



*Μελέτη των διαχρονικών μεταβολών των βασικών καλύψεων γης της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων την τελευταία τριακονταετία με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) και Τηλεπισκόπησης.*

«Διπλωματική Εργασία»

Εκπόνηση: Λυδία Νταλαμάγκα

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Περάκης

Βόλος, Φεβρουάριος 2018



## Ευχαριστίες

Πριν ξεκινήσει η μελέτη και ανάγνωση της διπλωματικής μου εργασίας, αισθάνομαι την υποχρέωση να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους που συνέβαλαν στην εκπόνηση της και γενικότερα στην επίτευξη των ακαδημαϊκών μου στόχων μέχρι στιγμής.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Περάκη για την συνεχή καθοδήγηση, στήριξη και βοήθειά του, παίζοντας καταλυτικό ρόλο στην διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς μέσα από τις γνώσεις του με βοήθησε να καταλάβω την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης.

Επιπλέον, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή μου κ. Δημήτρη Σταθάκη για τις γνώσεις που μου έχει προσφέρει στη διάρκεια των σπουδών μου, πάνω στο αντικείμενο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, καθώς και για τη συνεχή βοήθεια του και τις συμβουλές του, οι οποίες είναι πολύ σημαντικές για την ακαδημαϊκή και μετέπειτα πορεία μου.

Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω τον Δρ. μέλος ΕΔΙΠ κ. Ιωάννη Φαρασλή, διότι με τις γνώσεις και την τεχνογνωσία του με βοήθησε σε όλα τα στάδια της εργασίας μου.

Οι ιδιαίτερες ευχαριστίες μου ανήκουν πάντοτε στην οικογένεια μου και τους φίλους μου, που με τη στήριξή τους ολοκλήρωσα ένα κύκλο σπουδών ο οποίος μου δίνει τη δυνατότητα να συνεχίσω την ακαδημαϊκή μου πορεία. Κάθε προσωπική μου επιτυχία πιστώνεται σε αυτούς.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική μελέτη στοχεύει στην ταξινόμηση των βασικών καλύψεων γης, με κύριο στόχο τη μελέτη της διαχρονικής εξέλιξή τους. Την περιοχή μελέτης αποτελεί η Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων, που είναι η μεγαλύτερη σε έκταση Περιφερειακή Ενότητα της Ηπείρου. Για την επίτευξη των στόχων της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα του δορυφόρου Landsat 5 Thematic Mapper, για τις χρονολογίες 1990, 2003 και 2011. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων, τη χωρική ανάλυση των δεδομένων, την εξαγωγή των στατιστικών αποτελεσμάτων αλλά και τη δημιουργία των θεματικών χαρτών ήταν το Quantum GIS. Από την ανάλυση των στατιστικών δεδομένων προέκυψε ότι κυρίαρχη κάλυψη γης στην Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων και για τις τρεις χρονολογίες είναι τα Δάση και οι Ημι-φυσικές περιοχές, καθώς εμφανίζουν το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης.

Λέξεις κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Landsat, Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση, Sieve, Φασματική υπογραφή, Ανίχνευση αλλαγών καλύψεων γης, Quantum GIS, Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων.

## Abstract

This diploma thesis aims at classifying basic land coverings, with the main aim of studying their evolution over time. The study area is the Regional Unity of Ioannina, which is the largest area of Regional Unity of Epirus. In order to achieve the work objectives, satellite data from Landsat 5 Thematic Mapper satellite were used, for the ages 1990, 2003 and 2011. The software, which was used to process satellite imagery, spatial data analysis, export of statistical results and the creation of Thematic maps was Quantum GIS. The analysis of the statistical data revealed that the dominant Land Cover in the Regional Unity of Ioannina for the three years are Forests and Semi-natural areas, as they appear to have the highest coverage.

Key words: Remote sensing, Geographical Information System, Landsat, Supervised Classification, Sieve, Spectral signature, Land cover change detection, Quantum GIS, Regional Unity of Ioannina.

## Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή .....	9
Κεφάλαιο 1 .....	10
Βιβλιογραφικές αναφορές – Θεωρητικό υπόβαθρο μελέτης.....	10
1.1 Επιστήμη της Τηλεπισκόπησης.....	10
1.2 Η Τηλεπισκόπηση και οι εφαρμογές της .....	11
1.3 Τηλεπισκόπηση και Χωροταξία.....	12
1.4 Δορυφορικά συστήματα.....	13
1.4.1 Εισαγωγικά .....	13
1.4.2 Η σειρά των δορυφόρων LANDSAT .....	13
1.4.3 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	16
1.4.4 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	17
1.4.5 Διακριτική ικανότητα .....	19
Κεφάλαιο 2 .....	20
Π.Ε. Ιωαννίνων : Η περιοχή μελέτης.....	20
2.1 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά .....	20
2.2 Φυσικοί πόροι – Φυσικό περιβάλλον.....	21
2.3 Πληθυσμιακή εξέλιξη .....	23
2.4 Οικονομικά χαρακτηριστικά της περιοχής.....	24
2.5 Τεχνική και Κοινωνική Υποδομή .....	27
Κεφάλαιο 3 .....	29
Προεπεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων/ Ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων .....	29
3.1 Διάγραμμα ροής εργασιών .....	29
3.2 Επιλογή δορυφορικών δεδομένων .....	30
3.3 Προ-επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων .....	32
4. Ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων .....	38

4.1 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση .....	38
4.2 Η μέθοδος ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας .....	39
4.3 Καθορισμός κλάσεων ταξινόμησης .....	40
4.4 Δημιουργία περιοχών ενδιαφέροντος.....	41
4.5 Φασματικές υπογραφές.....	43
4.6 Βελτιστοποίηση αποτελεσμάτων ταξινόμησης.....	44
4.7 Θεματικοί ταξινομημένοι χάρτες .....	48
4.8 Έλεγχος ακρίβειας της ταξινόμησης.....	52
5. Συζήτηση αποτελεσμάτων/Συμπεράσματα.....	60
Πηγές Τεκμηρίωσης.....	71

## Κατάλογος εικόνων

<i>Εικόνα 1.</i> Από την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια την τηλεπισκόπηση.....	12
<i>Εικόνα 2.</i> Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα .....	19
<i>Εικόνα 3.</i> Semi-Automatic Classification Plugin του λογισμικού.....	34
<i>Εικόνα 4.</i> Παράθυρο ατμοσφαιρικής και ραδιομετρικής διόρθωσης του SCP.....	35
<i>Εικόνα 5.</i> Αποκοπή εικόνας μέσω της εντολής Clip multiple rasters του SCP.....	36
<i>Εικόνα 6.</i> Δημιουργία Band set.....	37
<i>Εικόνα 7.</i> Ψευδοέγχρωμη εικόνα RGB 3-2-1.....	37
<i>Εικόνα 8.</i> Ψευδοέγχρωμη εικόνα RGB 4-3-2.....	37
<i>Εικόνα 9.</i> Ψευδοέγχρωμη εικόνα RGB 4-5-3.....	38
<i>Εικόνα 10.</i> Ταξινόμηση με το κριτήριο μέγιστης πιθανοφάνειας, με βάση μια μόνο φασματική ζώνη (άξονας x).....	40
<i>Εικόνα 11.</i> Η τιμή NDVI του εικονοστοιχείου που εμφανίζεται στο χάρτη.....	43
<i>Εικόνα 12.</i> Φασματικές υπογραφές τεχνητής επιφάνειας και ανοιχτού χώρου με λίγη ή καθόλου βλάστηση.....	44
<i>Εικόνα 13.</i> Επιλογή εντολής Sieve στο περιβάλλον του QGIS.....	45
<i>Εικόνα 14.</i> Παράθυρο διαλόγου της εντολής Sieve στο QGIS.....	46
<i>Εικόνα 15.</i> Η αρχική ταξινομημένη εικόνα στο επάνω μέρος και η επεξεργασμένη με την εντολή Sieve στο κάτω.....	47
<i>Εικόνα 16.</i> Διόρθωση pixel με την εντολή Edit raster του SCP.....	48
<i>Εικόνα 17.</i> Νεφοκάλυψη στην επεξεργασμένη με την εντολή Sieve εικόνα στο επάνω μέρος και η νεφοκάλυψη μετά την εντολή Edit raster στο κάτω.....	48
<i>Εικόνα 18.</i> Παρουσίαση αποτελεσμάτων ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης.....	54
<i>Εικόνα 19.</i> Απεικόνιση αστικής διάχυσης της πόλης των Ιωαννίνων.....	64

*Εικόνα 20.* Απεικόνιση των διαχρονικών αλλαγών των Γεωργικών εκτάσεων, των Χορτολιβαδικών εκτάσεων και των Δασών και Ημι-φυσικών περιοχών.....67

*Εικόνα 21.* Απεικόνιση των διαχρονικών αλλαγών των Γεωργικών εκτάσεων, των Χορτολιβαδικών εκτάσεων και των Δασών και Ημι-φυσικών περιοχών.....67

## **Κατάλογος πινάκων**

*Πίνακας 1.* Ποσοστά της γεωμορφολογικής διαμόρφωσης της Π.Ε. Ιωαννίνων.....22

*Πίνακας 2.* Χρήσεις γης σε σχέση με ολόκληρη την Ελλάδα.....22

*Πίνακας 3.* Ημερομηνίες λήψης δορυφορικών εικόνων.....31

*Πίνακας 4.* Απεικόνιση τμημάτων του αρχείου MTL της δορυφορικής εικόνας του 1990 του δορυφόρου Landsat TM.....32

*Πίνακας 5.* Ορισμός κλάσεων ταξινόμησης.....41

*Πίνακας 6.* Αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 1990.....55

*Πίνακας 7.* Αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2003.....57

*Πίνακας 8.* Αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2011.....59

*Πίνακας 9.* Αποτελέσματα κατανομής καλύψεων γης με τη μέθοδο maximum likelihood για το έτος 1990.....67

*Πίνακας 10.* Αποτελέσματα κατανομής καλύψεων γης με τη μέθοδο maximum likelihood για το έτος 2003.....68

*Πίνακας 11.* Αποτελέσματα κατανομής καλύψεων γης με τη μέθοδο maximum likelihood για το έτος 2011.....69

*Πίνακας 12.* Ποσοστιαίες μεταβολές καλύψεων γης.....70



## Κατάλογος διαγραμμάτων

<i>Διάγραμμα 1.</i> Πληθυσμιακή εξέλιξη της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων 1981-2011.....	25
<i>Διάγραμμα 2.</i> Μέσοι ρυθμοί μεταβολής πληθυσμού ανά δεκαετία για την Π.Ε. Ιωαννίνων και την Ήπειρο.....	25
<i>Διάγραμμα 3.</i> Κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν της Π.Ε. Ιωαννίνων και της Περιφέρειας Ηπείρου (σε €).....	26
<i>Διάγραμμα 4.</i> Ποσοστιαία τομεακή απασχόληση της Π.Ε. Ιωαννίνων και της Περιφέρειας Ηπείρου για τα έτη 2001 και 2011.....	27
<i>Διάγραμμα 5.</i> Ροή εργασιών.....	30
<i>Διάγραμμα 6.</i> Ποσοστιαία κατανομή καλύψεων γης Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων για το έτος 1990.....	67
<i>Διάγραμμα 7.</i> Ποσοστιαία κατανομή καλύψεων γης Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων για το έτος 2003.....	68
<i>Διάγραμμα 8.</i> Ποσοστιαία κατανομή καλύψεων γης Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων για το έτος 2011.....	69
<i>Διάγραμμα 9.</i> Ποσοστιαίες μεταβολές καλύψεων γης 1990-2003, 2003-2011, 1990-2011...	70

## Θεματικοί χάρτες

Θεματικός χάρτης 1990.....	50
Θεματικός χάρτης 2003.....	51
Θεματικός χάρτης 2011.....	52
Θεματικός χάρτης Corine Land Cover 1990.....	60
Θεματικός χάρτης Corine Land Cover 2000.....	61
Θεματικός χάρτης Corine Land Cover 2012.....	62

## Εισαγωγή

### Σκοπός και στόχοι της παρούσας εργασίας

Κίνητρο για τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι το ενδιαφέρον και η επιθυμία μου για περαιτέρω ενασχόληση στο μέλλον των ακαδημαϊκών μου σπουδών με τις Γεωεπιστήμες και συγκεκριμένα με την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Ο σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιάσει τις διαχρονικές αλλαγές, των βασικών καλύψεων γης, στην Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων με τη χρήση των δορυφορικών εικόνων Landsat και την καθοριστική συμβολή της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Επίσης, τα εξαγόμενα στατιστικά στοιχεία που προκύπτουν από τη διαδικασία αυτή δύναται να υποστηρίξουν αποφάσεις που σχετίζονται με τον άνθρωπο, το περιβάλλον, την οικονομία αλλά και την ανάγκη για δημιουργία ενός νέου στρατηγικού σχεδιασμού ανάπτυξης της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων και κατ' επέκταση της Περιφέρειας Ηπείρου.

