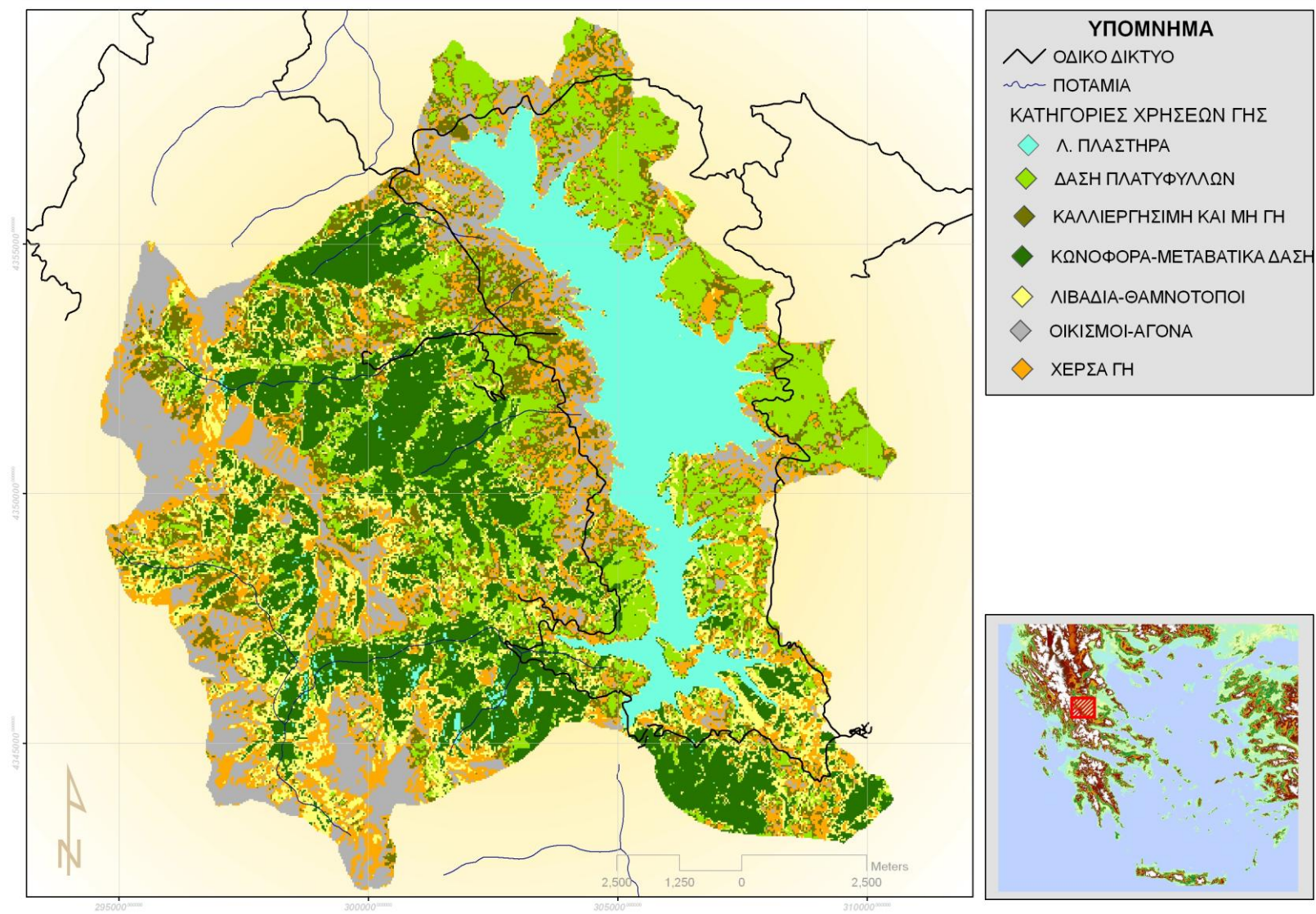
ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 2007 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ



Εικόνα 6: Χάρτης βλάστησης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 2007 με βάση τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI

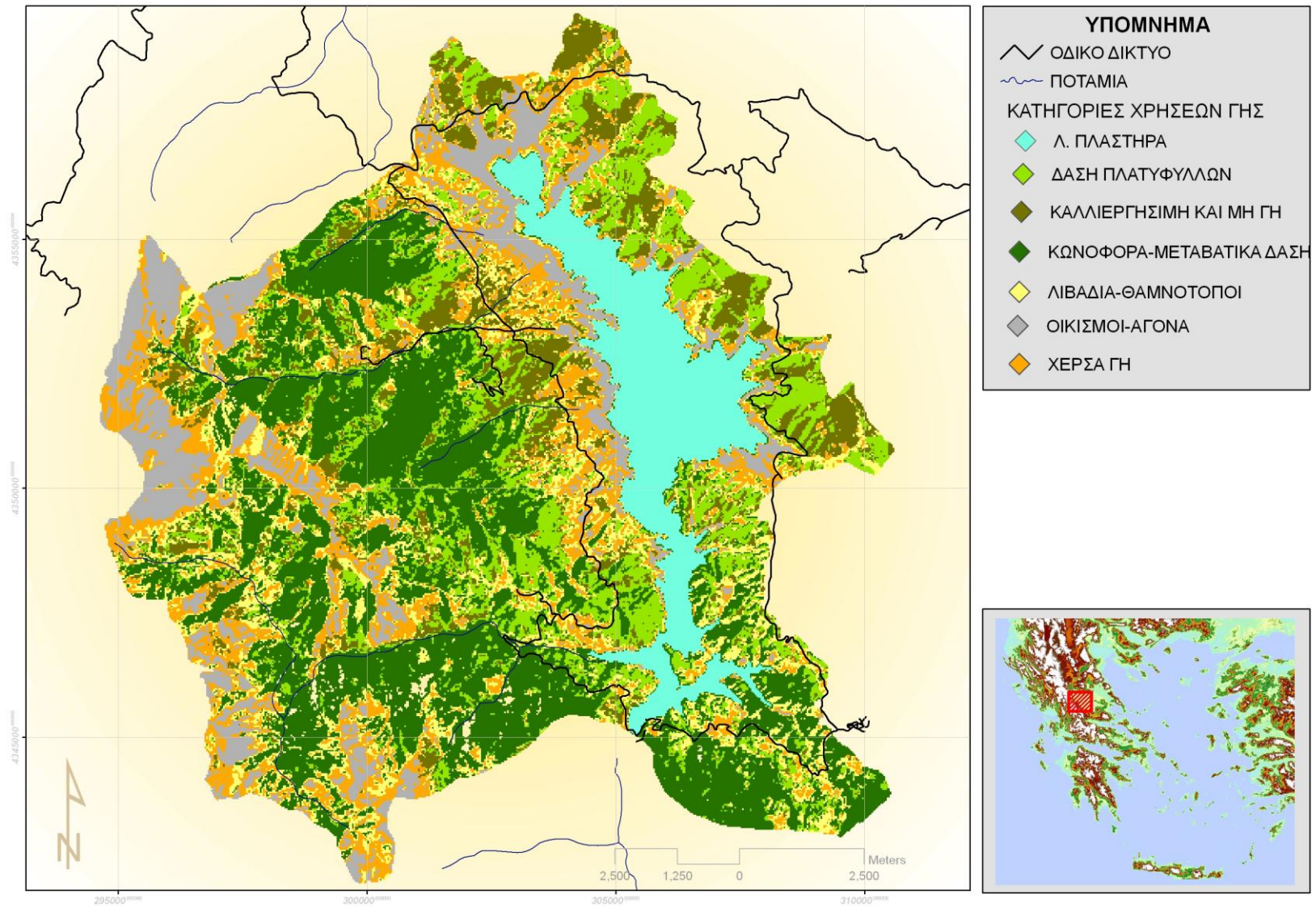
7.2 ΧΑΡΤΕΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ

ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 1985 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ



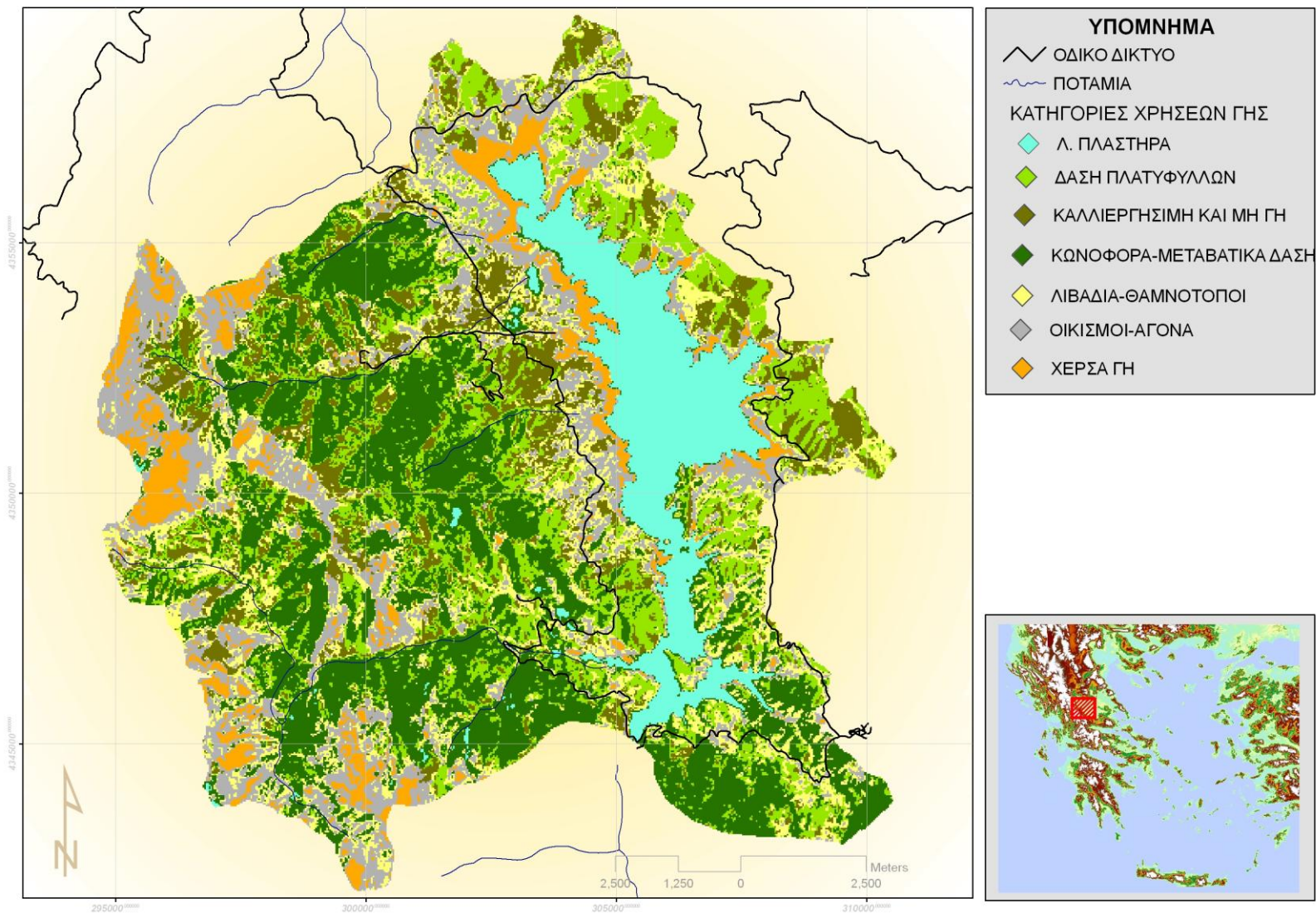
Εικόνα 7: Χάρτης χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 1985.

ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 1987 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ



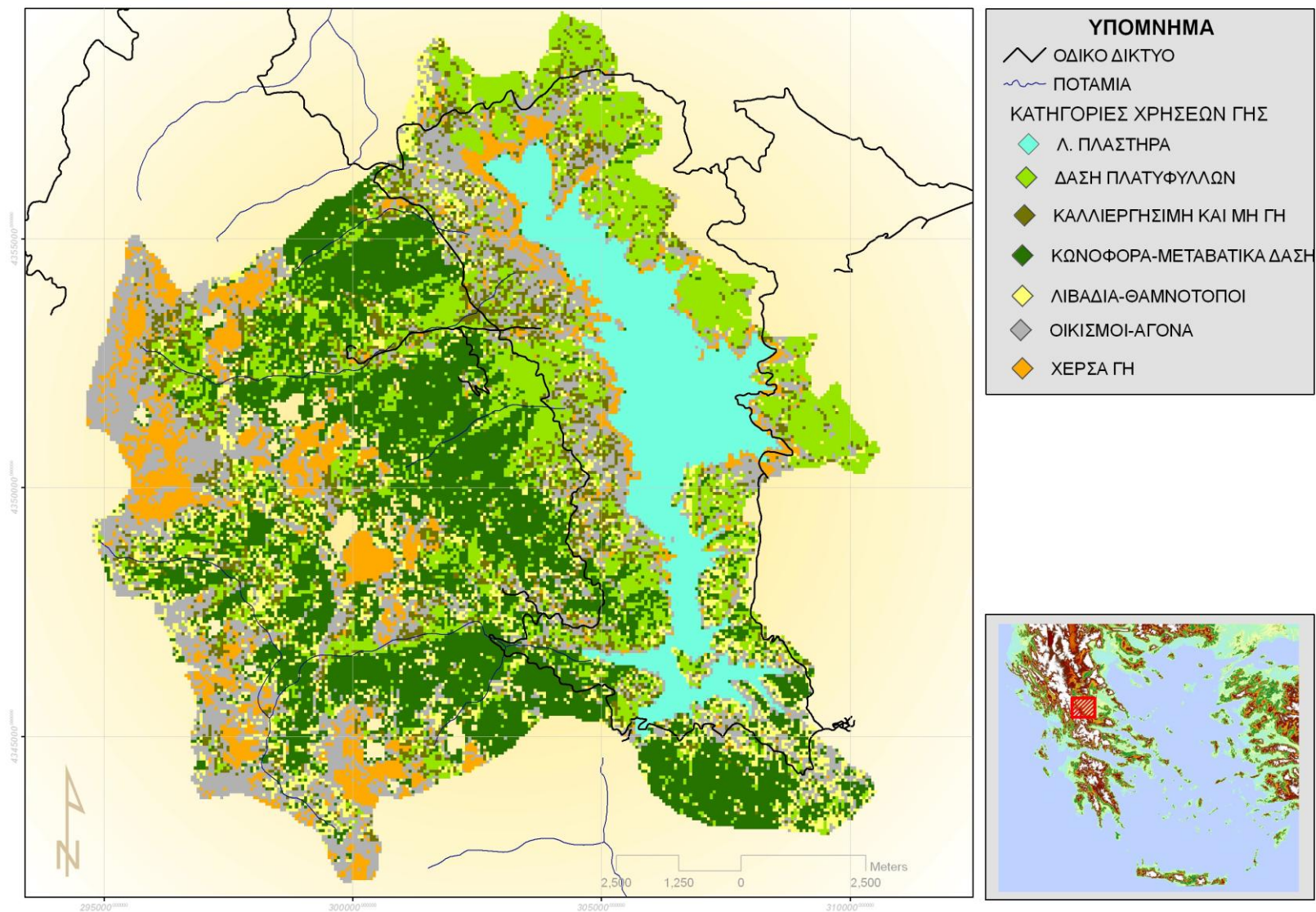
Εικόνα 8: Χάρτης χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 1987.

ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 1989 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ



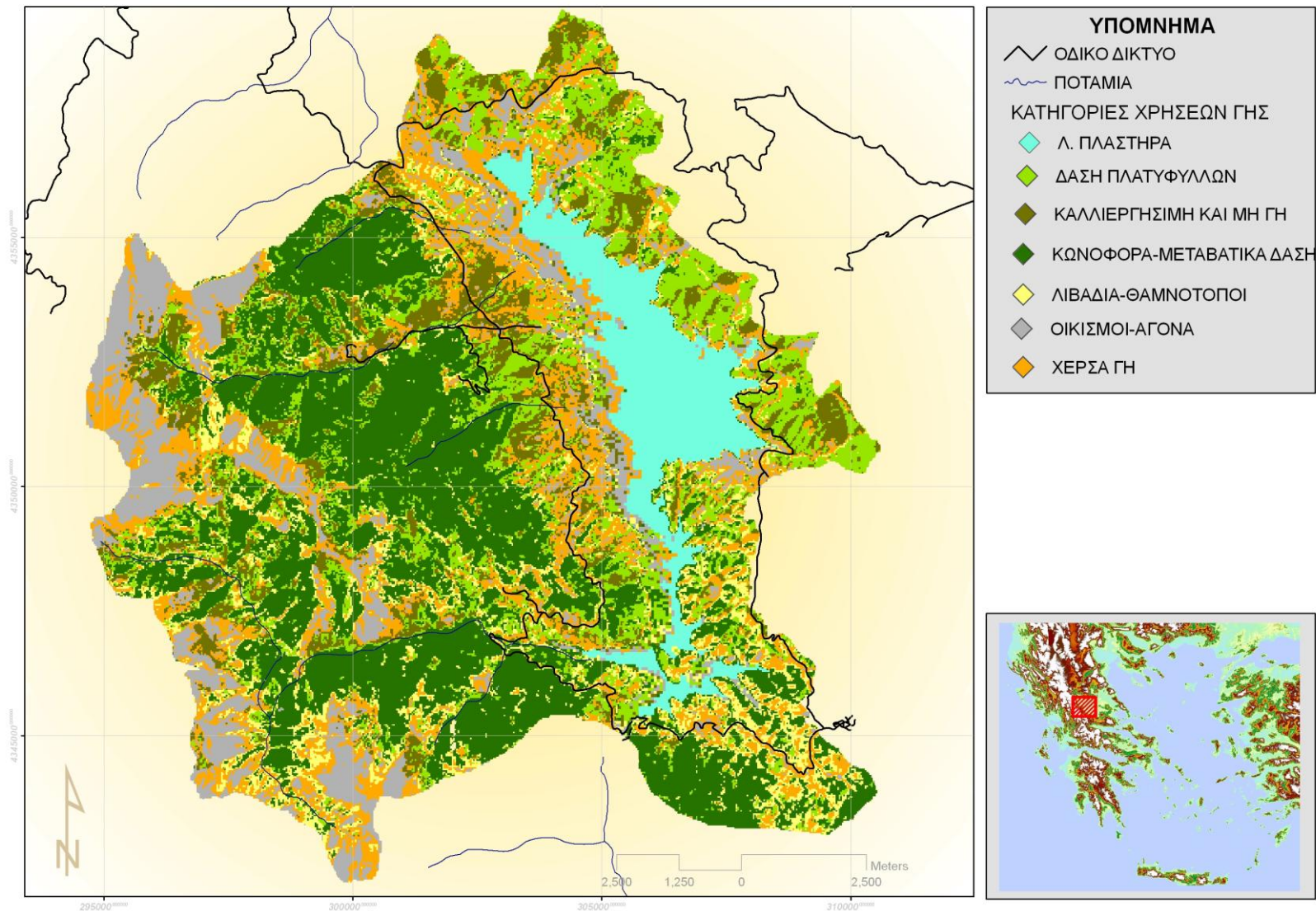
Εικόνα 9: Χάρτης χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 1989.

ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 2002 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ



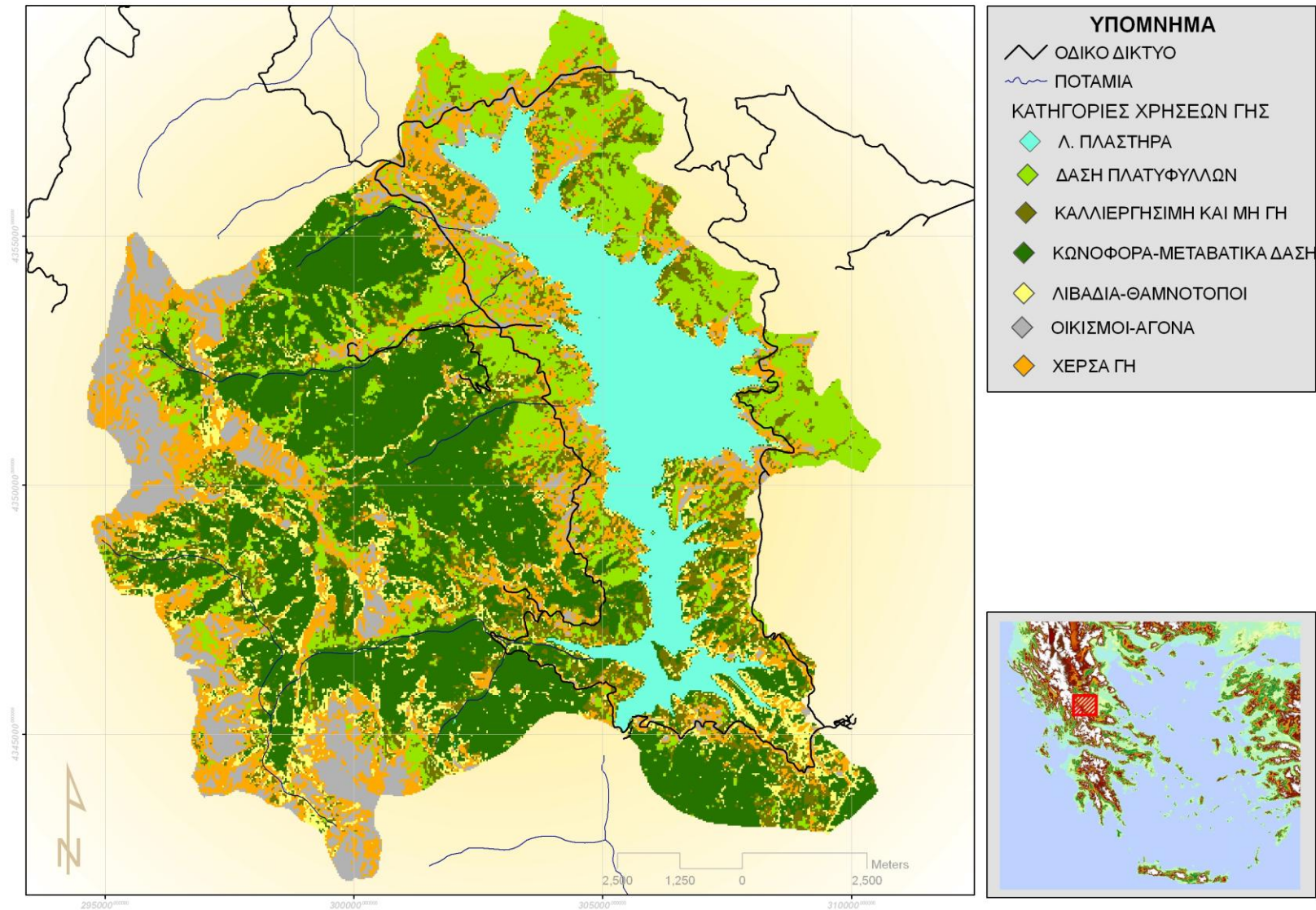
Εικόνα 10: Χάρτης χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 2002.

ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 2003 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ



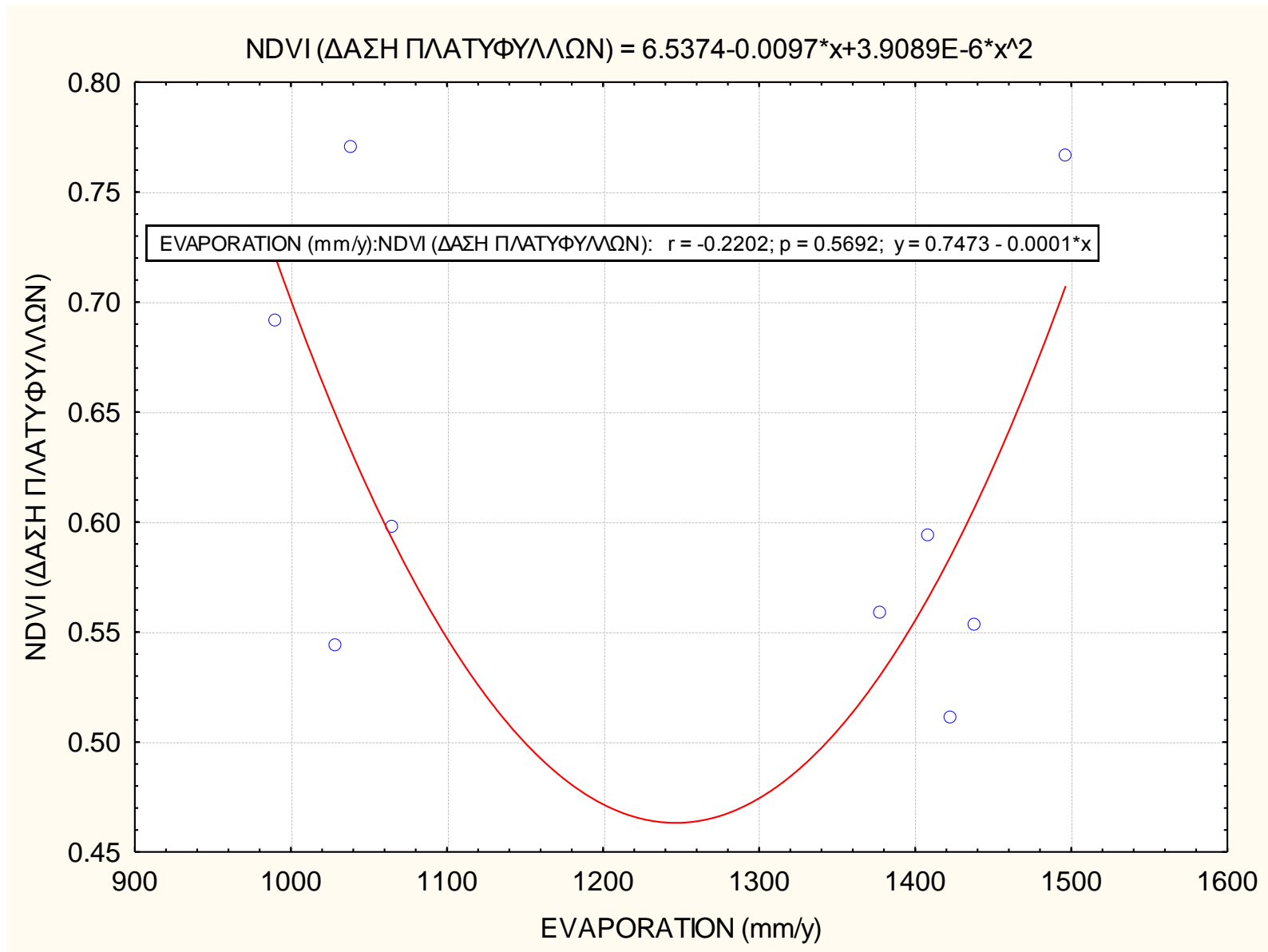
Εικόνα 11: Χάρτης χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 2003.

ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 2007 ΥΔΡΟΛ.ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ

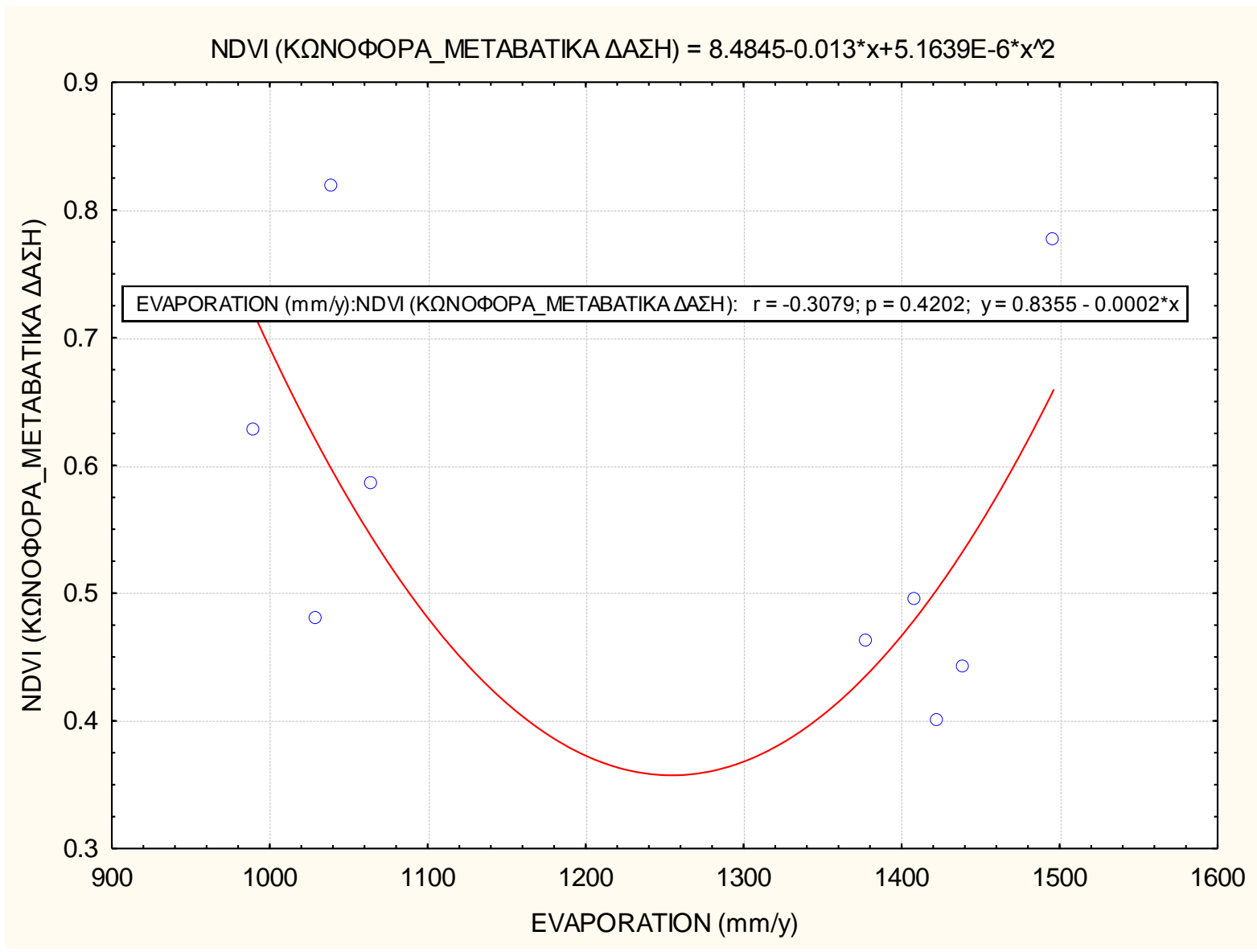


Εικόνα 12: Χάρτης χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα του έτους 2007.

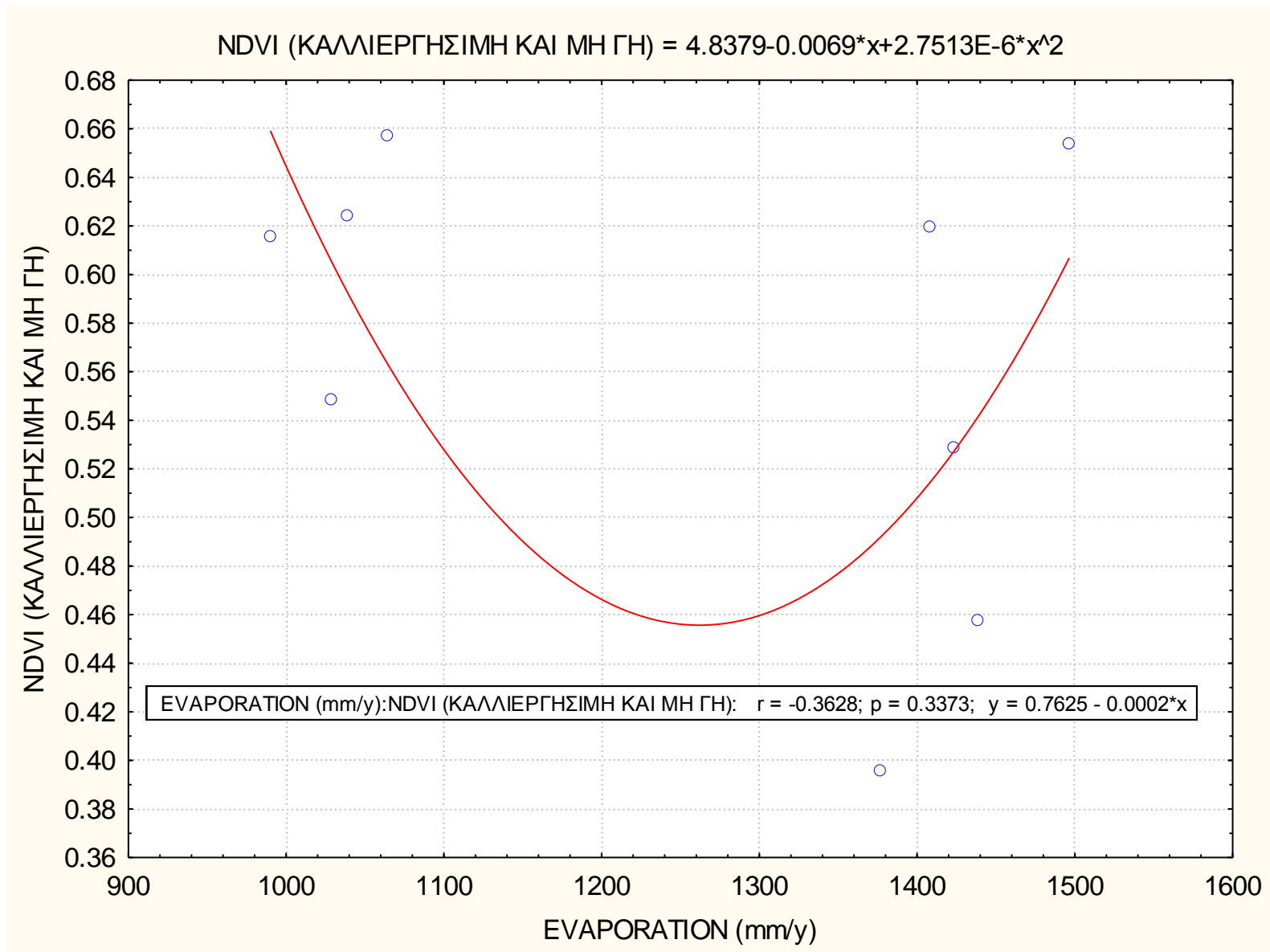
7.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ



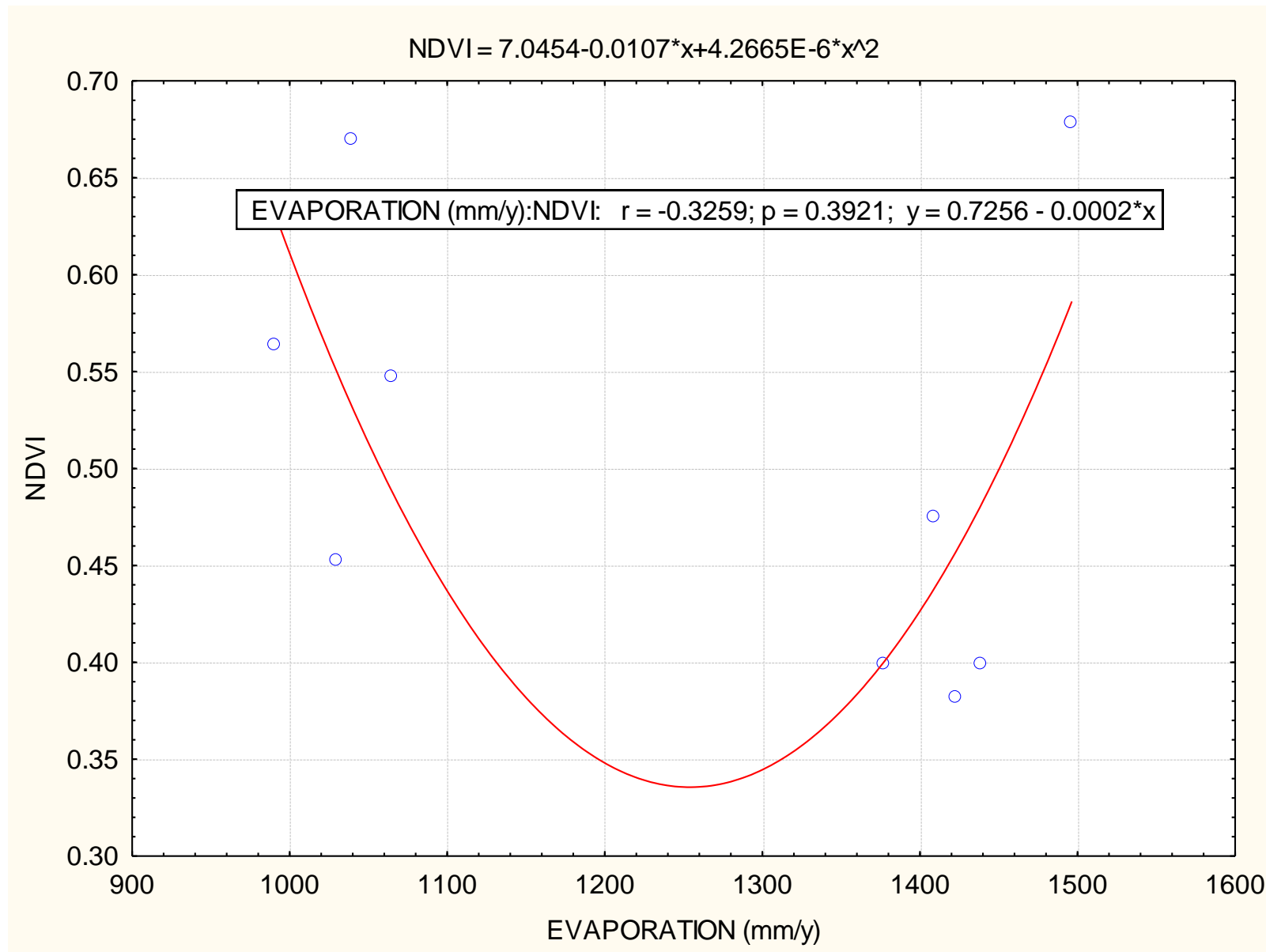
Εικόνα 13: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας εξατμισοδιαπνοής και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης δάση πλατύφυλλων της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.



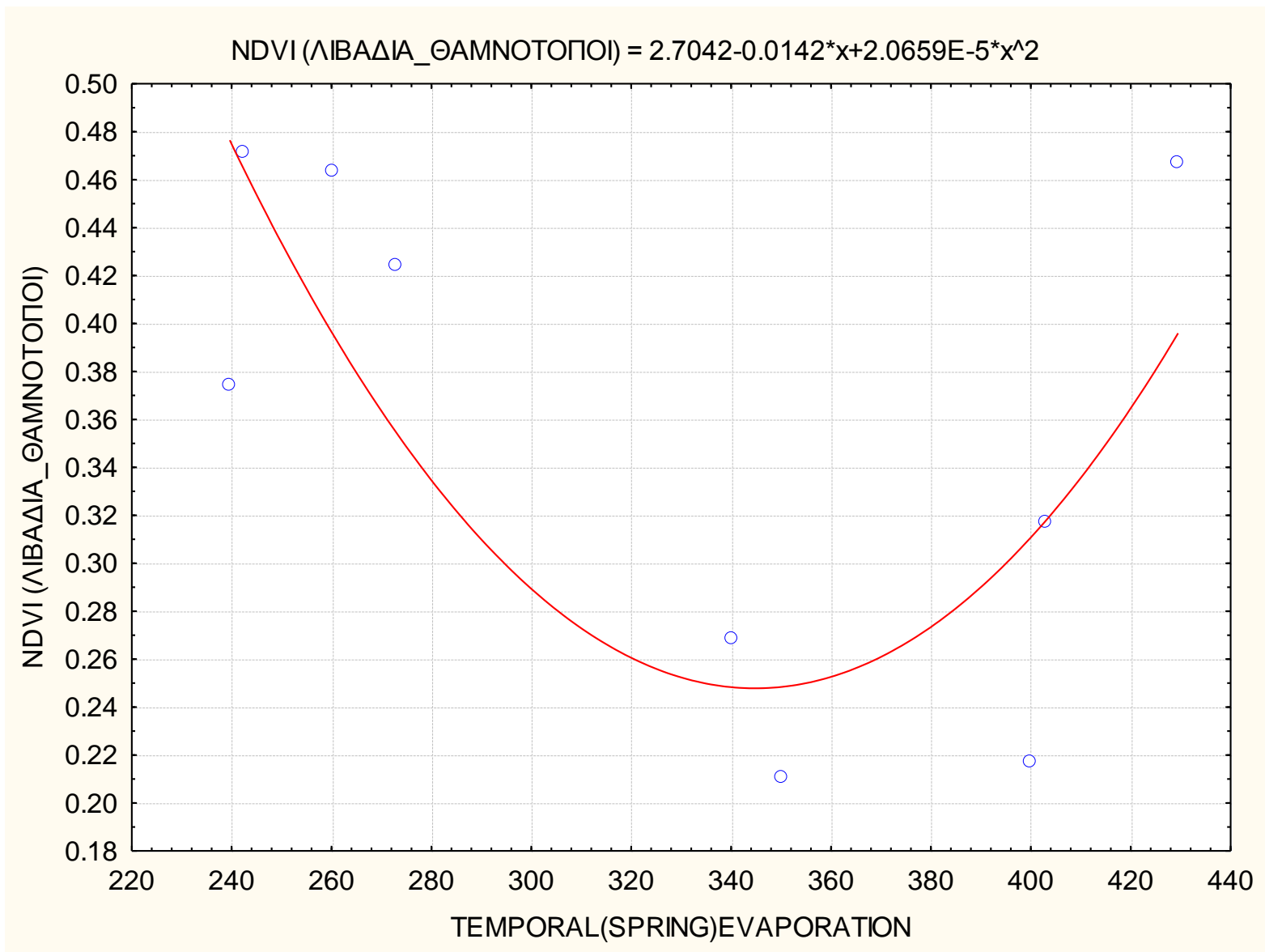
Εικόνα 14: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας εξατμισοδιαπνοής και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης κωνοφόρα και μεταβατικά δάση της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.



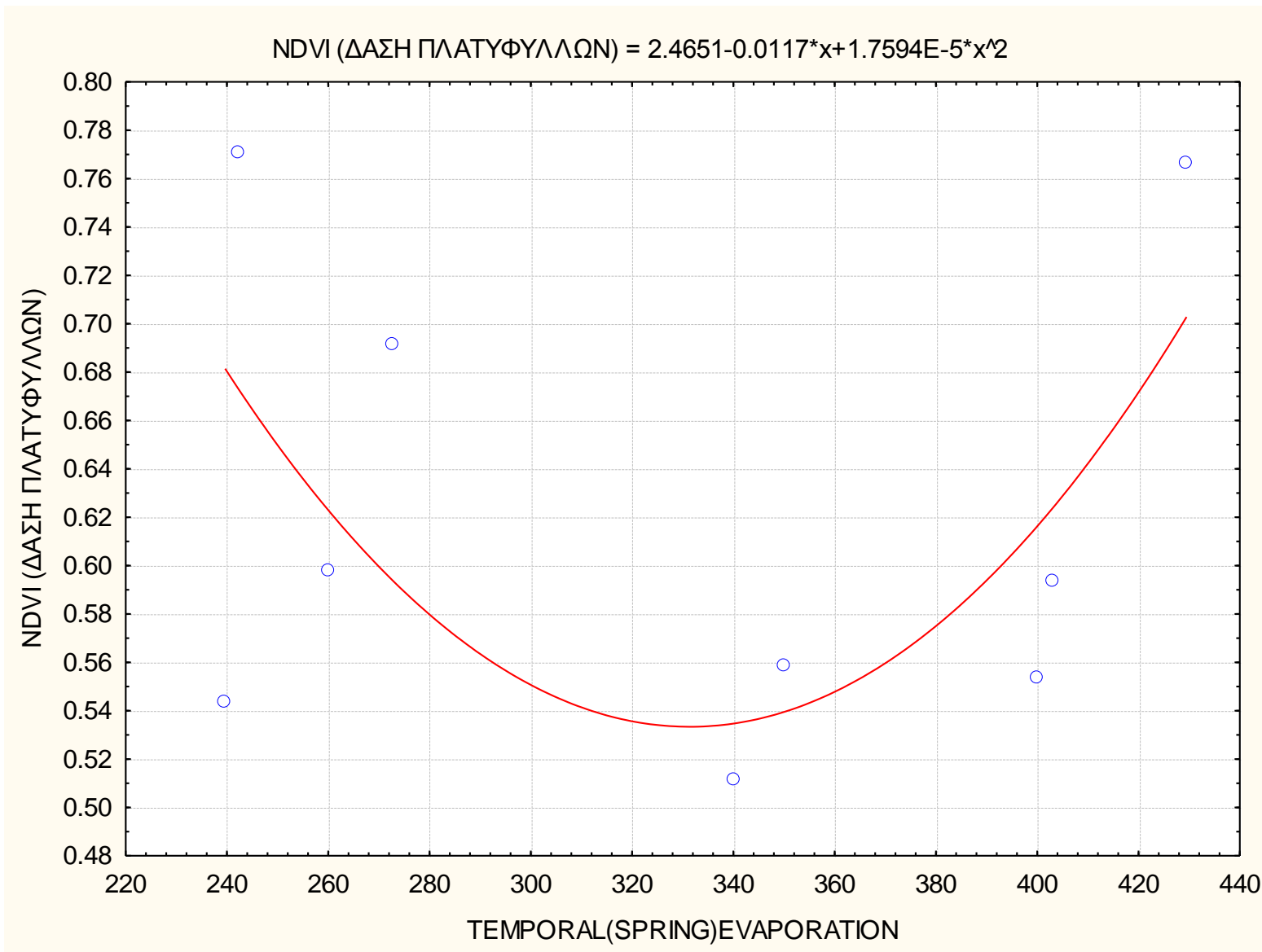
Εικόνα 15: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας εξατμισοδιαπνοής και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης καλλιεργήσιμη και μη γη της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.



Εικόνα 16: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας εξατμισοδιαπνοής και του ετήσιου δείκτη βλάστησης NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

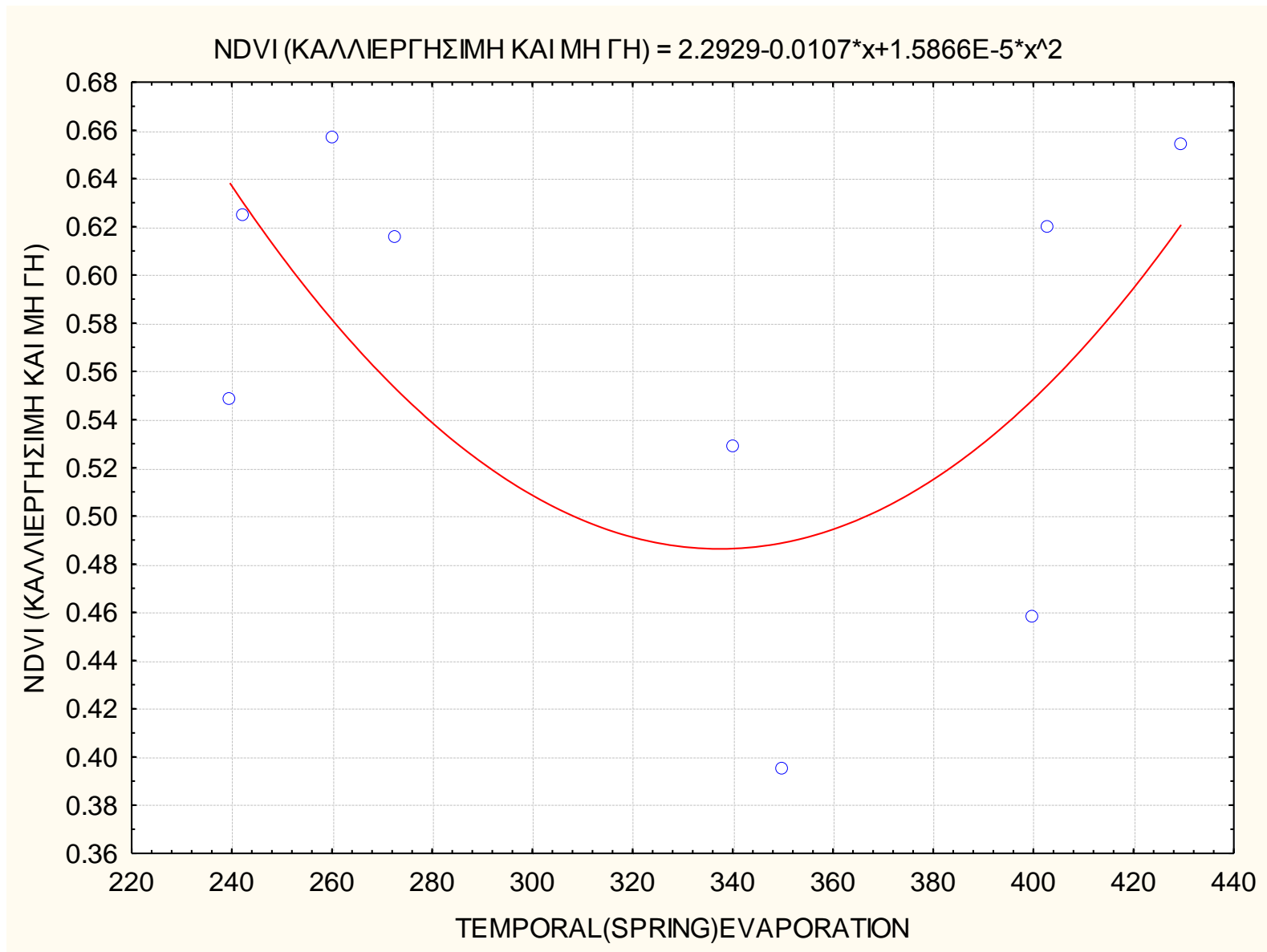


Εικόνα 17: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας εποχιακής εξατμισοδιαπνοής και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης λιβάδια και θαμνότοποι της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.