### Δομή της μελέτης

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την μελέτη διαχρονικών μεταβολών βασικών καλύψεων γης στην Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων την τελευταία τριακονταετία, με τη χρήση Γεωγραφικών συστημάτων Πληροφοριών και Τηλεπισκόπησης. Το θέμα αυτό οργανώνεται σε 5 θεματικές ενότητες/κεφάλαια:

**Το πρώτο κεφάλαιο** αναφέρεται στο θεωρητικό υπόβαθρο της μελέτης, όπου γίνεται αναφορά στην συμβολή της Τηλεπισκόπησης στην Χωροταξία. Επιπλέον, ορίζονται και αναλύονται επιστημονικοί όροι που αφορούν την Τηλεπισκόπηση, παρουσιάζοντας την εξέλιξη των δορυφορικών συστημάτων απεικόνισης Landsat, καθώς είναι αυτά που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

**Το δεύτερο κεφάλαιο** αναφέρεται στο επίπεδο χωρικής μελέτης, που είναι η Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων, με την ανάλυση βασικών χαρακτηριστικών της (δημογραφικά, οικονομικά, κοινωνικά, κ.α.).

**Στο τρίτο κεφάλαιο** αναλύεται η διαδικασία επιλογής των δορυφορικών δεδομένων, καθώς και η μέθοδος προ-επεξεργασίας τους, πριν την διαδικασία της ταξινόμησης.

**Στο τέταρτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η μέθοδος ταξινόμησης που επιλέχθηκε, τα επιμέρους στάδια στα οποία διακρίνεται, αλλά και η μέθοδος που επιλέχθηκε για τη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων των ταξινομημένων εικόνων. Τέλος, παραθέτονται οι τελικοί θεματικοί χάρτες καλύψεων γης και ο έλεγχος της ακρίβειας των ταξινομήσεων και των καλύψεων γης, με τη βοήθεια πινάκων σφαλμάτων.

**Το πέμπτο** και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται και αναλύονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία.

## Κεφάλαιο 1

### Βιβλιογραφικές αναφορές – Θεωρητικό υπόβαθρο μελέτης

#### 1.1 Επιστήμη της Τηλεπισκόπησης

Η Τηλεπισκόπηση, είναι η επιστήμη και η τεχνική της αποκόμισης πληροφορίας για ένα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο, μέσα από την ανάλυση της πληροφορίας από ένα μέσο, που δεν βρίσκεται σε επαφή με το αντικείμενο, την περιοχή ή το φαινόμενο που εξετάζεται. (Lillesand, 2007)

Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνει την ανάλυση και την ερμηνεία των μετρήσεων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντανακλάται, απορροφάται, μεταδίδεται ή εκπέμπεται από έναν αντικείμενο και παρατηρείται ή καταγράφεται από ένα σημείο, από έναν παρατηρητή ή ένα όργανο που δεν έρχεται σε επαφή με τον στόχο. Οι εναέριες (αεροπλάνα) και διαστημικές (δορυφόροι) πλατφόρμες βοηθούν στην συλλογή, χαρτογράφηση και παρακολούθηση των πόρων της γης. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούν, συλλέγουν δεδομένα από αντικείμενα που βρίσκονται στη γήινη επιφάνεια, τα οποία εκπέμπουν ή αντανακλούν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια σε διάφορες περιοχές του φάσματος, ώστε να αναλυθούν και ανάλογα με τη φύση τους να μας δώσουν πληροφορίες σχετικά με τους πόρους που περιλαμβάνονται στο πεδίο μελέτης μας.

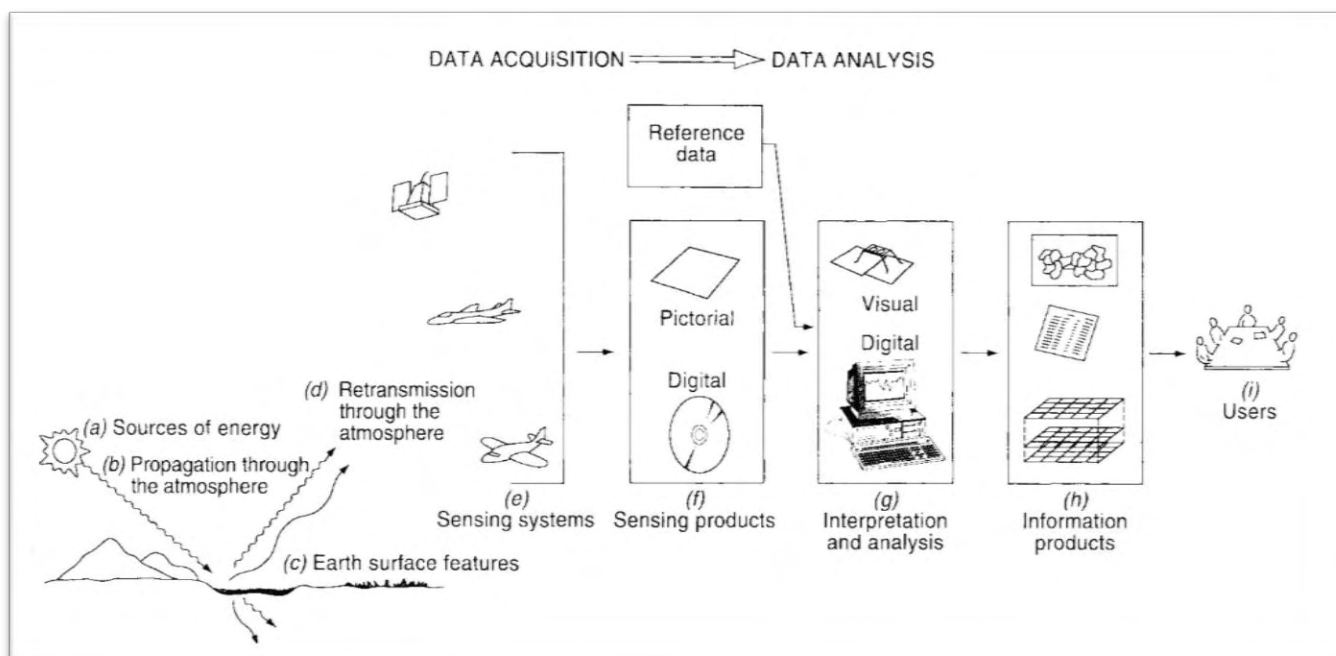
Επιπλέον, η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση διαχρονικών μεταβολών περιοχών αλλά και φαινομένων της επιφάνειας της γης, όπως η παρακολούθηση της βλάστησης και της ποιότητας του περιβάλλοντος, η μέτρηση της θερμοκρασίας των διάφορων αντικειμένων και η ανίχνευση των επιπτώσεων που προκαλούνται από τα φυσικά φαινόμενα.

Η τηλεπισκόπηση αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- α) τα αντικείμενα ή τα φαινόμενα της υπό μελέτης περιοχής
- β) την απόκτηση δεδομένων μέσω εναέριων (αεροπλάνα) ή διαστημικών (δορυφόροι) πλατφορμών
- γ) την ανάλυση των δεδομένων με τη χρήση κατάλληλων λογισμικών.

Οι κύριες διαδικασίες είναι η απόκτηση δεδομένων και η ανάλυση τους. Η διαδικασία για την απόκτηση δεδομένων αναφέρεται στα βήματα (a) έως (f) της εικόνας 2.1, ενώ τα βήματα (g) έως (i) αφορούν την επεξεργασία των δεδομένων.

**Εικόνα 1.** Από την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια την τηλεπισκόπηση.



Πηγή: Lillesand, Keifer & Chipman, 2007

## 1.2 Η Τηλεπισκόπηση και οι εφαρμογές της

Η τηλεπισκόπηση έχει υιοθετηθεί από διάφορες επιστήμες, ως εργαλείο συλλογής πρωτογενών δεδομένων. Οι δορυφορικές εικόνες αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο απεικόνισης της γήινης επιφάνειας που συντελούν στη μελέτη και ανάλυση της. Ενδεικτικά κάποιιοι επιστημονικοί τομείς που εφαρμόζετε η επιστήμη της τηλεπισκόπησης είναι οι εξής:

**Στη Γεωλογία,** για τη γεωλογική χαρτογράφηση, τη χαρτογράφηση ειδών πετρωμάτων, τον εντοπισμό πετρελαίου, πετρελαιοκηλίδων, ορυκτών και αέριων, υπόγειων υδάτων.

**Στη Γεωπονία,** για την απόδοση καλλιεργειών, ανάλυση εδαφικών καταστάσεων, κτηνοτροφικών περιοχών.

**Στη Δασολογία,** για την παρακολούθηση και προστασία δασών, την χαρτογράφηση δασικών περιοχών, τον εντοπισμό μεταβολών, ανάλυση υγείας του δάσους.

**Στην Υδρολογία,** για την ανίχνευση της μόλυνσης των υδάτων, την εκτίμηση ευτροφισμού της λίμνης, την εκτίμηση πλημμυρών.

**Στην Ωκεανογραφία,** για την μέτρηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας, τη μέτρηση της χλωροφύλλης, την χαρτογράφηση θαλάσσιων ρευμάτων, τη μέτρηση συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών, τη μελέτη μεταβολών ακτογραμμών, τη παρακολούθηση και κάλυψη των πάγων.

**Στις φυσικές καταστροφές,** καταγράφοντας την αποτίμηση του περιβάλλοντος περιοχών που έχουν επηρεαστεί από φυσικά φαινόμενα όπως καταγίδες, ανεμοστρόβιλους και κυκλώνες, σεισμούς, πλημμύρες, τσουνάμι, πυρκαγιές, κατολισθήσεις, αλλά ακόμα και προβλέποντας αυτά τα φαινόμενα.

**Στη Μετεωρολογία,** για την πρόβλεψη του καιρού.

**Στη Χωροταξία, Πολεοδομία και Τοπογραφία,** για την κατασκευή χαρτών, καταγραφή χρήσεων γης, το κτηματολόγιο, τον έλεγχο διαχρονικών μεταβολών του αστικού περιβάλλοντος, την απογραφή του κυκλοφοριακού δικτύου, τις εκτιμήσεις πληθυσμού και ποιότητας του δομημένου χώρου, τις μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τον σχεδιασμό πόλεων, τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων επιφάνειας.

### 1.3 Τηλεπισκόπηση και Χωροταξία

Τα τελευταία χρόνια, η τάση για τη χρήση μεθόδων και τεχνικών της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών έχει αυξηθεί σημαντικά, ειδικότερα με τη βοήθεια των δορυφορικών εικόνων. Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης στην Χωροταξία είναι πολύ σημαντική, καθώς παρέχει χρήσιμες τεχνικές, οι οποίες επιτρέπουν την ορθολογική διαχείριση του χώρου, σε πραγματικές συντεταγμένες. Τα δορυφορικά δεδομένα, ανάλογα με τη διακριτική τους ικανότητα χρησιμοποιούνται σήμερα σε πλήθος εφαρμογών σχετικές με την Χωροταξία, την Πολεοδομία και την Περιφερειακή Ανάπτυξη. Πιο συγκεκριμένα, δορυφορικά δεδομένα με μεγάλη διακριτική ικανότητα, αποτελούν χρήσιμο εργαλείο στην επιστήμη της Πολεοδομίας, καθώς βοηθούν στον εντοπισμό της ποιότητας του δομημένου χώρου και την εκτίμηση του πληθυσμού της περιοχής μελέτης. Επιπλέον, όσο αναφορά τη Χωροταξία βοηθούν στην απογραφή των χρήσεων γης, τον έλεγχο των διαχρονικών αλλαγών των καλύψεων γης, αλλά και στον εντοπισμό τυχόν αυθαίρετων κτισμάτων. Βέβαια, η Τηλεπισκόπηση αποτελεί σημαντικό εργαλείο και για την Περιφερειακή Ανάπτυξη καθώς με την μελέτη όλων των παραπάνω, μπορεί να επιτευχθεί μια χωρική μελέτη των πολιτικών

που αναφέρονται στις καλύψεις γης (για παράδειγμα η Κοινή Αγροτική Πολιτική) και να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα για το αν η εφαρμογή της πολιτικής αυτής πέτυχε ή όχι (για παράδειγμα με τον έλεγχο των διαχρονικών μεταβολών των καλύψεων γης).