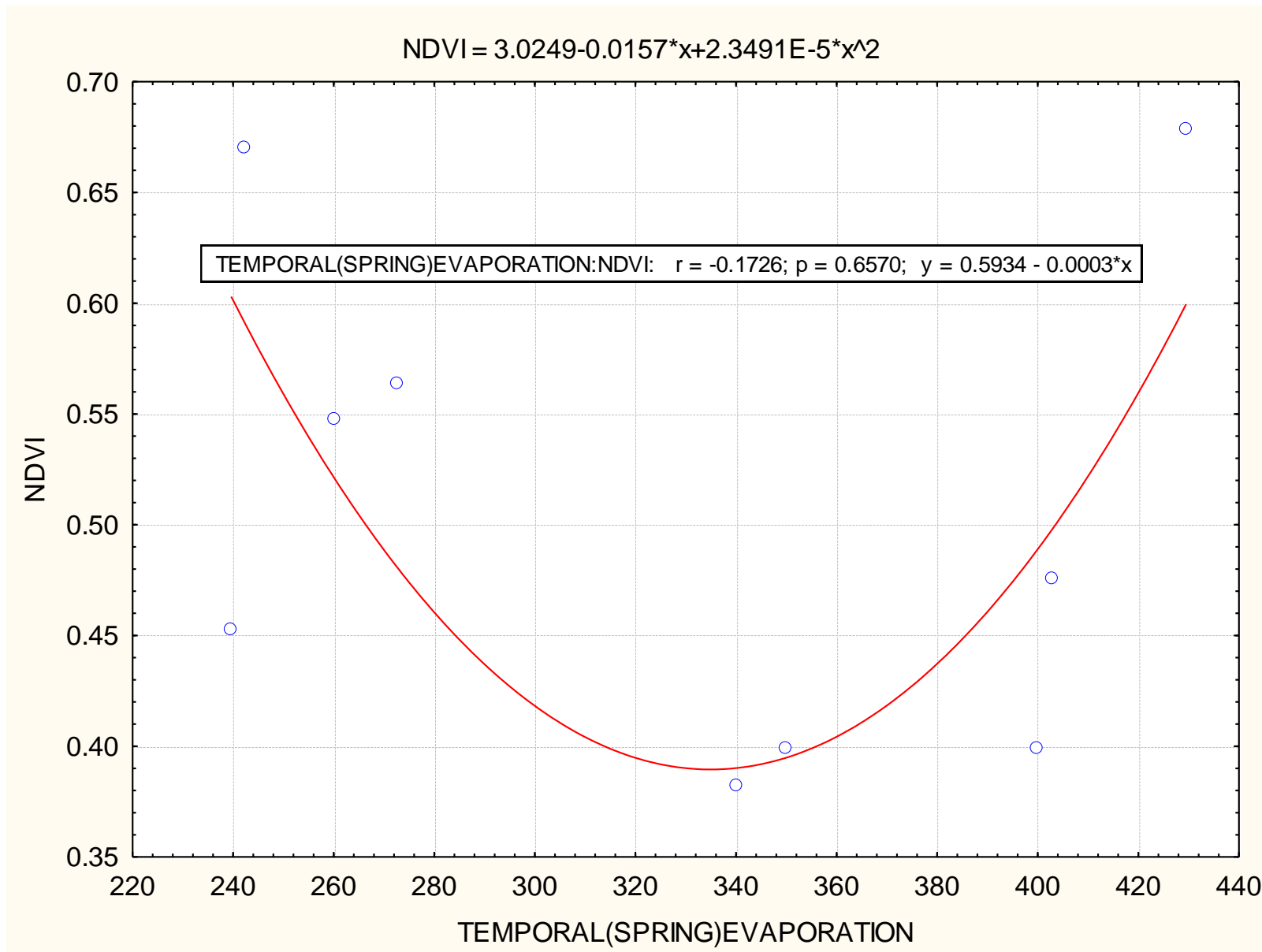
TEMPORAL (SPRING) EVAPORATION: NDVI (ΔΑΣΗ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ): $r = -0.0543$; $p = 0.8896$; $\gamma = 0.6441 - 7.1129E-5 * x$

Εικόνα 18: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας εποχιακής εξατμισοδιαπνοής και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης δάση πλατύφυλλων της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

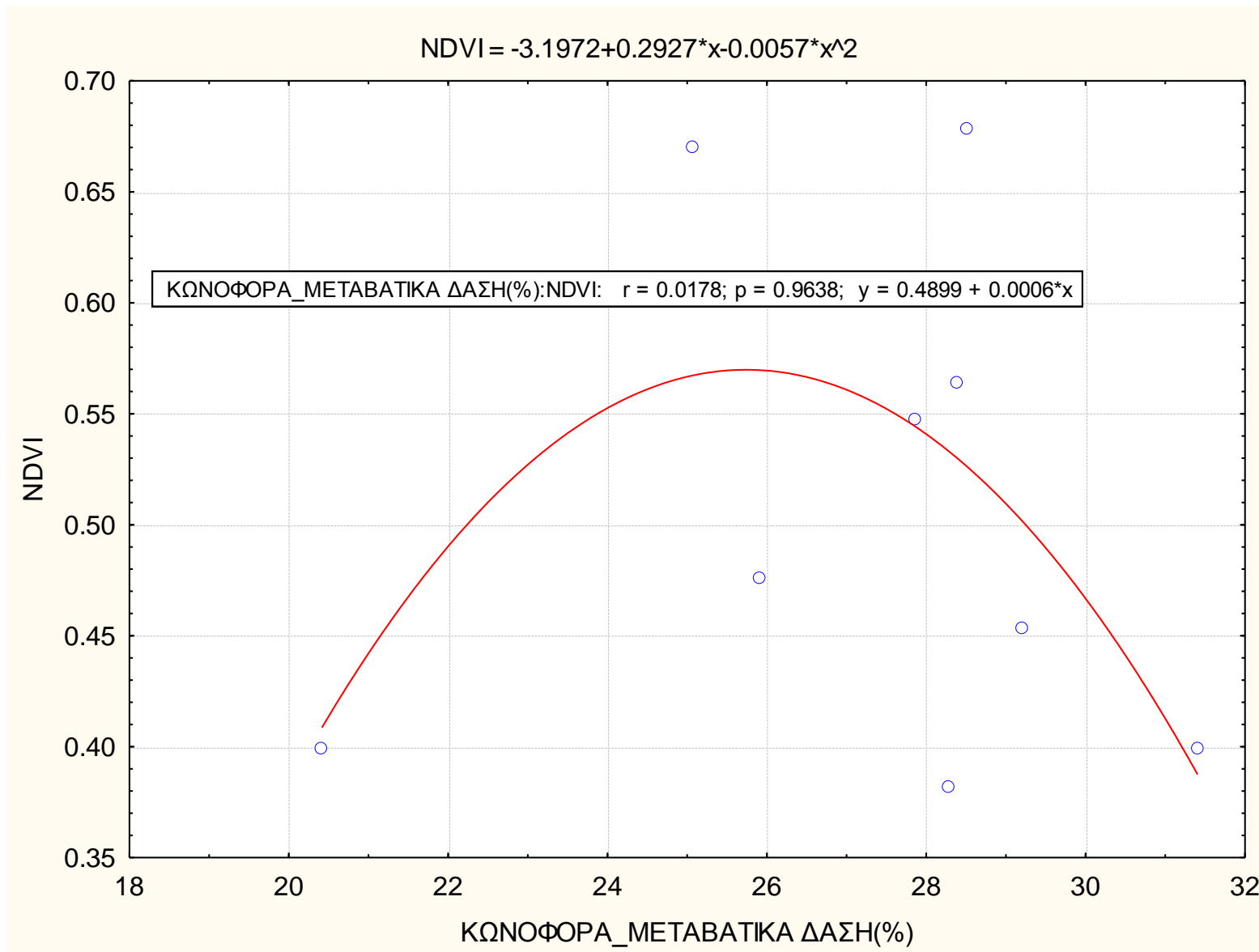


TEMPORAL (SPRING) EVAPORATION: NDVI (ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΗ Κ ΜΗ ΓΗ): r = -0.2089; p = 0.5896; y = 0.6506 - 0.0003*x

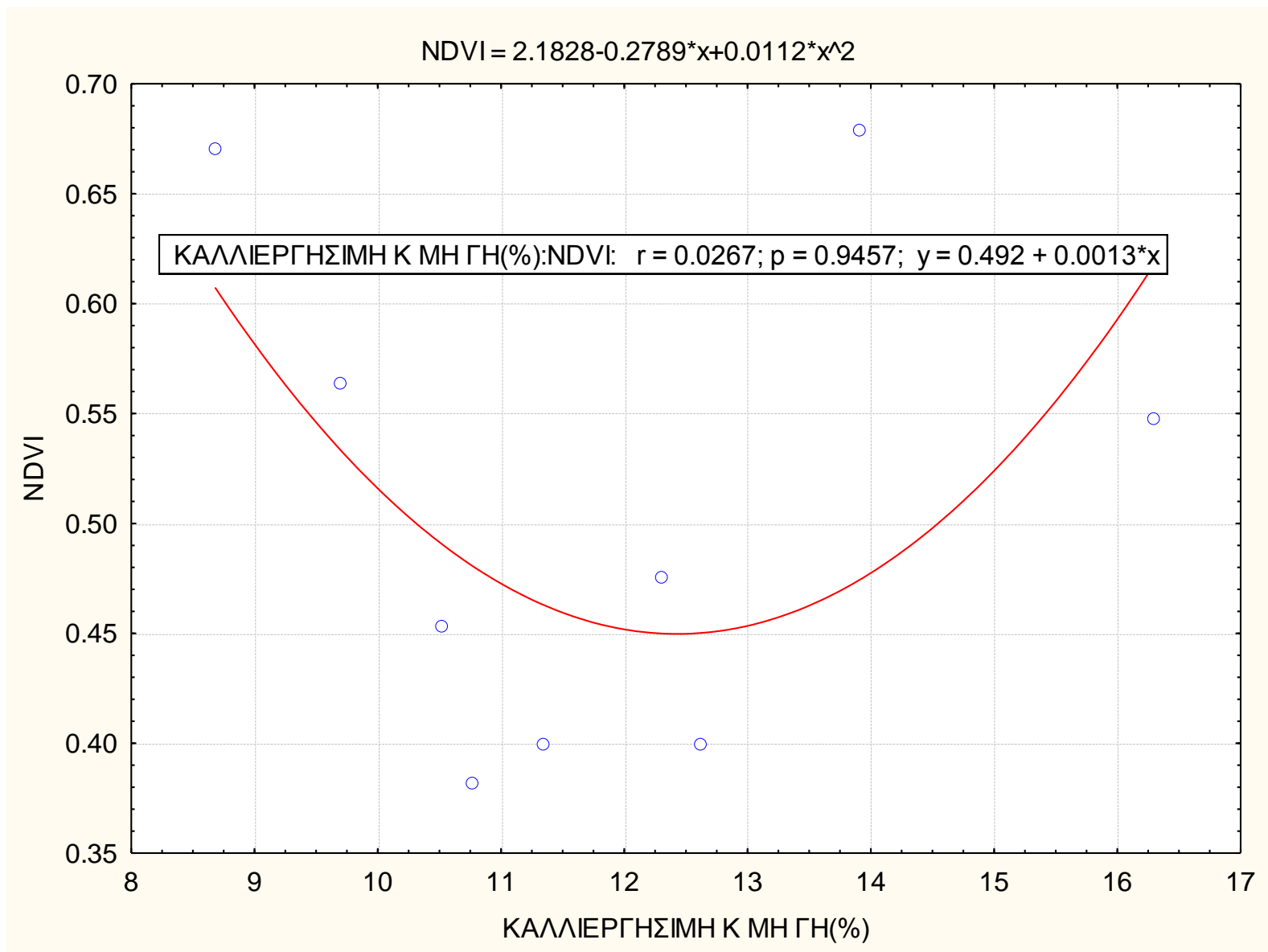
Εικόνα 19: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας εποχιακής εξατμισοδιαπνοής και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης καλλιεργήσιμη και μη γη της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.