Τα εργαλεία και οι τεχνικές της Τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορα Κοινοτικά Προγράμματα, όπως το Κοινοτικό Πρόγραμμα Corine Land Cover.

## 1.4 Δορυφορικά συστήματα

### 1.4.1 Εισαγωγικά

Η τηλεπισκόπηση σήμερα έχει συνδεθεί άμεσα με την εξέλιξη και την ανάπτυξη των δορυφορικών συστημάτων. Το 1891, ο Γερμανός Ludwig Rahrmann στην προσπάθειά του να φωτογραφήσει τη γη, εκτόξευσε έναν πύραυλο, που διέθετε ένα σύστημα κάμερας, τον οποίο επανέφερε στη γη με αλεξίπτωτο. Η πραγματική ανάπτυξη της τηλεπισκόπησης όμως, ξεκίνησε την περίοδο 1946-1950 όπου μεταφέρθηκαν μικρές κάμερες, σε πυραύλους V2. Κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών, πτήσεις που αφορούσαν την παραγωγή φωτογραφιών για την τηλεπισκόπηση, επιτεύχθηκαν με ρουκέτες, βαλλιστικούς πυραύλους, δορυφόρους και επανδρωμένα αεροσκάφη. Οι αρχικές προσπάθειες απεικόνισης της επιφάνειας της γης από το διάστημα, οδήγησαν στην ανάπτυξη των μετεωρολογικών δορυφόρων. Ο πρώτος μετεωρολογικός δορυφόρος το 1960 TIROS-I, παρείχε πληροφορίες για τα καιρικά φαινόμενα και την κίνηση των νεφών. Το μέλλον όμως των δορυφορικών συστημάτων, ξεκίνησε με τα διαστημικά προγράμματα Mercury, Gemini, και Apollo της δεκαετίας του '60, όπου επανδρωμένες πτήσεις έλαβαν σημαντικό αριθμό φωτογραφιών της γήινης επιφάνειας. Το 1972, πραγματοποιήθηκε η εκτόξευση του πρώτου αμερικανικού δορυφόρου εξερεύνησης φυσικών πόρων Landsat 1, ο οποίος συντέλεσε στην εξέλιξη της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, με εφαρμογές σε αρκετούς επιστημονικούς κλάδους.

### 1.4.2 Η σειρά των δορυφόρων LANDSAT

Το πρώτο πρόγραμμα που έθεσε σε λειτουργία η NASA το 1967, ήταν το ERTS (Earth Resource Technology Satellite). Το πρόγραμμα αυτό είχε ως σκοπό την εκτόξευση 5 δορυφόρων, οι οποίοι θα έφεραν διάφορα συστήματα τηλεπισκόπησης, τα οποία είχαν αρχικά σχεδιαστεί για να αποκτούν πληροφορίες για τις πλουτοπαραγωγικές πηγές της Γης. Ο πρώτος δορυφόρος με το όνομα ERTS-1 εκτοξεύτηκε στις 23 Ιουλίου του 1972. Έπειτα, ακολούθησε ο δορυφόρος ERTS-2 στις 22 Ιανουαρίου του 1975, ο οποίος πριν

την εκτόξευσή του μετονομάστηκε σε Landsat, ξεχωρίζοντάς τον έτσι από τον ωκεανογραφικό δορυφόρο Seasat. Ο ERTS-1 μετονομάστηκε αναδρομικά σε Landsat-1 και ο ERTS-2 σε Landsat-2. Ο Landsat -3 εκτοξεύτηκε στις 5 Μαρτίου του 1978, ενώ ο Landsat-4 στις 16 Ιουλίου 1984. Οι Landsat 2 και 3 λειτούργησαν επιτυχώς μέχρι τις 27/7/1983 και 7/9/1983, αντίστοιχα. Η λειτουργική απεικόνιση Landsat-5 Thematic Mapper (TM) ολοκληρώθηκε τον Νοέμβριο του 2011. Το 2012, ενεργοποιήθηκε ξανά και συγκέντρωσε δεδομένα μέχρι τον Ιανουάριο του 2013. Ο δορυφόρος παροπλίστηκε στις 5 Ιουνίου 2013. Επόμενος δορυφόρος της γενιάς Landsat ήταν ο Landsat-6, ο οποίος έπεσε λίγο μετά την εκτόξευσή του στη θάλασσα εξαιτίας κάποιας βλάβης. Στις 15 Απριλίου 1999, εκτοξεύθηκε με επιτυχία ο δορυφόρος Landsat-7, ο οποίος λειτουργεί κανονικά μέχρι και σήμερα. Στις 11 Φεβρουαρίου 2013, ξεκίνησε ο Landsat-8 που είναι το μέλλον των δορυφόρων Landsat. Τέλος, τη σειρά των δορυφόρων Landsat θα τη συνεχίσει ο Landsat-9, ο οποίος έχει επιταχυνθεί για ένα δρομολόγιο το Δεκέμβριο του 2020.

Το πρόγραμμα Landsat παρέχει επαναλαμβανόμενη απόκτηση πολυφασματικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης της επιφάνειας της Γης σε παγκόσμια βάση. Τα δεδομένα από το διαστημικό σκάφος Landsat, αποτελούν το μεγαλύτερο ιστορικό των ηπειρωτικών επιφανειών της Γης, όπως αυτή φαίνεται από το διάστημα.

Οι πρώτοι δορυφόροι Landsat 1, 2 και 3 ήταν σχεδιασμένοι να φέρουν δύο συστήματα δεκτών για την καταγραφή εικόνων Τηλεπισκόπησης. Ένα σύστημα τριών καναλιών Return Beam Vidicon (RBV) και ένα τεσσάρων το Multi-Spectral Scanner (MSS). Το RBV σύστημα, στους δορυφόρους Landsat 1 και 2 εξοπλίστηκε με τρεις κάμερες οι οποίες λάμβαναν δεδομένα σε διαφορετικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η χωρική διακριτική ικανότητα και των τριών καναλιών ήταν 79m και κάθε εικόνα κάλυπτε μια περιοχή 185km x 185km. Στον δορυφόρο Landsat 3 εφαρμόστηκε μια διαφορετική τεχνική, καθώς στην προηγούμενη εμφανίστηκαν προβλήματα. Το σύστημα RBV μετέφερε δύο παγχρωματικές κάμερες και είχε ένα μόνο κανάλι με βελτιωμένη χωρική διακριτική ικανότητα επί του εδάφους 30m.

Το όργανο MSS ενσωματώθηκε και στους πέντε πρώτους δορυφόρους του προγράμματος Landsat. Πρόκειται για έναν γραμμικό σαρωτή, ο οποίος σαρώνει την επιφάνεια κάτω από τον δορυφόρο και δημιουργεί μία εικόνα της γήινης επιφάνειας καθώς κινείται. Η χωρική διακριτική ικανότητά του ήταν 80m. Ο σαρωτής συλλέγει δεδομένα σε τέσσερα διαφορετικά φασματικά κανάλια, που ονομάστηκαν 4, 5, 6 και 7

και το πλάτος σάρωσης της γήινης επιφάνειας ήταν 185m. Τα δύο κανάλια ήταν στην περιοχή του ορατού φάσματος και τα άλλα δύο στο εγγύς υπέρυθρο της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας. Στον Landsat 3 έγινε προσπάθεια να προστεθεί ένα πέμπτο κανάλι στην περιοχή του θερμικού υπέρυθρου αλλά δεν έδωσε καλές εικόνες λόγω βλαβών που συνέβησαν μετά την εκτόξευση. Η χρήση του RBV περιορίστηκε εξαιτίας τεχνικών προβλημάτων που παρουσιάστηκαν, και ο κύριος δέκτης για τους δορυφόρους Landsat έγινε η συσκευή Multi-Spectral Scanner.

Οι δορυφόροι Landsat 4 και 5 περιλάμβαναν βελτιώσεις στην τεχνολογία των δεκτών και στις παραμέτρους της τροχιάς σε σχέση με αυτούς της προηγούμενης γενιάς. Οι αισθητήρες που φέρουν οι Landsat 4 και 5 είναι ο Multi-Spectral Scanner (MSS) και ο Thematic Mapper (TM). Ο MSS είναι όμοιος με αυτόν που υπήρχε στους προηγούμενους δορυφόρους Landsat 1, 2 και 3 μόνο που τα τέσσερα κανάλια 4, 5, 6, 7 μετονομάστηκαν σε 1, 2, 3, 4. Το πλάτος σάρωσης παρέμεινε στα 185m. Ο TM, είναι ένα όργανο μηχανικής σάρωσης όπως και ο MSS, αλλά έχει τη δυνατότητα να παρέχει καλύτερη χωρική ανάλυση, μεγαλύτερη ραδιομετρική λεπτομέρεια, και πιο λεπτομερή φασματική πληροφορία. Ο Thematic Mapper έχει επτά φασματικά κανάλια με χωρική ανάλυση 30m, εκτός του καναλιού 6 που είναι 120m. Τα κανάλια 1, 2, 3 καταγράφουν το ορατό τμήμα του φάσματος, το κανάλι 4 είναι καταγράφει το εγγύς υπέρυθρο, τα κανάλια 5 και 7 καταγράφουν το μέσο υπέρυθρο, ενώ το κανάλι 6 καταγράφει την περιοχή του θερμικού υπέρυθρου της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η μεγάλη χωρική ανάλυση του TM καθιστά τις εικόνες του χρήσιμες για ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών σε σχέση με αυτές του MSS.

Ο δορυφόρος Landsat-7 μεταφέρει έναν βελτιωμένο Θεματικό Χαρτογράφο, Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Ο ETM+ διαθέτει τα ίδια επτά κανάλια με τον Thematic Mapper των δορυφόρων Landsat 4 και 5, τα οποία όμως έχουν καλύτερη χωρική ανάλυση, και ένα επιπλέον παγχρωματικό κανάλι. Η χωρική ανάλυση του Enhanced Thematic Mapper Plus στα 8 φασματικά κανάλια του είναι 15m στην παγχρωματική, 30m στην πολυφασματική και 60m στη θερμική.

Ο νέος δορυφόρος Landsat-8, περιέχει δύο όργανα καταγραφής το Operational Land Imager (OLI) και το Thermal Infrared Sensor (TIRS). Οι φασματικές ζώνες OLI και TIRS παραμένουν σε γενικές γραμμές συγκρίσιμες με τις ζώνες Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +). Ο αισθητήρας Operational Land Imager συλλέγει δεδομένα στο ορατό κοντινό υπέρυθρο, μικροκυματικό υπέρυθρο και στο



παγχρωματικό υπέρυθρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Σε σύγκριση με το ETM+, το όργανο OLI έχει δύο πρόσθετες ζώνες ανακλαστικού μήκους κύματος, μια νέα ζώνη κυανού μήκους κύματος που προορίζεται για βελτιωμένη ευαισθησία σε χλωροφύλλη και άλλα αιωρούμενα υλικά σε παράκτια ύδατα και για ανάκτηση ατμοσφαιρικών ιδιοτήτων αερολύματος, καθώς και μία υπέρυθρη ζώνη για ανίχνευση νεφών. Οι άλλες ζώνες του συστήματος OLI είναι φασματικά μικρότερου εύρους, στις περισσότερες περιπτώσεις από τις αντίστοιχες ζώνες ETM+. Το TIRS, συλλέγει την ακτινοβολία που εκπέμπεται σε δύο θερμικά φασματικά κανάλια υπέρυθρης ακτινοβολίας των 100 m, σε αντίθεση με τους προηγούμενους δορυφόρους του προγράμματος Landsat στους οποίους υπήρχε μόνο ένα φασματικό κανάλι στο συγκεκριμένο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Όλες οι εικόνες του δορυφόρου Landsat αναφέρονται στο Worldwide Reference System (WRS) σε διαδρομές (paths) κάθετους και γραμμές (rows) παράλληλες στην τροχιά του δορυφόρου, οι οποίες είναι διαφορετικές για τις δύο γενιές των δορυφόρων Landsat. Οι δορυφόροι Landsat 7 και 8 διατήρησαν το σύστημα paths και rows της γενιάς των δορυφόρων Landsat 4 και 5. Οι τομές γραμμών και διαδρομών ορίζουν 31 δορυφορικές εικόνες που καλύπτουν πλήρως την περιοχή πάνω από τον Ελλαδικό χώρο. (Σκιάνης, 2012)

Ο χρόνος διέλευσης των δορυφόρων της σειράς Landsat μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο του Landsat. Οι περισσότεροι δορυφόροι είναι προγραμματισμένοι να διασχίζουν τον Ισημερινό στις 9:30π.μ. (τοπική ώρα). Αυτή η ώρα θεωρείται βέλτιστη από πλευράς ομοιομορφίας του ηλιακού φωτισμού και της νεφοκάλυψης, επιτυγχάνοντας τη λήψη υψηλής ποιότητας εικόνων.

### 1.4.3 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι η βασική ποσότητα ενέργειας που έχει την ικανότητα να παράγει έργο και μετρείται σε joules. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εκφράζεται, όπως είναι γνωστό σαν μηχανική, χημική, ηλεκτρική και θερμική. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο (E) που ποικίλλει σε μέγεθος και είναι κάθετο προς την κατεύθυνση διάδοσης. Επιπλέον, ένα μαγνητικό πεδίο (H) προσανατολισμένο σε ορθή γωνία στο ηλεκτρικό πεδίο διαδίδεται σε φάση με το ηλεκτρικό πεδίο.

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια χαρακτηρίζεται από τις εξής ιδιότητες:

1. Το μήκος κύματος που είναι η απόσταση μεταξύ δύο κορυφών ενός κύματος.
2. Η συχνότητα, δηλαδή ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από ένα σημείο σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, με μονάδα μέτρησης το Hertz (Hz).
3. Το πλάτος που ισοδυναμεί με το ύψος κάθε κορυφής του αρμονικού κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και το οποίο συνήθως μετριέται σε επίπεδα ενέργειας.

Καθώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια της γης ένα μέρος της θα ανακλαστεί, άλλο θα διαχυθεί και άλλο θα απορροφηθεί ώστε να μεταδοθεί στη συνέχεια σε άλλο μέσο (π.χ. νερό).

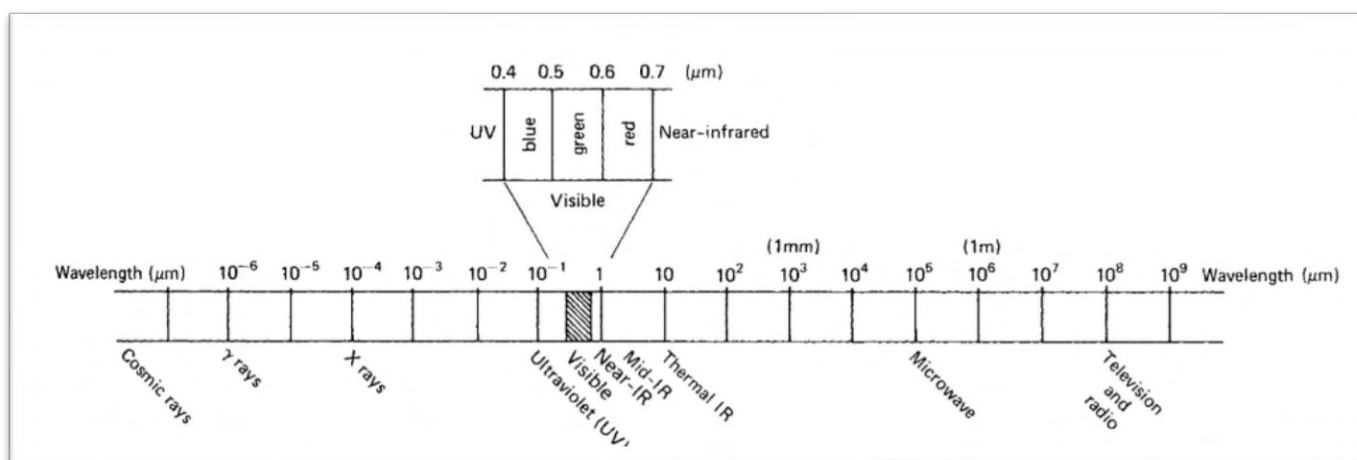
#### 1.4.4 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα, από το οποίο μεταδίδεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, δημιουργείται από τη σύνθεση του ηλεκτρικού και μαγνητικού κύματος, τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους. Οι περισσότερες εφαρμογές της τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούν διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για τη λήψη της πληροφορίας. Το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που παράγεται από τον ήλιο είναι το πιο σημαντικό. Πυρηνικές αντιδράσεις στον ήλιο παράγουν ένα πλήρες φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, το οποίο μεταδίδεται μέσω του διαστήματος χωρίς μεγάλες αλλαγές. Καθώς αυτή η ακτινοβολία προσεγγίζει τη Γη, διέρχεται από την ατμόσφαιρα και καταλήγει στην γήινη επιφάνεια. Οι ανιχνευτές τηλεπισκόπησης είναι αυτοί που θα δώσουν την πληροφορία και ταξινομούνται ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους σε δύο βασικές κατηγορίες στους παθητικούς και τους ενεργητικούς. Οι παθητικοί ανιχνευτές βασίζονται στη λήψη της ακτινοβολίας, η οποία μπορεί να ξεκινήσει από οποιαδήποτε πηγή ανεξάρτητη από τον έλεγχο του ανθρώπου, όπως οι κάμερες. Αντίθετα, στην περίπτωση των ενεργητικών ανιχνευτών λαμβάνεται η ανάκλαση σημάτων που εκπέμπονται από ελεγχόμενες πηγές, σε διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, όπως για παράδειγμα το ραντάρ που εκπέμπει ενέργεια στην περιοχή των κυμάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η ανάκλαση της ενέργειας από την επιφάνεια της γης μετριέται ώστε να δώσει την εικόνα της περιοχής. Στην τηλεπισκόπηση οι περισσότεροι δορυφόροι λειτουργούν με παθητικούς ανιχνευτές, που καταγράφουν την ανακλώμενη από την επιφάνεια της γης ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια. Αυτή η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία των

ειδικών απεικονίσεων τηλεπισκόπησης, που διαφέρουν όμως από τις αεροφωτογραφίες, οι οποίες σχηματίζονται από ανακλώμενη ενέργεια. (Σκιάνης, 2012)

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι αρκετά πλατύ και τα μήκη κύματος δεν αντιδρούν το ίδιο σε κάθε εφαρμογή της τηλεπισκόπησης. Το φάσμα διαχωρίζεται σε φασματικά κανάλια, τα οποία αποτελούνται από μικρές ομάδες φασματικών γραμμών. Τα φασματικά κανάλια όπως φαίνεται και στην εικόνα 2 είναι το υπεριώδες, το ορατό, το υπέρυθρο και το μικροκυματικό.

**Εικόνα 2.** Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



Πηγή: Lillesand, Keifer & Chipman, 2007

Στην τηλεπισκόπηση κυρίως αξιοποιούνται οι φασματικές ζώνες του ορατού, του υπέρυθρου και των μικροκυμάτων. (Σκιάνης, 2012) Το ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι αρκετά μικρό και εκτείνεται περίπου από 0,4μm μέχρι 0,7μm. Τα χρώματα που συντελούν το τμήμα του ορατού φάσματος είναι το μπλε (0,4μm - 0,5μm), το πράσινο (0,5μm - 0,6μm) και το κόκκινο (0,6μm - 0,7μm). Στη συνέχεια το υπέρυθρο χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες, την περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (Near Infrared, NIR 0,7μm - 1,3μm), του μέσου υπέρυθρου (1,3μm - 3μm) και το θερμικό υπέρυθρο (3μm - 14μm). Το κανάλι των μικροκυμάτων βρίσκεται μετά το θερμικό κανάλι με μήκος κύματος 1mm μέχρι 1m, στα μεγάλα μήκη κύματος έχει την δυνατότητα να διαπερνά τα σύννεφα, την ομίχλη και τη βροχή. Επίσης, τα μικροκύματα λειτουργούν ως παθητικοί ανιχνευτές καταγράφοντας την παρεχόμενη ακτινοβολία από τη γη αλλά και ως ενεργητικοί καταγράφοντας την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα συστήματα τηλεπισκόπησης ανακλάται στη γη και επιστρέφει στο

σύστημα. Τα ραντάρ που ανήκουν στους ενεργητικούς ανιχνευτές λειτουργούν σε μήκη κύματος μέσα στη ζώνη των μικροκυμάτων. (Lillesand 2007, Σκιάνης 2012)

Μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα αποτελείται από πολλές μονοφασματικές εικόνες της ίδιας περιοχής της γήινη επιφάνεια καταγεγραμμένες την ίδια χρονική στιγμή αλλά σε διαφορετικό μήκος κύματος. Τα διάφορα αντικείμενα στην επιφάνεια της γης αντιδρούν διαφορετικά στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και το καθένα φέρει τη δικιά του φασματική υπογραφή στο πεδίο του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η χλωροφύλλη για παράδειγμα, απορροφάει σημαντικό ποσοστό μήκους κύματος στο κόκκινο χρώμα.

#### 1.4.5 Διακριτική ικανότητα

Η ποιότητα και το περιεχόμενο των δορυφορικών εικόνων, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των φασματικών καναλιών που διαθέτουν οι αντίστοιχοι δορυφόροι. Η διακριτική ικανότητα του αισθητήρα κάποιου δορυφόρου αναφέρεται στη μέγιστη ανάλυση μιας μέτρησης. Τα σημαντικότερα που χαρακτηρίζουν την δορυφορική εικόνα είναι:

- Η χωρική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στην ελάχιστη επιφάνεια, η οποία αντιπροσωπεύεται από ένα εικονοστοιχείο της εικόνας που μπορεί να διακρίνει ο αισθητήρας του αντίστοιχου δορυφόρου στη γη. Σε μία ψηφιακή δορυφορική εικόνα το κάθε εικονοστοιχείο αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη στοιχειώδη γήινη επιφάνεια που σαρώθηκε από τον αισθητήρα.
- Η φασματική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στον αριθμό των φασματικών καναλιών που συντελούν μία συγκεκριμένη δορυφορική εικόνα.
- Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στον αριθμό των διαβαθμίσεων για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας που καταγράφει ο αισθητήρας του αντίστοιχου δορυφόρου.
- Η χρονική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στο χρόνο που διανύει ένας δορυφόρος μέχρι να αποτυπώσει μία νέα εικόνα για την ίδια γήινη επιφάνεια. Ο χρόνος επανάληψης που χρειάζεται ένα δορυφορικό σύστημα μέχρι τη νέα καταγραφή της ίδιας περιοχής είναι της τάξης κάποιων ημερών.

## Κεφάλαιο 2

### Π.Ε. Ιωαννίνων : Η περιοχή μελέτης

#### 2.1 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά

Η Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων είναι μία από τις τέσσερις Περιφερειακές Ενότητες που ανήκουν στην Περιφέρεια Ηπείρου. Η Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων καταλαμβάνει τις βορειοανατολικές και κεντρικές περιοχές της Ηπείρου. Η οροσειρά της Πίνδου αποτελεί τα φυσικά όρια της Περιφερειακής Ενότητας στα ανατολικά, όπου συνορεύει με τις Π.Ε. Κοζάνης και Τρικάλων. Προς βορά συνορεύει με την Αλβανία, δυτικά με την Π.Ε. Θεσπρωτίας και νότια με τις Π.Ε. Άρτας και Πρεβέζης. Πρωτεύουσα της Περιφερειακής Ενότητας είναι τα Ιωάννινα.