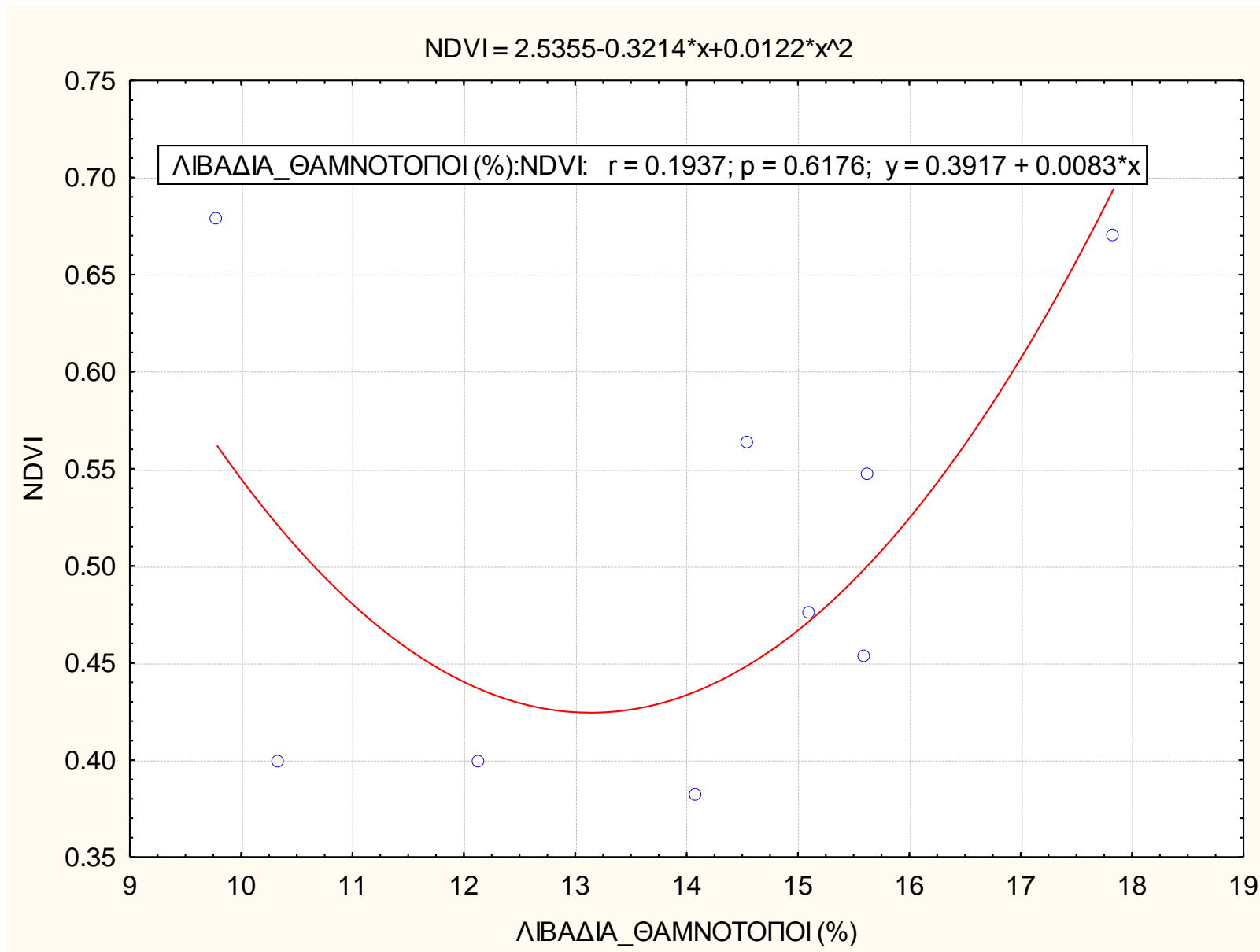
Εικόνα 20: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της ετήσιας εποχιακής εξατμισοδιαπνοής και του ετήσιου δείκτη βλάστησης NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.



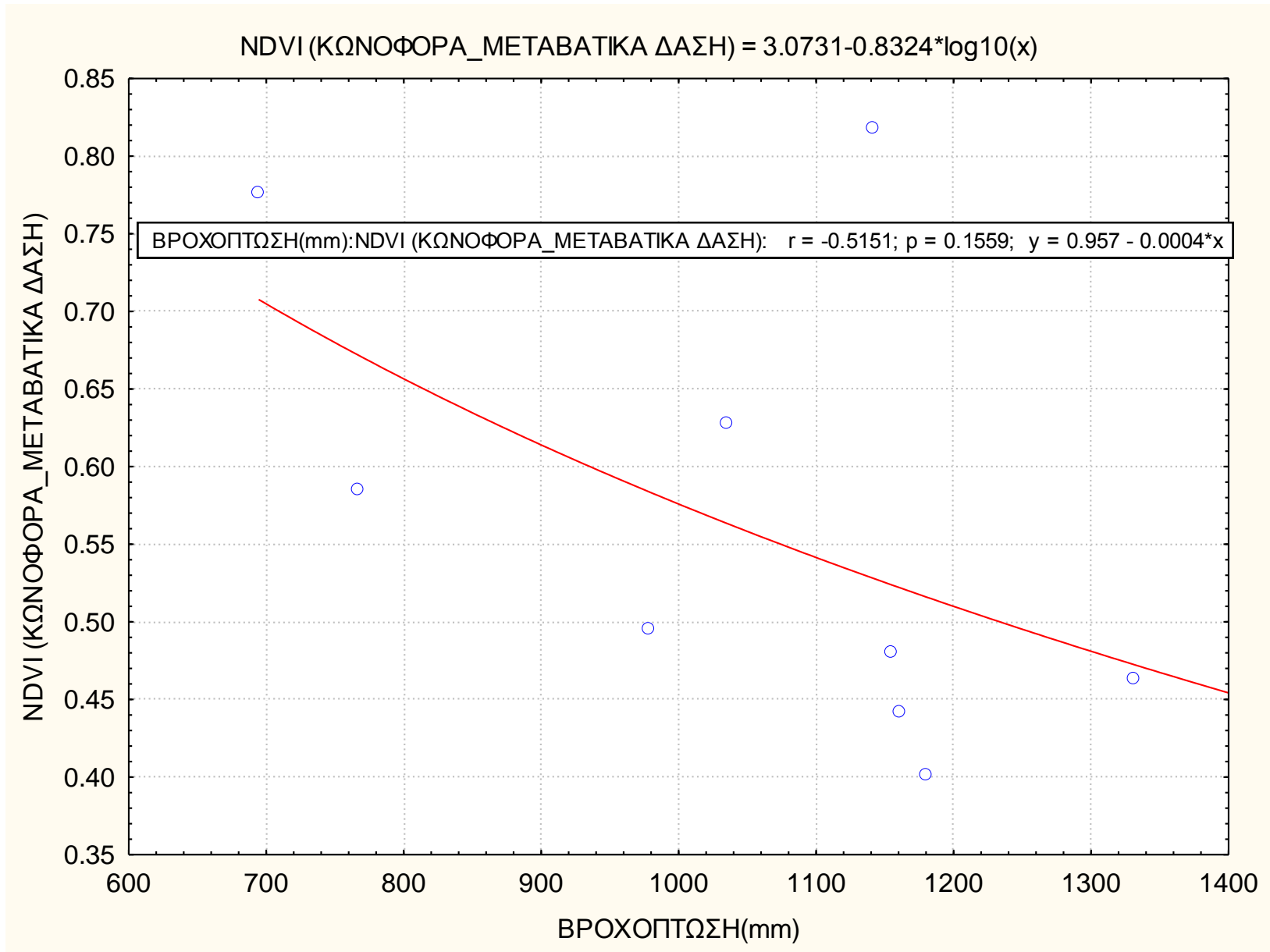
Εικόνα 21: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ του ποσοστού που καταλαμβάνει στην υπό μελέτη λεκάνη η χρήση γης κωνοφόρα και μεταβατικά δάση και του ετήσιου NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.



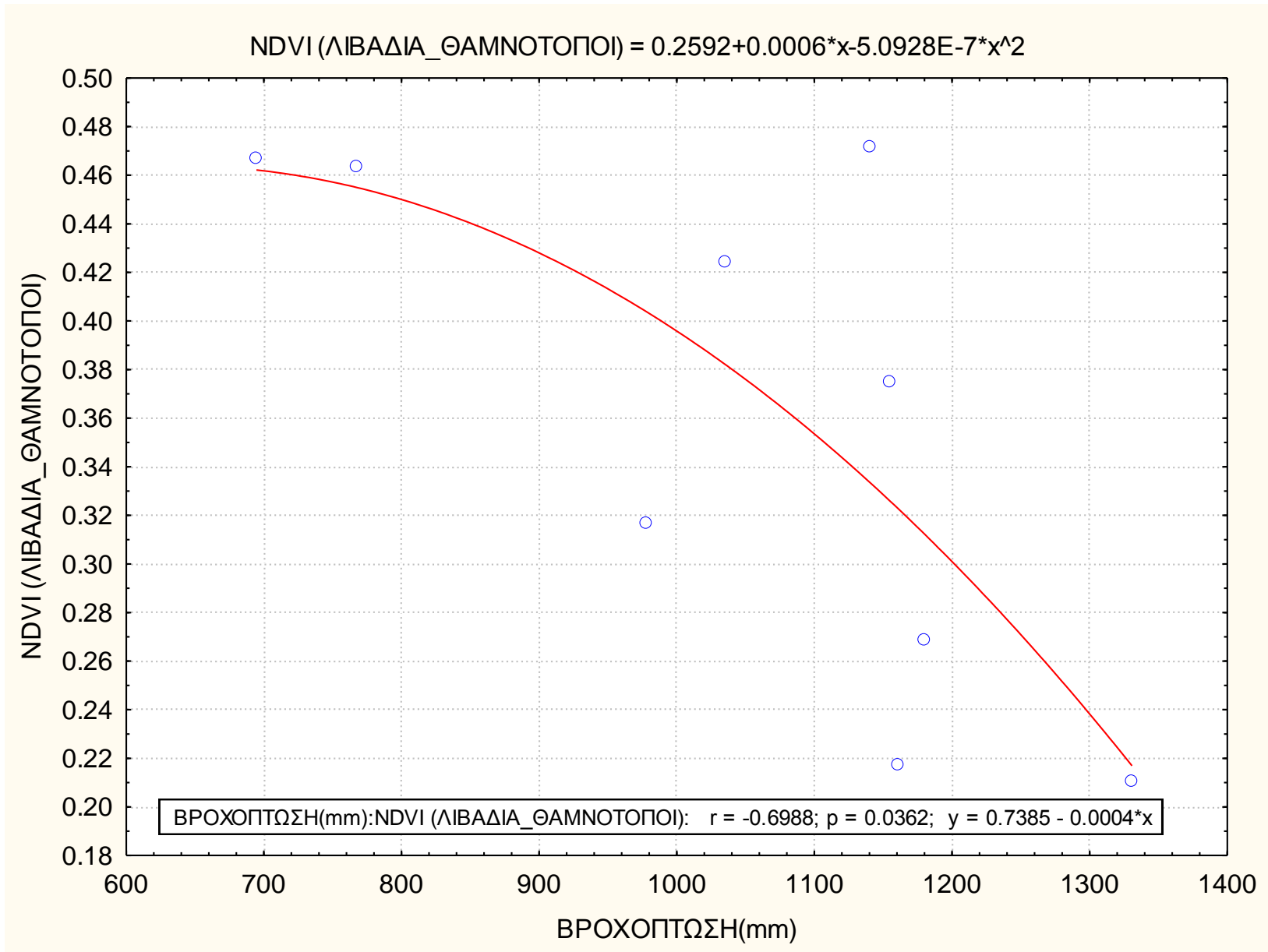
Εικόνα 22: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ του ποσοστού που καταλαμβάνει στην υπό μελέτη λεκάνη η χρήση γης καλλιεργήσιμη και μη γη και του ετήσιου NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα



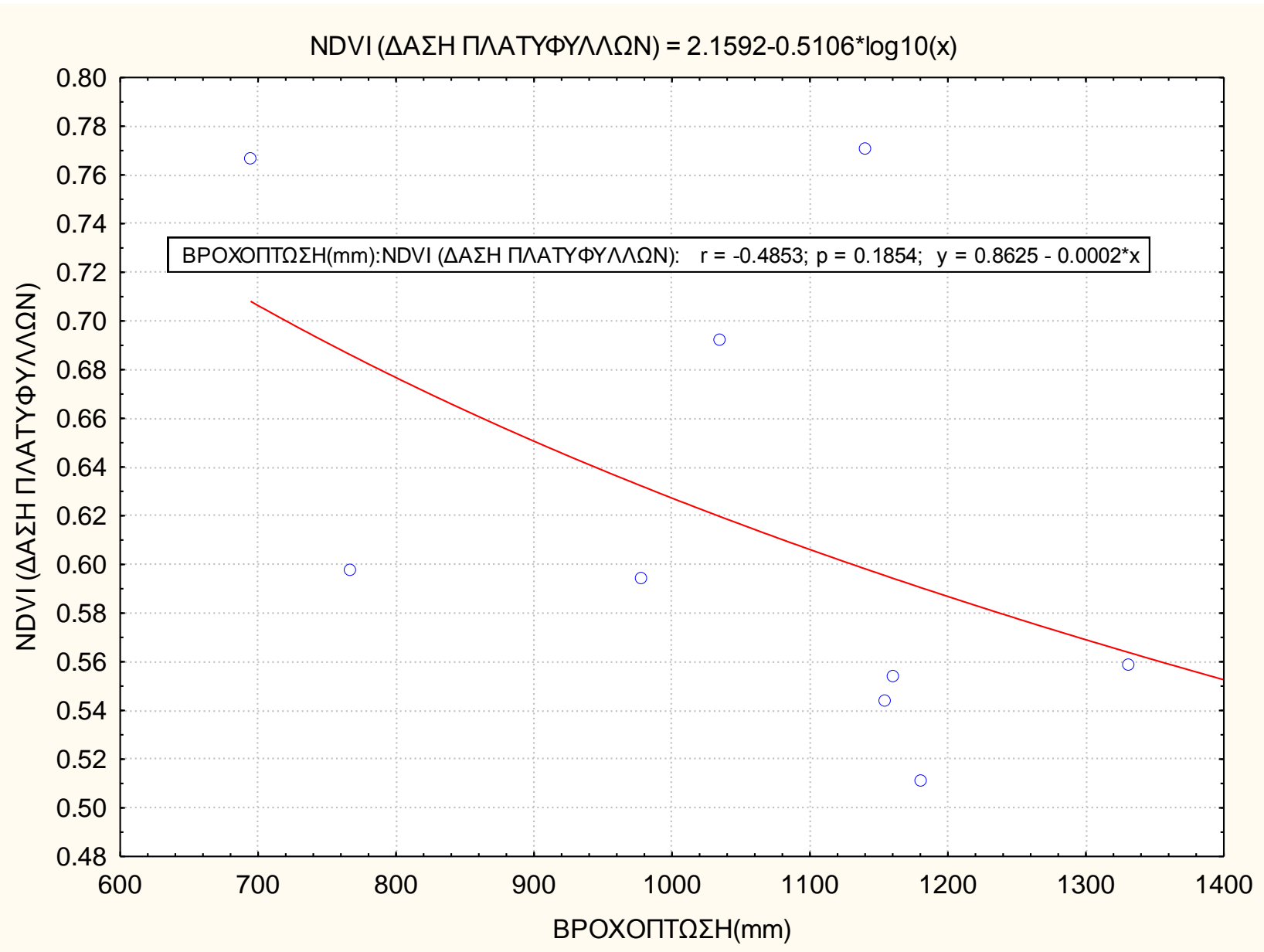
Εικόνα 23: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ του ποσοστού που καταλαμβάνει στην υπό μελέτη λεκάνη η χρήση γης λιβάδια και θαμνότοποι και του ετήσιου NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.



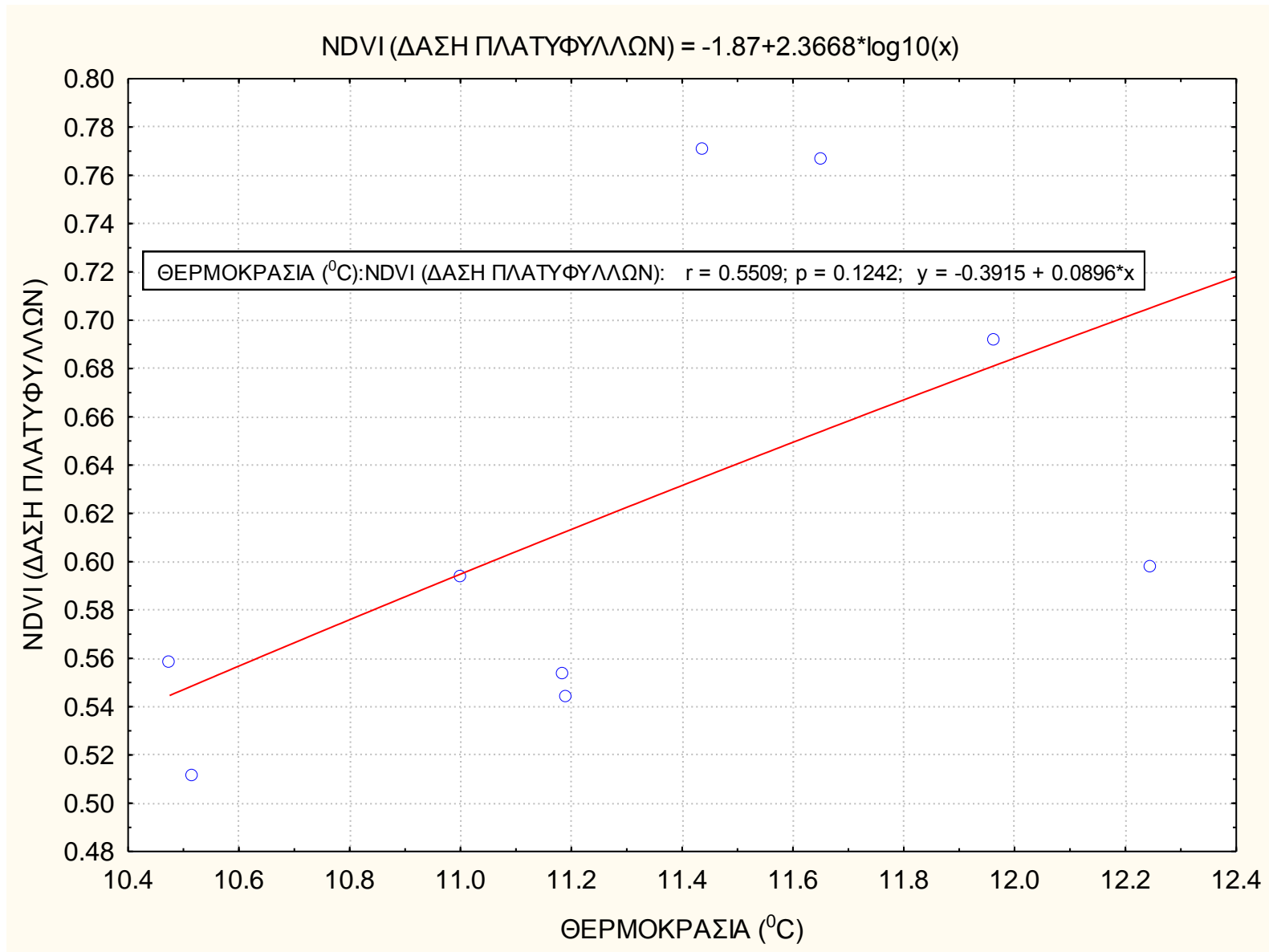
Εικόνα 24: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της βροχόπτωσης και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης κωνοφόρα και μεταβατικά δάση της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.



Εικόνα 25: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της βροχόπτωσης και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης λιβάδια και θαμνότοποι της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.



Εικόνα 26: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της βροχόπτωσης και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης δάση πλατύφυλλων της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.



Εικόνα 27: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ της θερμοκρασίας και του δείκτη βλάστησης NDVI της χρήσης δάση πλατύφυλλων της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

7.4 ΠΙΝΑΚΕΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα, έτσι όπως υπολογίζονται από το λογισμικό ArcGis 9.3 για κάθε παρατήρηση του υποδείγματος, οι πρώτες είκοσι εγγραφές των παρατηρούμενων στοιχείων, των προβλεπόμενων στοιχείων, των υπολοίπων, των τυποποιημένων υπολοίπων και του τοπικού συντελεστή προσδιορισμού (local R^2).

FID	Shape *	Observed	Cond	LocalR2	Predicted	Intercept	C1 ELEVATI	Residual	StdError	StdErr Int	StdErrC1 E	StdResid	Source ID
0	Point	6	60,707481	0,000144	5,296904	5,083764	0,00022	0,703096	0,417416	2,729677	0,003009	1,684401	0
1	Point	5	63,0785	0,000055	5,300946	5,163978	0,000142	-0,300946	0,425409	2,80209	0,003084	-0,707427	1
2	Point	5	64,391773	0,000987	5,28272	5,878309	-0,000621	-0,28272	0,436072	2,745228	0,003024	-0,648333	2
3	Point	6	59,13532	0,001629	5,271574	5,954808	-0,000724	0,728426	0,454036	2,547429	0,002816	1,604336	3
4	Point	5	61,213574	0,00141	5,284905	5,937332	-0,000693	-0,284905	0,458673	2,615843	0,002885	-0,62115	4
5	Point	5	64,267109	0,00596	5,292336	6,69878	-0,001501	-0,292336	0,461432	2,694046	0,002968	-0,633542	5
6	Point	6	65,798677	0,014152	5,275228	7,577832	-0,002455	0,724772	0,455736	2,627877	0,002902	1,590333	6
7	Point	6	66,82709	0,005975	5,26634	6,876419	-0,001724	0,73366	0,450142	2,606502	0,002892	1,629841	7
8	Point	5	68,208788	0,002743	5,258795	4,031937	0,001334	-0,258795	0,454082	2,722947	0,003043	-0,56993	8
9	Point	5	70,879854	0,035537	5,1892	0,193418	0,00552	-0,1892	0,456959	2,949194	0,003323	-0,414042	9
10	Point	4	58,823064	0,018595	5,275924	7,579815	-0,002515	-1,275924	0,465021	2,350831	0,002616	-2,7438	10
11	Point	5	59,439924	0,00855	5,274718	6,808615	-0,001669	-0,274718	0,465326	2,466768	0,002732	-0,590377	11
12	Point	5	59,710067	0,011941	5,301952	7,100637	-0,001959	-0,301952	0,467654	2,400643	0,002657	-0,645674	12
13	Point	5	61,385764	0,025777	5,326449	8,0756	-0,002995	-0,326449	0,468006	2,357289	0,002611	-0,697532	13
14	Point	5	64,186478	0,036677	5,313513	8,876695	-0,003865	-0,313513	0,464231	2,37343	0,002637	-0,675339	14
15	Point	5	67,344879	0,018043	5,304224	8,108946	-0,003059	-0,304224	0,462561	2,491577	0,002785	-0,657694	15
16	Point	4	69,956893	0,000064	5,282423	5,08969	0,000214	-1,282423	0,465964	2,68346	0,00302	-2,752196	16
17	Point	5	72,919461	0,015345	5,17532	1,746455	0,003848	-0,17532	0,465693	2,891849	0,003279	-0,376472	17
18	Point	4	78,362157	0,029673	5,015701	-0,321794	0,006052	-1,015701	0,465053	3,071308	0,003506	-2,184052	18
19	Point	5	92,426326	0,02963	4,829696	-1,445325	0,007163	0,170304	0,462684	3,595771	0,004129	0,368077	19
20	Point	5	111,739467	0,024212	4,685516	-2,048451	0,007705	0,314484	0,459852	4,25503	0,004906	0,683882	20

Εικόνα 28: Οι πρώτες είκοσι εγγραφές της εφαρμογής της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης μεταξύ του υψομέτρου και της μέσης τιμής NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Attributes of MEANNDVI_SLOPE_GWR													
FID	Shape *	Observed	Cond	LocalR2	Predicted	Intercept	C1 slope	Residual	StdError	StdErr Int	StdErrC1 s	StdResid	
0	Point	6	5,613521	0,052877	5,363263	4,473877	0,296462	0,636737	0,723688	0,143812	0,0815	0,87985	
1	Point	6	5,648677	0,048677	5,336694	4,475321	0,287124	0,663306	0,724152	0,143429	0,080864	0,915977	
2	Point	6	5,520448	0,060707	5,385994	4,409084	0,325637	0,614006	0,724219	0,13909	0,079496	0,847818	
3	Point	5	5,550837	0,056295	5,360496	4,412896	0,315867	-0,360496	0,725016	0,138594	0,078836	-0,497225	
4	Point	5	5,586785	0,051743	5,332633	4,416868	0,305255	-0,332633	0,725474	0,138273	0,078227	-0,458505	
5	Point	6	5,628747	0,047144	5,008728	4,420927	0,293901	0,991272	0,736586	0,138144	0,077686	1,345766	
6	Point	6	5,677152	0,042538	5,270553	4,425253	0,281767	0,729447	0,725511	0,138226	0,077235	1,005425	
7	Point	5	5,465504	0,064053	5,382338	4,343932	0,346135	-0,382338	0,725181	0,134157	0,076887	-0,527231	
8	Point	5	5,495912	0,059426	5,355943	4,349722	0,335407	-0,355943	0,725953	0,133715	0,076249	-0,490311	
9	Point	5	5,532175	0,054646	5,32708	4,355775	0,323768	-0,32708	0,726414	0,133446	0,075669	-0,450266	
10	Point	5	5,574725	0,049765	5,295844	4,362217	0,311209	-0,295844	0,726601	0,133371	0,075168	-0,407161	
11	Point	5	5,624049	0,044854	5,262423	4,369083	0,29778	-0,262423	0,726539	0,133514	0,074768	-0,361196	
12	Point	5	5,680423	0,039983	5,227036	4,376576	0,283487	-0,227036	0,726244	0,133888	0,074491	-0,312616	
13	Point	5	5,7441	0,03524	4,921621	4,384718	0,268451	0,078379	0,736965	0,134514	0,074361	0,106354	
14	Point	4	5,815542	0,030659	4,899051	4,393722	0,252665	-0,899051	0,736865	0,135416	0,074403	-1,220103	
15	Point	5	5,394776	0,07149	5,400575	4,26926	0,377105	-0,400575	0,724717	0,130087	0,074997	-0,552732	
16	Point	6	5,419091	0,06695	5,376164	4,27711	0,366351	0,623836	0,725814	0,129547	0,074338	0,859499	
17	Point	6	5,449111	0,062185	5,349071	4,284889	0,354727	0,650929	0,726574	0,129155	0,073725	0,895888	
18	Point	5	5,485242	0,057239	5,319372	4,29296	0,342137	-0,319372	0,727047	0,128935	0,073179	-0,439273	
19	Point	5	5,527831	0,052178	5,287208	4,301482	0,328575	-0,287208	0,727269	0,128906	0,07272	-0,394913	
20	Point	6	5,577446	0,047053	4,938728	4,310723	0,314002	1,061272	0,737313	0,129096	0,072375	1,439378	

Εικόνα 29: Οι πρώτες είκοσι εγγραφές της εφαρμογής της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης μεταξύ της κλίσης και της μέσης τιμής NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