Οι δήμοι που απαρτίζουν την Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων είναι:

- Δήμος Ιωαννιτών, με έδρα τα Ιωάννινα αποτελούμενος από τις Δημοτικές Ενότητες Ιωαννιτών, Ανατολής, Περάματος, Παμβώτιδας, Μπιζανίου και την Νήσο Ιωαννίνων.
- Δήμος Ζαγορίου, με έδρα τους Ασπραγγέλους, ο οποίος χαρακτηρίζεται ορεινός, αποτελούμενος από τις Δημοτικές Ενότητες Ανατολικού Ζαγορίου, Κεντρικού Ζαγορίου, Τύμφης, Βοβούσης και Πάπιγκου.
- Δήμος Κόνιτσας, με έδρα την Κόνιτσα, ο οποίος χαρακτηρίζεται ορεινός αποτελούμενος από τις Δημοτικές Ενότητες Κόνιτσας, Μαστοροχωρίων, Διστράτου, Αετομηλίτσης και Φούρκας.
- Δήμος Πωγωνίου, με έδρα το Καλπάκι ο οποίος χαρακτηρίζεται ορεινός, αποτελούμενος από τις Δημοτικές Ενότητες Καλπακίου, Δελβινακίου, Άνω Πωγωνίου, Άνω Καλαμά, Πωγωνιανής και Λάβδανης.
- Δήμος Βορείων Τζουμέρκων, με έδρα τα Πράμαντα, ο οποίος χαρακτηρίζεται ορεινός, αποτελούμενος από τις Δημοτικές Ενότητες Τζουμέρκων, Πράμαντων, Κατσανοχωρίων, Σιράκου, Καλαρρυτών, Ματσουκίου και Βαθυπέδου.
- Δήμος Μετσόβου, με έδρα το Μέτσοβο, ο οποίος χαρακτηρίζεται ορεινός, αποτελούμενος από τις Δημοτικές Ενότητες Μετσόβου, Εγνατίας και Μηλέας.
- Δήμος Δωδώνης, με έδρα την Αγία Κυριακή αποτελούμενος από τις Δημοτικές Ενότητες Δωδώνης, Λάκκας Σουλίου, Αγίου Δημητρίου και Σελλών.

- Δήμος Ζίτσας, με έδρα την Ελεούσα αποτελούμενος από τις Δημοτικές Ενότητες Ζίτσας, Πασσαρώνος, Μολοσσών, Εκάλης και Ευρυμενών.

**Πίνακας 1.** Ποσοστά της γεωμορφολογικής διαμόρφωσης της Π.Ε. Ιωαννίνων

<b>Ορεινές</b>	85,28%
<b>Ημιορεινές</b>	11,38%
<b>Πεδινές</b>	3,34%

Πηγή: Επιχειρησιακό 2015-2019

**Πίνακας 2.** Χρήσεις γης σε σχέση με ολόκληρη την Ελλάδα

<b>Χρήσεις γης</b>	<b>Π.Ε. Ιωαννίνων</b>
Καλλιέργειες	9,16%
Βοσκότοποι	53,90%
Δάση	29,82%
Ύδατα	2,14%
Οικισμοί	3,30%
Λοιπές εκτάσεις	1,66%

Πηγή: Επιχειρησιακό 2015-2019

## 2.2 Φυσικοί πόροι – Φυσικό περιβάλλον

### Ορυκτός πλούτος

Η περιοχή της Ηπείρου, λόγω της γεωλογικής της δομής και της γεωγραφικής της θέσης, παρουσιάζει ενδιαφέρον για βιομηχανικά ορυκτά, ενεργειακές πρώτες ύλες, υπόγεια νερά και γεωθερμική ενέργεια. Όσον αφορά την Π.Ε. Ιωαννίνων, στην κατηγορία των ενεργειακών πρώτων υλών έχει εντοπιστεί ένα μικρού μεγέθους κοίτασμα τύρφης κατάλληλο για λαχανοκομικές και ανθοκομικές καλλιέργειες στο Πέραμα - Σιστρούνη Ιωαννίνων. Επίσης, στην περιοχή έχει εντοπιστεί κοίτασμα λιγνίτη που αποδείχθηκε κατάλληλος για χρήση σε οργανοχημικά λιπάσματα. Στην Δυτική Ελλάδα, συμπεριλαμβανομένου και της περιοχής μελέτης, λόγω του ιζηματογενούς χαρακτήρα των πετρωμάτων που την καλύπτουν, επικρατούν κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι οι οποίοι, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις μπορούν να αξιοποιηθούν ως μάρμαρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων πετρωμάτων αποτέλεσαν τα μάρμαρα των Ιωαννίνων το οποία, μέχρι τα μισά της δεκαετία του 80, γνώρισαν σημαντική ανάπτυξη. Εντοπίζονται στους ασβεστόλιθους του Ανώτερου Σενωνίου, έχουν μπεζ χρώμα και ευνοϊκές συνθήκες εκμετάλλευσης.

### Δασικές εκτάσεις

Οι δασικές εκτάσεις της Π.Ε. Ιωαννίνων βρίσκονται στο βόρειο και βορειοανατολικό τμήμα της (Κόνιτσα, Μέτσοβο, Πωγώνι, Ζαγόρια) και αποτελούνται από έλατα, πεύκα, δρυς, οξιές και άλλα αειθαλή δένδρα. Η πόλη των Ιωαννίνων διαθέτει ένα περιαστικό δάσος, με συνολική έκταση 864 στρέμματα, που εκτείνεται σε λόφους των Ιωαννίνων και είναι ένα τεχνητό αμιγές πευκόδασος.

#### Κλιματολογικές συνθήκες – Κλίμα

Η Π.Ε. Ιωαννίνων είναι από τις πιο ορεινές της Ελλάδας. επικρατούν ποικίλες κλιματικές καταστάσεις με βασικά χαρακτηριστικά την αφθονία βροχών που αντικατοπτρίζεται από την πλούσια βλάστηση, τα υψηλά ποσοστά υγρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες και την ποικιλία των θερμοκρασιών μεταξύ πεδινών και ορεινών περιοχών. Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται Ηπειρωτικό, ενώ σε συγκεκριμένες περιοχές Ορεινό.

#### Λίμνες – Ποταμοί

Στην Π.Ε. Ιωαννίνων υπάρχει η Παμβώτιδα μία μεγάλη σε έκταση φυσική λίμνη ( 22 km<sup>2</sup> ) που βρίσκεται στην πόλη των Ιωαννίνων και μία σημαντική σε έκταση τεχνητή λίμνη των πηγών του Αώου που βρίσκεται ανατολικά της Π.Ε., στην περιοχή του Μετσόβου. Επίσης, στην περιοχή της Βόρειας Πίνδου βρίσκονται η Δρακόλιμνη της Τύμφης, η Δρακόλιμνη του Σμόλικα και η λίμνη Φλέγγα που συμπληρώνουν τη φυσική γεωγραφία της περιοχής.

Όσον αφορά τους ποταμούς, οι κύριοι ποταμοί που διαρρέουν την Π.Ε. Ιωαννίνων είναι πέντε. Ο Καλαμάς, ο Άραχθος, και ο Λούρος εκβάλλουν στα παράλια της Ηπείρου, ενώ ο Αώος μετά τη συμβολή του με τους παραποτάμους Βοϊδομάτη και Σαραντάπορο, εισέρχεται σε αλβανικό έδαφος και εκβάλλει στην Αδριατική Θάλασσα. Σε σημαντικά τμήματα των ποταμών αυτών παρατηρείται πλούσια παραποτάμια βλάστηση.

#### Προστατευμένες Περιοχές

Στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού δικτύου Natura 2000 και του Ν. 1650/86, στην Π.Ε. Ιωαννίνων θεσμοθετήθηκαν οι ακόλουθες προστατευόμενες περιοχές:

- ❖ Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου
- ❖ Εθνικό Πάρκο Τζουμέρκων, Περιστερίου και χαράδρας Αράχθου
- ❖ Περιοχή Οικοανάπτυξης Λίμνης Παμβώτιδας

Οι παραπάνω προστατευμένες περιοχές υποδιαιρούνται σε διάφορες ζώνες διαβαθμισμένης σημαντικότητας και για κάθε μία από αυτές ισχύουν συγκεκριμένοι

όροι και περιορισμοί. Σήμερα στην Π.Ε. Ιωαννίνων υπάρχουν 16 περιοχές δικτύου Natura 2000.

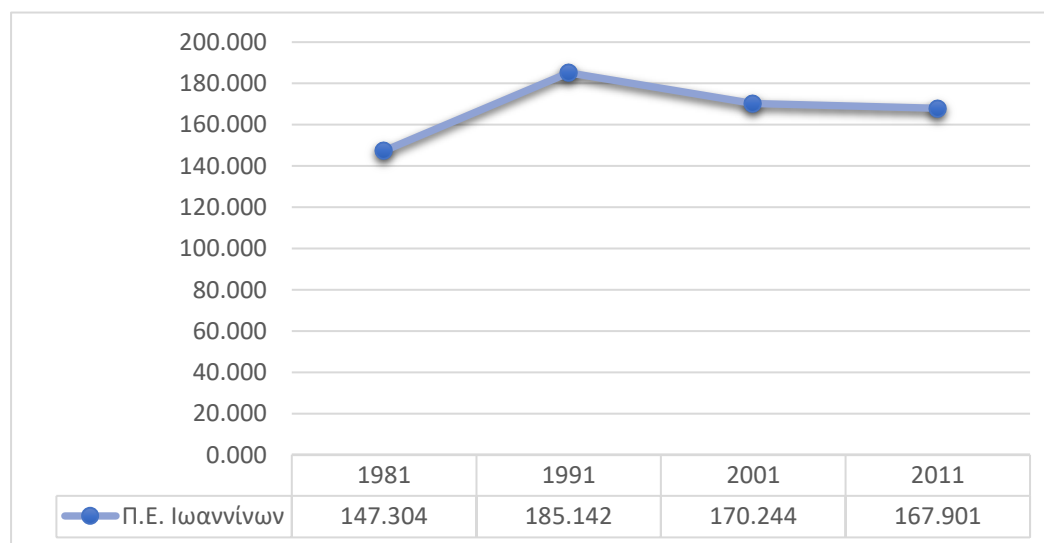
Επίσης, στην Π.Ε. Ιωαννίνων υπάρχουν, 14 Καταφύγια Άγριας Ζωής, 24 Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους (έχουν χαρακτηριστεί ή προταθεί να χαρακτηρισθούν), 1 αισθητικό δάσος (Περιαστικό δάσος Ιωαννίνων), ενώ ο πυρήνας του Εθνικού Δρυμού Βάλια Κάλντα τμήμα του οποίου περιέχεται στην Π.Ε. έχει χαρακτηριστεί ως Βιογενετικό Απόθεμα.

### 2.3 Πληθυσμιακή εξέλιξη

Σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2011 της ΕΣΥΕ, η Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων είχε 167.901 κατοίκους, που αντιπροσωπεύει το 49.84% της Περιφέρειας Ηπείρου. Η πυκνότητα κατοίκησης στην Π.Ε. είναι 33,5 κάτ./km<sup>2</sup> και είναι η δεύτερη πιο αραιοκατοικημένη Π.Ε. της Ηπείρου, με πρώτη αυτή της Θεσπρωτίας (28,83 κάτ./km<sup>2</sup>).

Στο διάγραμμα 2 φαίνεται ο πληθυσμός της Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων από το 1981 έως την τελευταία απογραφή του 2011. Τη δεκαετία 1981-1991 όπως φαίνεται στο διάγραμμα η Π.Ε. παρουσιάζει σημαντική αύξηση του πληθυσμού της, όμως την επόμενη δεκαετία 1991-2001 ο πληθυσμός της Π.Ε. μειώνεται ξανά. Στη συνέχεια, τη δεκαετία 2001-2011 παρατηρείται στασιμότητα και ελαφρά μείωση του πληθυσμού της.

**Διάγραμμα 1.** Πληθυσμιακή εξέλιξη της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων 1981-2011.

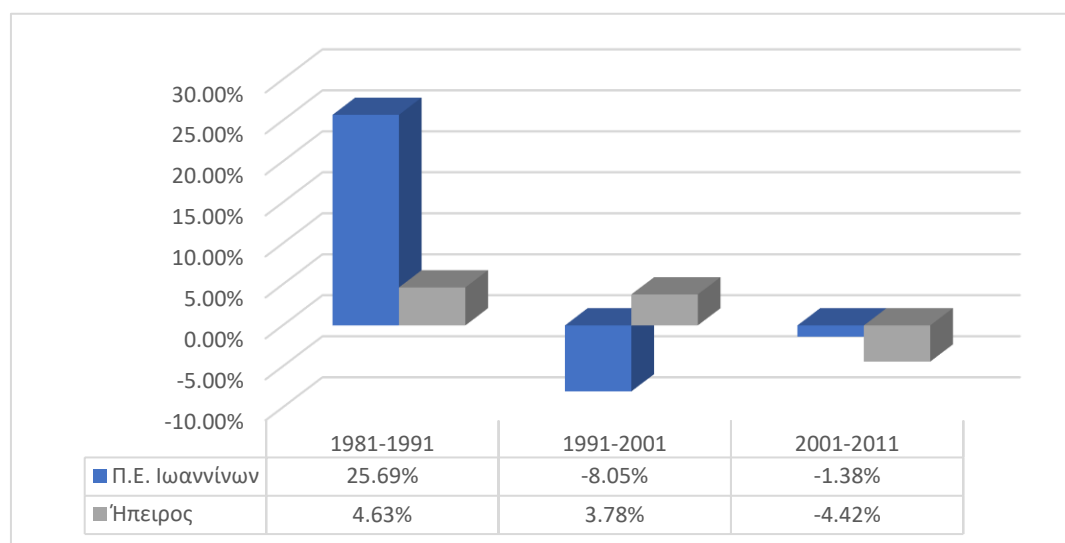


Πηγή: Επιχειρησιακό Ηπείρου 2015-2019



Παρακάτω το διάγραμμα 2 παρουσιάζει τους ρυθμούς μεταβολής του πληθυσμού της Π.Ε. Ιωαννίνων, σε αντιστοιχία με την Ήπειρο, ανά δεκαετία. Φαίνεται ότι τη δεκαετία 1981-1991, ο πληθυσμός της Π.Ε. αυξήθηκε σημαντικά έναντι του πληθυσμού της Ηπείρου. Τη 1991-2001 παρατηρείται σημαντική μείωση του πληθυσμού της Π.Ε. αλλά και της Περιφέρειας. Πράγμα που συνεχίζεται και την επομένη δεκαετία 2001-2011 όπου παρατηρείται σταθερή μείωση για την Π.Ε. αλλά και για την Περιφέρεια.

**Διάγραμμα 2.** Μέσοι ρυθμοί μεταβολής πληθυσμού ανά δεκαετία για την Π.Ε. Ιωαννίνων και την Ήπειρο.



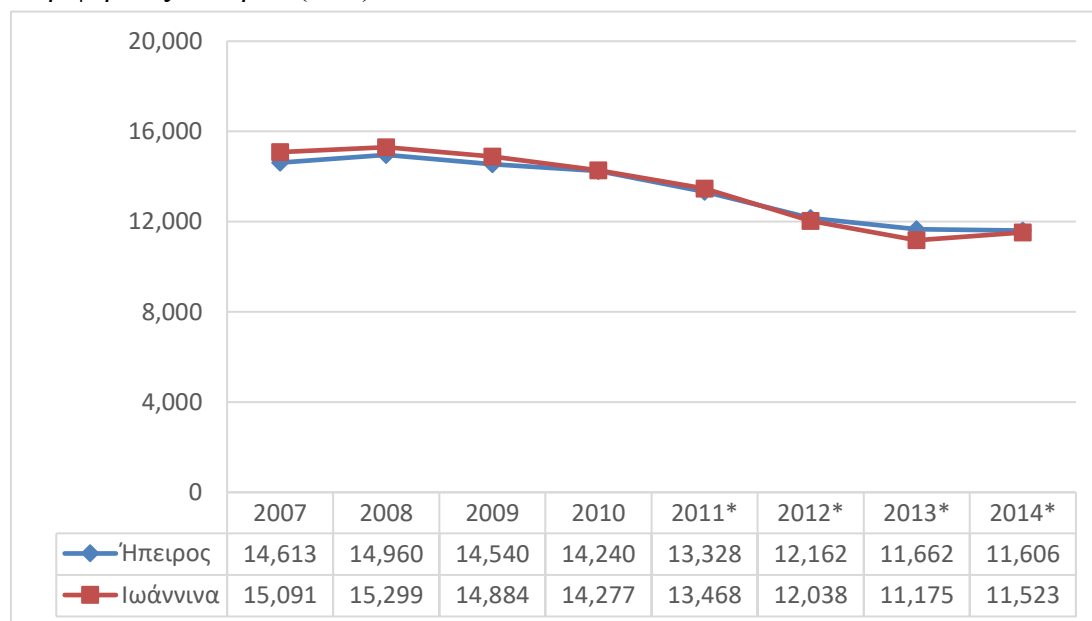
Πηγή: Επιχειρησιακό Ηπείρου 2015-2019

## 2.4 Οικονομικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Η Περιφέρεια Ηπείρου σε όρους Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος συγκαταλέγεται στις φτωχότερες Περιφέρειες της Ελλάδας. Το κατά κεφαλήν ΑΕΠ της Περιφέρειας Ηπείρου ανέρχεται στο 69% του μέσου κατά κεφαλήν ΑΕΠ της χώρας και καταλαμβάνει την 9<sup>η</sup> θέση ανάμεσα στις 13 Περιφέρειες της χώρας.

Η Περιφερειακή Ενότητα των Ιωαννίνων, είναι η δεύτερη σε σειρά πιο πλούσια Περιφερειακή Ενότητα της Ηπείρου, με πρώτη αυτή της Θεσπρωτίας. Η πορεία του κατά κεφαλήν ΑΕΠ της Περιφερειακής Ενότητας ακολουθεί την τάση της Περιφέρειας, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.

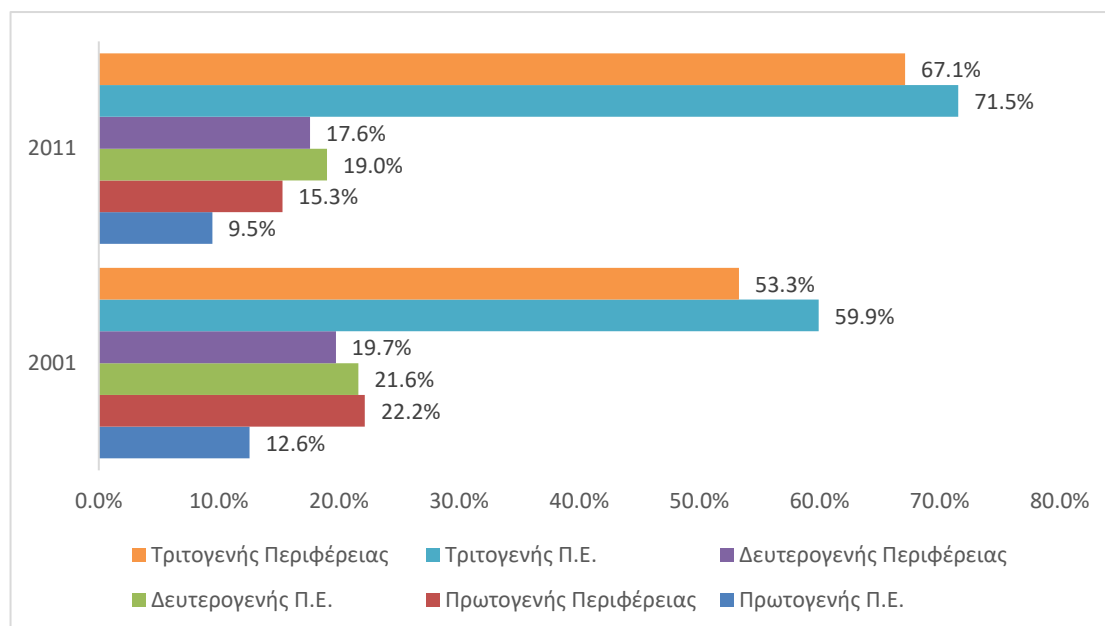
**Διάγραμμα 3.** Κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν της Π.Ε. Ιωαννίνων και της Περιφέρειας Ηπείρου (σε €).



Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ (\*Προσωρινά στοιχεία)

Αντίστοιχα, η τομεακή διάρθρωση της απασχόλησης για την Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων αλλά και για την Περιφέρεια Ηπείρου παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα. Η αγορά εργασίας της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων, παρουσιάζει υψηλά ποσοστά συγκέντρωσης στον δευτερογενή και τριτογενή τομέα σε σχέση με το σύνολο της Περιφέρειας Ηπείρου, όπως αυτά φαίνονται το παρακάτω διάγραμμα. Συγκριτικά με το 2001, η απασχόληση του 2011 στον πρωτογενή και δευτερογενή τομέα έχει μειωθεί, ενώ παρατηρείται αύξηση της απασχόλησης στον τριτογενή τομέα παραγωγής.

**Διάγραμμα 4.** Ποσοστιαία τομεακή απασχόληση της Π.Ε. Ιωαννίνων και της Περιφέρειας Ηπείρου για τα έτη 2001 και 2011.



Πηγή: Επιχειρησιακό Ηπείρου 2015-2019

### Πρωτογενής τομέας

Η αγροτική οικονομία της Περιφέρειας εξειδικεύεται στην κτηνοτροφία, όπου η αιγοπροβατοτροφία και η πτηνοτροφία κατέχουν εξέχουσα θέση στο σύνολο της εγχώριας παραγωγής και αποτελούν τη βάση σημαντικής μερίδας του δευτερογενούς τομέα (κλάδος τροφίμων). Τα  $\frac{3}{4}$  της γεωργικής υψηλής παραγωγικότητας της Περιφέρειας συγκεντρώνονται στην Π.Ε. Άρτας και Πρεβέζης, βόρεια της Ηγουμενίτσας και στο κεντρικό τμήμα της Π.Ε. Ιωαννίνων. Οι κτηνοτροφικές μονάδες είναι διάσπαρτες στην Περιφέρεια εκτός από το νοτιοανατολικό τμήμα της. Τα πτηνοτροφεία βρίσκονται κυρίως στην Π.Ε. Ιωαννίνων και στις πεδιάδες της Άρτας, η μεγαλύτερη συγκέντρωση χοιροτροφείων στη περιοχή Φιλιπιάδας της Π.Ε. Θεσπρωτίας και στον ορεινό όγκο της Πίνδου.

### Δευτερογενής τομέας

Ο δευτερογενής τομέας και ιδιαίτερα η μεταποίηση έχει μεγάλη σημασία για την ανάπτυξη μιας οικονομίας. Η δυναμική του δευτερογενή τομέα συνδέεται άμεσα με την αξιοποίηση της πρωτογενής παραγωγής. Στην Π.Ε. Ιωαννίνων βρίσκεται η πλειοψηφία των μεταποιητικών μονάδων της περιοχής, που αφορούν τον κλάδο της βιομηχανίας τροφίμων (μεταποίηση αγροτικών προϊόντων) και κυρίως την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων. Επίσης, η εξόρυξη και επεξεργασία μαρμάρου είναι από

τις σημαντικές δραστηριότητες στην περιοχή, με προϊόντα που διακινούνται στην Ελλάδα και το εξωτερικό. Άλλοι παραδοσιακοί κλάδοι μεταποίησης είναι η ξυλογλυπτική και η ζαχαροπλαστική. Στην πόλη των Ιωαννίνων η αργυροχρυσοχοΐα είναι ένας από τους παραδοσιακούς κλάδους μεταποίησης που ανθεί εδώ και αρκετούς αιώνες, αποτελώντας αναπόσπαστο κομμάτι της τοπικής παράδοσης. Στην Π.Ε. Ιωαννίνων συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μέρος των βιοτεχνιών της Π.Ε.. Συγκέντρωση βιοτεχνιών – βιομηχανιών καταγράφεται επίσης στην ΔΕ Μπιζανίου (Πεδινή), και στην περιοχή της Δ.Ε. Περάματος στην ανάπτυξη των οποίων συντέλεσε η δημιουργία της ΒΙΠΕ Ιωαννίνων η οποία ξεκίνησε την λειτουργία της το 1981 και είναι χωροθετημένη στο Δήμο Ζίτσας.

### **Τριτογενής τομέας**

Ο τριτογενής τομέας στη Π.Ε. Ιωαννίνων κατέχει σημαντικό ρόλο, τόσο με βάση τη συμμετοχή του στη συνολική απασχόληση όσο και στη διαμόρφωση του συνολικού ΑΕΠ της Περιφερειακής οικονομίας. Οι πρωτεύοντες κλάδοι του τριτογενή τομέα με σημαντική συνεισφορά στην τοπική ανάπτυξη είναι ο εμπορικός κλάδος, οι κλάδοι Εκπαίδευσης, Υγείας, Δημόσιας Διοίκησης, καθώς και η διαρκώς αναπτυσσόμενη τουριστική δραστηριότητα που παρά τις ιδιαιτερότητες της περιοχής θεωρείται σημαντικός πλουτοπαραγωγικός πόρος, καθώς αποτελεί σημαντικό παράγοντα ενίσχυσης του εισοδήματος και της απασχόλησης της περιοχής.