FID	Shape *	Observed	Cond	LocalR2	Predicted	Intercept	C1 ASPECT	Residual	StdError	StdErr Int	StdErrC1 A	StdResid
0	Point	7	9,709534	0,003124	5,691647	5,883766	-0,064039	1,308353	0,66697	0,332012	0,133065	1,961638
1	Point	6	9,6867	0,001992	5,711353	5,863903	-0,05085	0,288647	0,66891	0,327654	0,132297	0,431518
2	Point	5	9,544561	0,005489	5,667604	5,924421	-0,085606	-0,667604	0,670712	0,310403	0,124205	-0,995366
3	Point	5	9,356258	0,011774	5,615351	5,995795	-0,126815	-0,615351	0,67175	0,295809	0,116408	-0,916041
4	Point	6	9,527193	0,003267	5,687279	5,886278	-0,066333	0,312721	0,67153	0,307567	0,124065	0,465684
5	Point	5	9,383443	0,008132	5,639801	5,957572	-0,105924	-0,639801	0,673207	0,290235	0,11594	-0,950379
6	Point	6	9,196366	0,016198	5,584543	6,03698	-0,150813	0,415457	0,674242	0,275727	0,108259	0,616184
7	Point	6	8,971508	0,028017	5,522615	6,119876	-0,199087	0,477385	0,674884	0,265019	0,101525	0,707359
8	Point	6	8,722782	0,043626	5,703956	6,199753	-0,247899	0,296044	0,673144	0,258636	0,096258	0,439793
9	Point	6	8,468723	0,062069	5,681308	6,267576	-0,293134	0,318692	0,673369	0,256344	0,092766	0,47328
10	Point	5	8,229671	0,081575	5,653513	6,315731	-0,331109	-0,653513	0,67315	0,257284	0,091024	-0,970828
11	Point	5	9,476155	0,001149	5,742566	5,822681	-0,040057	-0,742566	0,671279	0,306747	0,124231	-1,106196
12	Point	6	9,372013	0,00446	5,658429	5,897679	-0,07975	0,341571	0,673226	0,288496	0,116251	0,507364
13	Point	6	9,22634	0,010618	5,60736	5,979686	-0,124109	0,39264	0,674857	0,271607	0,108307	0,581812
14	Point	6	9,040763	0,020306	5,549433	6,066869	-0,172479	0,450567	0,675931	0,25759	0,100925	0,666587
15	Point	6	8,822103	0,033873	5,486045	6,154309	-0,222755	0,513955	0,676664	0,247659	0,09469	0,759542
16	Point	6	8,58496	0,050862	5,69121	6,233662	-0,271226	0,30879	0,675527	0,24239	0,090116	0,45711
17	Point	6	8,348589	0,070018	5,668495	6,297143	-0,314324	0,331505	0,675644	0,241449	0,087423	0,49065
18	Point	6	8,133984	0,089338	5,640496	6,338118	-0,348811	0,359504	0,675409	0,243803	0,086454	0,532276
19	Point	5	7,959721	0,106476	5,607562	6,352761	-0,3726	-0,607562	0,674715	0,248204	0,086775	-0,900472
20	Point	5	7,841621	0,119228	5,570392	6,340491	-0,38505	-0,570392	0,673422	0,253761	0,087939	-0,847005

Εικόνα 30: Οι πρώτες είκοσι εγγραφές της εφαρμογής της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης μεταξύ του προσανατολισμού και της μέσης τιμής NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

FID	Shape *	Observed	Cond	LocalR2	Predicted	Intercept	C1 MEANRAI	Residual	StdError	StdErr Int	StdErrC1 M	StdResid
0	Point	7	80,2416	0,251961	5,896521	26,613209	-0,027845	1,103479	0,703437	1,723151	0,002181	1,568698
1	Point	6	79,761138	0,255368	5,798429	26,581145	-0,027784	0,201571	0,705854	1,723278	0,002181	0,285571
2	Point	5	79,912386	0,257155	5,797708	26,843736	-0,028136	-0,797708	0,706268	1,706491	0,002159	-1,129469
3	Point	4	79,855792	0,258797	5,794939	27,039333	-0,028402	-1,794939	0,706578	1,685447	0,002132	-2,540327
4	Point	6	79,352924	0,261534	5,700873	26,837135	-0,028107	0,299127	0,70818	1,705034	0,002157	0,422388
5	Point	6	79,382846	0,263948	5,698496	27,118115	-0,028484	0,301504	0,708558	1,681661	0,002127	0,425517
6	Point	5	79,448226	0,264824	5,694009	27,308538	-0,028743	-0,694009	0,708802	1,663655	0,002104	-0,97913
7	Point	6	79,737216	0,26339	5,658532	27,41272	-0,02889	0,341468	0,709321	1,657599	0,002096	0,481401
8	Point	6	79,913665	0,261089	5,620569	27,433607	-0,02893	0,379431	0,709728	1,651091	0,002088	0,534615
9	Point	5	79,806226	0,25842	5,608891	27,358169	-0,028845	-0,608891	0,709658	1,638373	0,002071	-0,858006
10	Point	5	79,429444	0,254929	5,594095	27,167211	-0,028612	-0,594095	0,709522	1,620285	0,002048	-0,837317
11	Point	5	77,984214	0,269806	5,60587	26,825081	-0,028068	-0,60587	0,709662	1,678638	0,002123	-0,853744
12	Point	5	78,562926	0,270405	5,602831	27,155627	-0,028509	-0,602831	0,710045	1,671349	0,002114	-0,849004
13	Point	5	79,165418	0,269857	5,569658	27,416831	-0,02886	-0,569658	0,710676	1,667948	0,002109	-0,801572
14	Point	4	79,277394	0,270436	5,563288	27,61464	-0,02913	-1,563288	0,710874	1,649611	0,002086	-2,199108
15	Point	4	79,615492	0,268695	5,555413	27,725488	-0,029287	-1,555413	0,710954	1,643616	0,002078	-2,187783
16	Point	5	79,645519	0,266712	5,51592	27,738325	-0,029317	-0,51592	0,711305	1,630676	0,002061	-0,725315
17	Point	4	79,552402	0,263487	5,50339	27,642907	-0,029208	-1,50339	0,711241	1,617784	0,002045	-2,113756
18	Point	5	79,347887	0,258832	5,488301	27,433643	-0,028952	-0,488301	0,711099	1,605444	0,002028	-0,686685
19	Point	4	78,874762	0,252978	5,441547	27,089001	-0,028521	-1,441547	0,711232	1,588322	0,002006	-2,026832
20	Point	5	78,167929	0,245539	5,392574	26,600542	-0,027905	-0,392574	0,711306	1,567473	0,001979	-0,551906

Εικόνα 31: Οι πρώτες είκοσι εγγραφές της εφαρμογής της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης μεταξύ της μέσης βροχόπτωσης και της μέσης τιμής NDVI της υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Lin Yuan, Li-Quan Zhang, 2008. Mapping large-scale distribution of submerged aquatic vegetation coverage using remote sensing.
2. Adel Shalaby, Ryutaro Tateishi, 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land –use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt.
3. John Rogan, Janet Franklin, Dar A. Roberts, 2002. A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery.
4. Tarmo Virtanen, Kari Mikkola, Elena Patova, Ari Nikula, 2002. Satellite image analysis of human caused changes in the tundra vegetation around the city of Vorkuta, north-European Russia.
5. Konstanze Kleinod, Michael Wissen, Michael Bock, 2005. Detecting vegetation changes in a wetland area in Northern Germany using earth observation and geodata.
6. Jinwei Dong, 2010 (in press). Trends and variation in vegetation greenness related to geographic controls in middle and eastern Inner Mongolia, China.
7. Tsai-Ming Lee, Hui-Chung Yeh, 2008. Applying remote sensing techniques to monitor shifting wetland vegetation: A case study of Danshui River estuary mangrove communities, Taiwan.
8. Douglas A. Stow, Allen Hope, David McGuire, David Verbyla, John Gamon, Fred Huemmrich, Stan Houston, Charles Racine, Matthew Sturm, Kenneth Tape, Larry Hinzman, Kenji Yoshikawa, Craig Tweedie, Brian Noyle, Cherie Silapaswan, David Douglas, Brad Griffith, Gensuo Jia, Howard Epstein, Donald Walker, Scott Daeschner, Aaron Petersen, Liming Zhou, Ranga Myneni, 2004. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems,
9. Eva M. De Clercq, Femke Vandermoortele, Robert R. De Wulf, 2006. A method for the selection of relevant pattern indices for monitoring of spatial forest cover pattern at a regional scale.

10. Saffet Erdogan, 2010. Modelling the spatial distribution of DEM error with geographically weighted regression: An experimental study.
11. Kyratso G. Milaka, Georgios N. Photis. A multi-variable analysis of the development of spatial units: definition of a geographically weighted regression model.
12. Jeremy Mennis, 2006. Mapping the Results of Geographically Weighted Regression.
13. Noel Bonfilio Pineda Jaimes, Joaquín Bosque Sendra, Montserrat Gómez Delgado, Roberto Franco Plata, 2010. Exploring the driving forces behind deforestation in the state of Mexico using geographically weighted regression.
14. Jun Tu, Zong-Guo Xia, 2008. Examining spatially varying relationships between land use and water quality using geographically weighted regression I: Model design and evaluation.
15. G.M. Foody, 2003. Geographical weighting as a further refinement to regression modelling: An example focused on the NDVI–rainfall relationship.
16. J. Li, J. Lewis, J. Rowland, G. Tappan, L.L. Tieszen, 2004. Evaluation of land performance in Senegal using multi-temporal NDVI and rainfall series.
17. P. A. Schultz and M. S. Halpert, 1993. Global correlation of temperature, NDVI and precipitation.
18. J. Wang; P. M. Rich; K. P. Price, 2003. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA.
19. Riad Balaghi , Bernard Tychon , Herman Eerens c, Mohammed Jlibene , 2008. Empirical regression models using NDVI, rainfall and temperature data for the early prediction of wheat grain yields in Morocco.
20. P.J. Reyenga, S.M. Howden,, H. Meinke, W.B. Hall, 2001. Global change impacts on wheat production along an environmental gradient in south Australia.
21. V. Chaplot, 2007. Water and soil resources response to rising levels of atmospheric CO₂ concentration and to changes in precipitation and air temperature.

22. P.J. Reyenga, S.M. Howden, H. Meinke, W.B. Hall, 2001. Global change impacts on wheat production along an environmental gradient in south Australia.
23. Philip M. Fearnside, 1995, Potential impacts of climatic change on natural forests and forestry in Brazilian Amazonia.
24. Z. Bacsı, P. K. Thornton & J. B. Dent, 1991. Impacts of Future Climate Change on Hungarian Crop Production: An Application of Crop Growth Simulation Models.
25. Gargi Upadhyay, S. S. Ray and Sushma Panigrahy, 2008. Derivation of crop phenological parameters using multi-date SPOT-VGT-NDVI data: A case study for Punjab.
26. Xu Wenting, Wu Bingfang, Yan Changzhen, 2004. Detecting Vegetation Change During the Period 1998-2002 in NW China Using SPOT-VGT NDVI Time Series Data.
27. Fang Huang, Ping Wang, Xiangnan Liu, 2008. Evaluating Interannual Vegetation Change in Songnen Plain from SPOT/VEGETATION Imagery.
28. Casey Cleve, Maggi Kelly , Faith R. Kearns , Max Moritz , 2008. Classification of the wildland–urban interface: A comparison of pixel- and object-based classifications using high-resolution aerial photography.
29. Sunil Bhaskaran , Shanka Paramananda and Maria Ramnarayan, 2010 (in press). Per-pixel and object-oriented classifications methods for mapping urban features using Ikonos satellite data.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

30. ΕΛΚΕΘΕ, Δημητρίου κ άλλοι, 2009. Περιβαλλοντική παρακολούθηση του Ταμιευτήρα Ν. Πλαστηρα.
31. Ρετάλης Α., «Χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών για την μελέτη της βιώσιμης ανάπτυξης της νήσου Σκιαθός» Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών & Τηλεπισκόπησης.
32. Αγαθαγγέλου Μ., 2008. Σύγκριση παραδοσιακών και αντικειμενοστραφών τεχνικών τηλεπισκόπησης, κάλυψης -χρήσης γης από τηλεπισκοπικά δεδομένα Quickbird στην επαρχία Παφου.

33. Τσίρος Εμμανουήλ, 2006. Ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) και άλλοι Δείκτες στην Παρακολούθηση της Υδρολογικής Ξηρασίας.

ΣΕΛΙΔΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

34. <p://www.projectimage.eu/wards/1greek/locating.asp>
35. http://www.unibas.it/desertnet/dis4me/issues/issue_water_resources_gr.htm.
36. <http://landsat.gsfc.nasa.gov.html>
37. <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/spot-5.html>
38. <http://www.spotimage.com>
39. www.aua.gr/gpapadopoulos/files/regression9.pdf
40. <http://gis.kkal.gr/tilepiskopisi.html>