## **2.5 Τεχνική και Κοινωνική Υποδομή**

Η κατάσταση στην Π.Ε. Ιωαννίνων όσον αφορά το ζήτημα των τεχνικών και κοινωνικών υποδομών ποικίλει. Εμφανίζεται ελλιπής σε ότι αφορά την τεχνική υποδομή και την σύνδεση της Περιφέρειας με την υπόλοιπη χώρα. Η Π.Ε. Ιωαννίνων και ειδικότερα τι πολεοδομικό συγκρότημα των Ιωαννίνων αποτελεί βασικό σημείο για την Ελλάδα, δεδομένης της γεωγραφικής θέσης η οποία την αναδεικνύει σε κέντρο της Βόρειο-δυτικής Ελλάδας. Ωστόσο, το υφιστάμενο οδικό δίκτυο, εκτός της Εγνατίας οδού σε συνδυασμό με την ορεινή γεωμορφολογία αποτελούσαν για χρόνια το σοβαρότερο παράγοντα απομόνωσης της Π.Ε δημιουργώντας πρόβλημα στην αναπτυξιακή προοπτική της. Η σύνδεση της Π.Ε. με την κεντρική και βόρεια Ελλάδα βελτιώθηκε σημαντικά μετά την ολοκλήρωση του κλειστού αυτοκινητόδρομου της Εγνατίας οδού. Επίσης με την πρόσφατη ολοκλήρωση της Ιόνιας οδός, αναβάθμισε

σημαντικά τη σύνδεση της Π.Ε. Ιωαννίνων με την νότια Ελλάδα. Η ολοκλήρωση της άρσης της οδικής απομόνωσης της Π.Ε. θα ολοκληρωθεί όταν αποπερατωθεί ο Ε65.

Στον τομέα των μεταφορών η Π.Ε. διαθέτει αερολιμένα μέτριου επιπέδου που βρίσκεται στην πόλη των Ιωαννίνων και πραγματοποιεί πτήσεις μόνο για Αθήνα. Σημαντική είναι η προσπάθεια που γίνεται από την Περιφέρεια Ηπείρου, το Δήμο Ιωαννιτών και άλλων φορέων της πόλης για την αναβάθμιση του αεροδρομίου αλλά και τη σύνδεση του με άλλα αεροδρόμια της Ελλάδας και του εξωτερικού. Στα πλαίσια αυτής της αναβάθμισης, πραγματοποιήθηκε στις 5 Ιουνίου του 2017 η πρώτη πτήση τσάρτερ από την Κοπεγχάγη για τα Ιωάννινα.

Ακόμα, ένα ελλιπές κομμάτι στον τομέα των μεταφορών είναι η απουσία σιδηροδρομικού δικτύου που θα συνδέει την Ήπειρο και κατ' επέκταση την Π.Ε. Ιωαννίνων με την υπόλοιπη χώρα. Μελέτες για την κατασκευή σιδηροδρομικού δικτύου για την ανάπτυξης της γραμμής Ηγουμενίτσα – Ιωάννινα – Καλαμπάκα έχουν εκπονηθεί από το 2009, όμως η υλοποίησή τους δεν έχει πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα.

Στον τομέα των υποδομών της Υγείας, τα δύο νοσοκομεία των Ιωαννίνων (πανεπιστημιακό και κρατικό) παρέχουν ένα ευρύ και αναπτυσσόμενο δίκτυο παροχής υπηρεσιών υψηλού επιπέδου.

Στον κλάδο της εκπαίδευσης το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων και το ΤΕΙ Ηπείρου, δημιουργούν προϋποθέσεις ανάδειξης της Ηπείρου και κατ' επέκταση της Π.Ε. Ιωαννίνων, ως σημαντικού πόλου εκπαίδευσης.

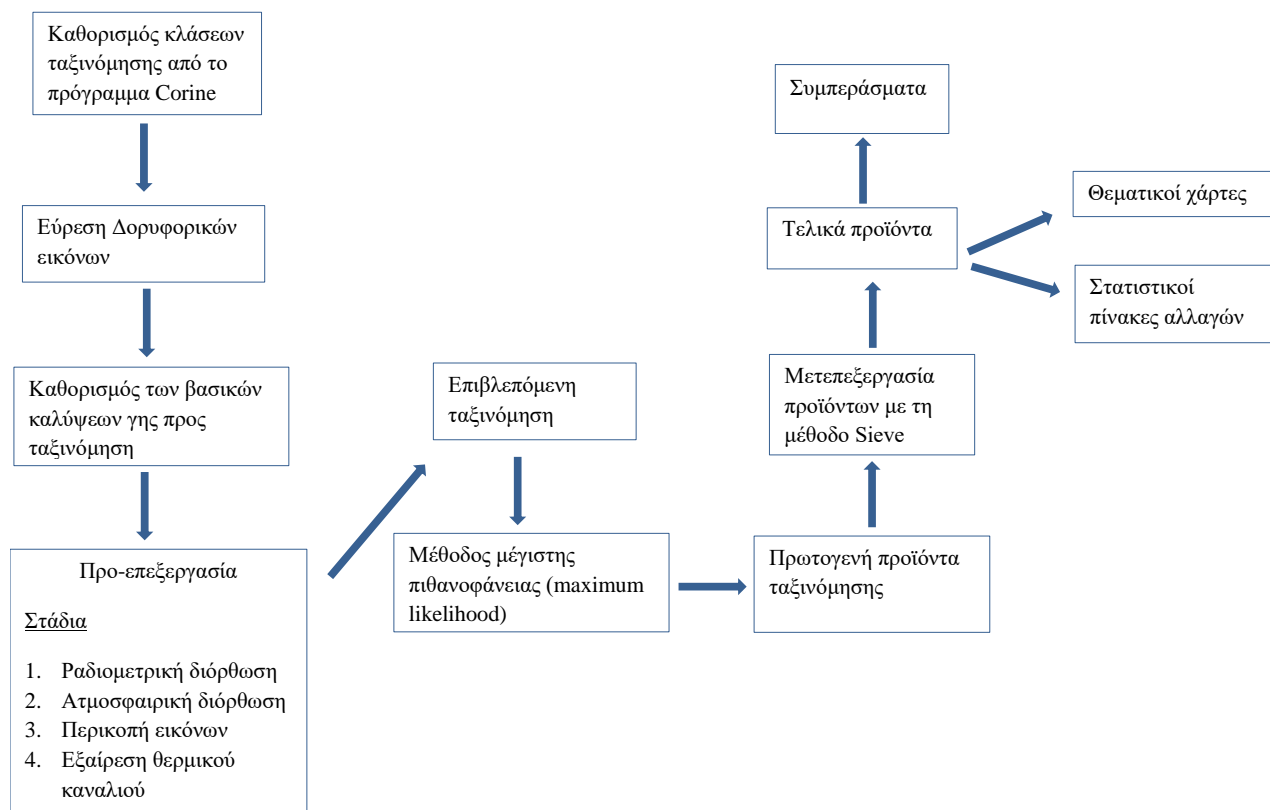
## Κεφάλαιο 3

### Προεπεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων/ Ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων

#### 3.1 Διάγραμμα ροής εργασιών

Το διάγραμμα ροής εργασιών, αποτελεί τον σκελετό της μεθοδολογίας σε μία ενεργή ροή εργασιών, που ξεκινά από την εύρεση των δεδομένων, μέχρι την παραγωγή των τελικών προϊόντων. Στο παρακάτω διάγραμμα ροής παρουσιάζονται οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις που ακολουθήθηκαν.

*Διάγραμμα 5.* Ροή εργασιών.



### 3.2 Επιλογή δορυφορικών δεδομένων

Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την περιοχή μελέτης είναι του δορυφόρου Landsat, έχουν κωδικό path – κάθετης διαδρομής 185 και κωδικό row - γραμμής 32. Η ιστοσελίδα του United States Geological Survey (USGS), μέσω του earth explorer προσφέρει δωρεάν δορυφορικές εικόνες. Οι δορυφορικές εικόνες που επιλέχθηκαν για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας είναι καταγεγραμμένες από το Θεματικό Χαρτογράφο Landsat 5 TM τις χρονολογίες 1990, 2003 και 2011. (Πίνακας 3) Η επιλογή των συγκεκριμένων δεδομένων έγινε διότι η λήψη τους πραγματοποιήθηκε κατά τους θερινούς μήνες και με ελάχιστο ποσοστό νεφοκάλυψης, σε σχέση με τις άλλες διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες. Ωστόσο, δε καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή μελέτης, καθώς στη νότια μεριά της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων ένα μικρό κομμάτι της δεν περιλαμβάνεται στις δορυφορικές εικόνες, οπότε αναγκαστικά παραλείπεται και από τα τελικά αποτελέσματα της μελέτης.

**Πίνακας 3.** Ημερομηνίες λήψης δορυφορικών εικόνων.

Ημερομηνία λήψης	Δορυφορικό σύστημα
02/07/1990	Landsat 5 TM
06/07/2003	Landsat 5 TM
26/06/2011	Landsat 5 TM

Οι πληροφορίες των μεταδεδομένων της κάθε δορυφορικής εικόνας περιλαμβάνονται στο αρχείο με την κατάληξη MTL. Κάθε MTL αρχείο περιλαμβάνει μια συλλογή από πληροφορίες του πρωτογενούς υλικού των δορυφορικών εικόνων σημαντικές για τον μελετητή. Στον πίνακα 4 απεικονίζεται το MTL αρχείο της δορυφορικής εικόνας του 1990.

**Πίνακας 4.** Απεικόνιση τμημάτων του αρχείου MTL της δορυφορικής εικόνας του 1990 του δορυφόρου Landsat TM.

<pre> GROUP = L1_METADATA_FILE   GROUP = METADATA_FILE_INFO     ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"     REQUEST_ID = "0100912113184_00002"     PRODUCT_CREATION_TIME = 2009-12-12T18:43:28Z     STATION_ID = "EDC"     LANDSAT5_XBAND = "1"     GROUND_STATION = "XXX"     LPS_PROCESSOR_NUMBER = 0     DATEHOURL_CONTACT_PERIOD = "9018308"     SUBINTERVAL_NUMBER = "01"   END_GROUP = METADATA_FILE_INFO   GROUP = PRODUCT_METADATA     PRODUCT_TYPE = "L1T"     ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"     PROCESSING_SOFTWARE = "LPGS_10.1.2"     EPHEMERIS_TYPE = "DEFINITIVE"     SPACECRAFT_ID = "Landsat5"     SENSOR_ID = "TM"     SENSOR_MODE = "SAM"     ACQUISITION_DATE = 1990- 07-02     SCENE_CENTER_SCAN_TIME = 08:36:51.0010500Z     WRS_PATH = 185     STARTING_ROW = 32     ENDING_ROW = 32     BAND_COMBINATION = "1234567" </pre>	<pre> GROUP = PROJECTION_PARAMETERS   REFERENCE_DATUM = "WGS84"   REFERENCE_ELLIPSOID = "WGS84"   GRID_CELL_SIZE_THM = 60.000   GRID_CELL_SIZE_REF = 30.000   ORIENTATION = "NUP"   RESAMPLING_OPTION = "CC"   MAP_PROJECTION = "UTM"   END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS   GROUP = UTM_PARAMETERS     ZONE_NUMBER = 34   END_GROUP = UTM_PARAMETERS END_GROUP = L1_METADATA_FILE END </pre>
---	--

Σημαντικές πληροφορίες που μπορούν να εξαχθούν από το MTL αρχείο κάθε δορυφορικής εικόνας είναι:

- Ο βαθμός επεξεργασίας της ‘‘L1T’’.
- Το δορυφορικό σύστημα από το οποίο έγινε η λήψη της ‘‘Landsat 5’’.
- Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε ‘‘Thematic Mapper TM’’.
- Η ημερομηνία λήψης της 02-07-1990.



- Το όνομα του προβολικού συστήματος της εικόνας ‘‘UTM’’ (Universal Transverse Mercator).
- Η χωρική διακριτική ικανότητα της εικόνας 30μέτρα.
- Το Γεωγραφικό σύστημα αναφοράς Datum ‘‘WGS84’’ και το Ελλειψοειδές πάνω στο οποίο έχει βασιστεί ‘‘WGS84’’.
- Προσανατολισμός της εικόνας ‘‘North up’’.
- Τα φασματικά κανάλια 1,2,3,4,5,6,7.

Όλα τα πρότυπα προϊόντα δεδομένων Landsat υποβάλλονται σε επεξεργασία με τη χρήση του επιπέδου L1 Product Generation System (LPGS) στα οποία εφαρμόζονται οι ακόλουθες παράμετροι:

- Μορφότυπος αρχείου εξόδου GeoTIFF.
- Μέθοδος επαναδειγματοληψίας ‘‘Cubic Convolution’’.
- Χωρική διακριτική ικανότητα 30 μέτρα (TM, ETM+).
- Map projection: (UTM) Universal Transverse Mercator.
- Datum: Το παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα, WGS84.
- Προσανατολισμός της εικόνας: Ο Βορράς επάνω (North up).

Ο τύπος του προϊόντος που αναφέρεται ‘‘L1t’’ (Level 1 Terrain corrected) σημαίνει το βαθμό επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων Landsat. Το συγκεκριμένο πρότυπο διόρθωσης, δηλώνει συστηματική ραδιομετρική και γεωμετρική ακρίβεια ενσωμάτωση GCPs (Ground Control Points) σημείων ελέγχου εδάφους, ενώ παράλληλα για μεγαλύτερη τοπογραφική ακρίβεια, χρησιμοποιείται ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους DEM (Digital Elevation Model). Η γεωδαιτική ακρίβεια του προϊόντος εξαρτάται από την ακρίβεια των σημείων ελέγχου εδάφους (GCPs), και από την ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM).

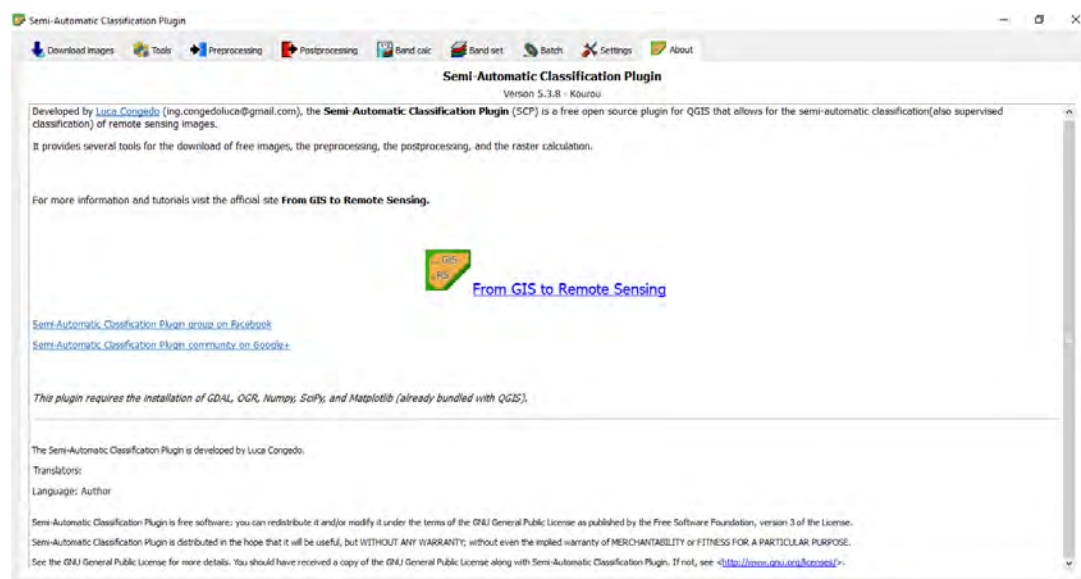
Πηγή: (<https://landsat.usgs.gov/landsat-processing-details>)

### 3.3 Προ-επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων

Η προ-επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων αποσκοπεί στο να διορθωθούν, όσο είναι εφικτό, τυχόν σφάλματα που υπάρχουν στα δεδομένα. Τα ψηφιακά δεδομένα που καταγράφονται από τους αισθητήρες των δορυφόρων εμπεριέχουν σφάλματα στη γεωμετρία τους αλλά και στις ραδιομετρικές τιμές των εικονοστοιχείων τους.

Οι σημαντικότερες τεχνικές που μπορούν να εκτελεστούν από προγράμματα κατάλληλα για την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων είναι οι γεωμετρικές διορθώσεις, οι ραδιομετρικές διορθώσεις και οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις.

Η προ-επεξεργασία και η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Quantum GIS. Για τη διαδικασία των ταξινομήσεων χρησιμοποιήθηκε το Semi-automatic Classification Plugin το οποίο έχει σχεδιαστεί από τον Luca Congedo. (Εικόνα 3)



**Εικόνα 3.** Semi-Automatic Classification Plugin του λογισμικού.

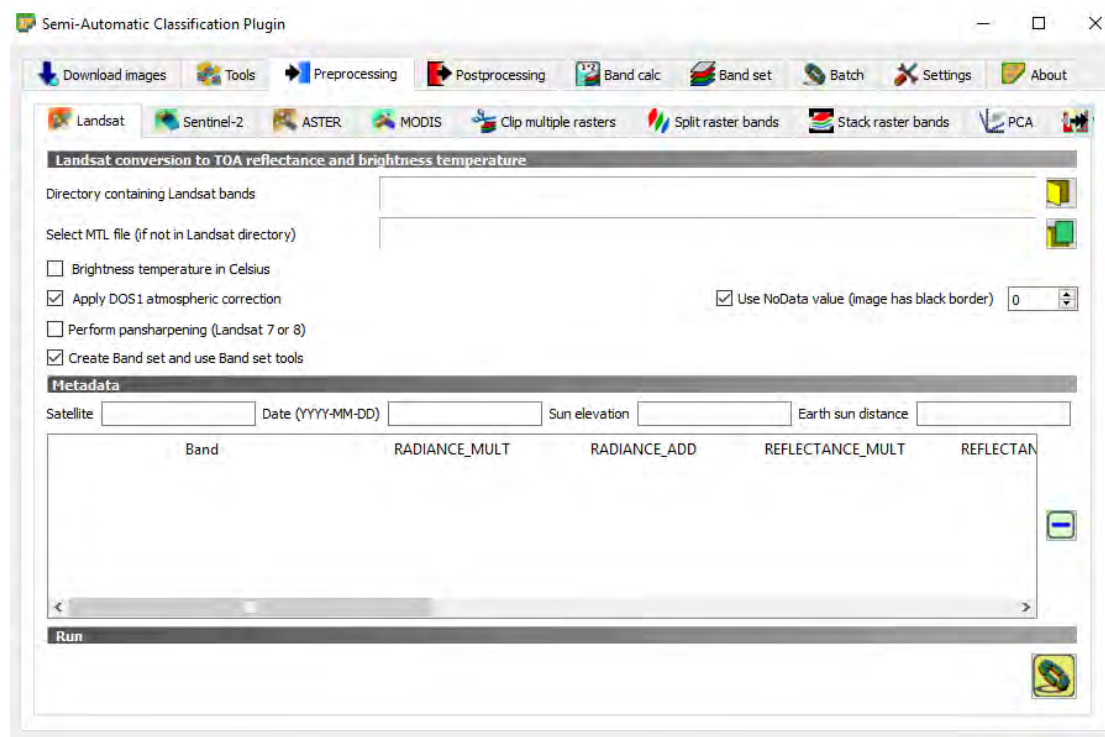
Οι **γεωμετρικές διορθώσεις** εξαλείφουν τις παραμορφώσεις που έχουν υποστεί τα δεδομένα από την περιστροφή της γης, την καμπυλότητα της γήινης επιφάνειας αλλά και από απρόβλεπτες μεταβολές στον προσανατολισμό, στο ύψος και στην ταχύτητα του δορυφόρου. Οι δορυφορικές εικόνες Landsat είναι ήδη γεωαναφερμένες, στο σύστημα αναφοράς WGS 84, οπότε για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δεν πραγματοποιήθηκε κάποια επιπλέον διεργασία.

Οι **ραδιομετρικές διορθώσεις** υλοποιούν ραδιομετρική ρύθμιση της εικόνας ώστε να απαλειφθούν, κατά το δυνατόν οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις, ο θόρυβος του συστήματος λήψης και οι ελαττωματικές λειτουργίες των ανιχνευτών.

Οι **ατμοσφαιρικές διορθώσεις** μειώνουν την επίδραση της ατμόσφαιρας στις ραδιομετρικές τιμές, καθώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ατμόσφαιρα, μέσω των διεργασιών της σκέδασης που είναι η κύρια αιτία για τη θολότητα, αλλά και της απορρόφησης.

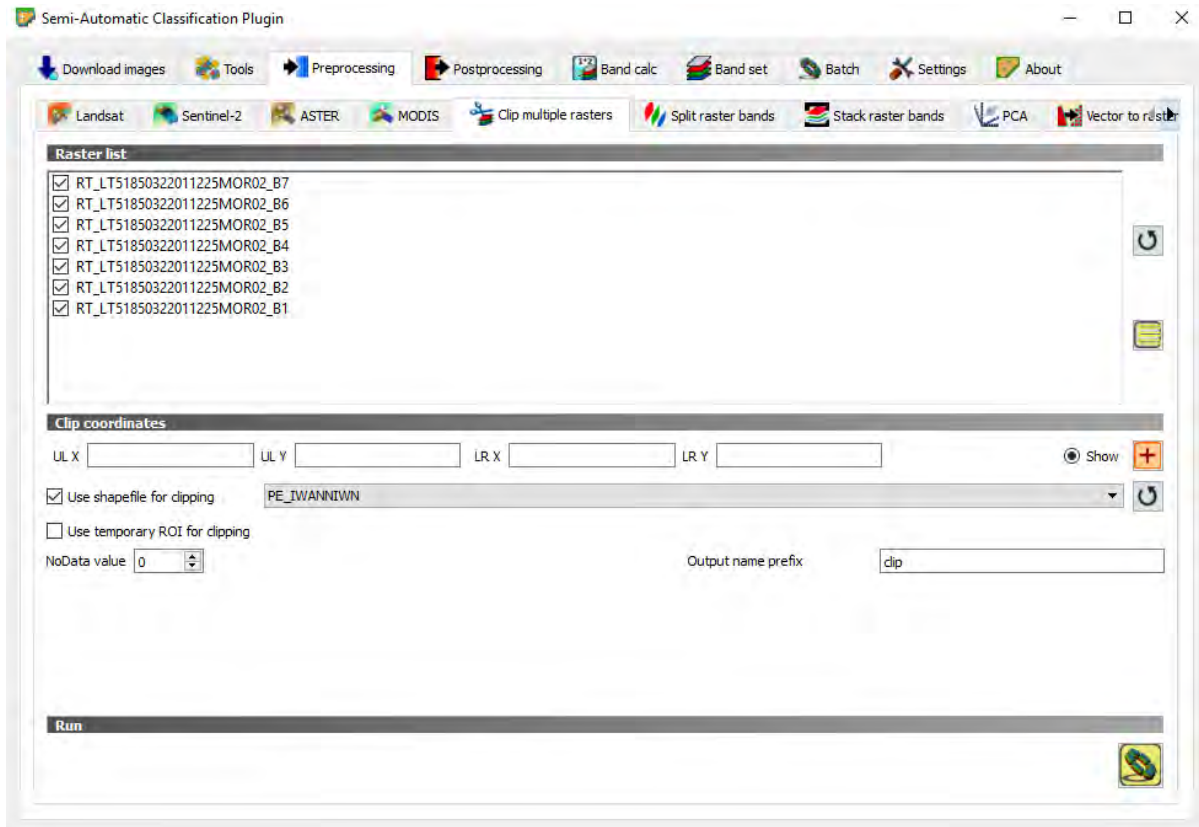
Η σχετική *ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση* των δορυφορικών δεδομένων της παρούσας εργασίας, έγινε μέσω του Semi – Automatic Classification Plugin (SCP), του λογισμικού QGIS. Ο φάκελος των δορυφορικών δεδομένων που κατέβηκε από την ιστοσελίδα του USGS, εκτός από τις δορυφορικές εικόνες, περιέχει και ένα αρχείο με την ονομασία MTL, το οποίο περιλαμβάνει μια συλλογή από πληροφορίες πρωτογενούς υλικού των δορυφορικών εικόνων σημαντικές για τον μελετητή.

Στο στάδιο της προ-επεξεργασίας (preprocessing) στην εργαλειοθήκη του SCP, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4, η ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων πραγματοποιείται επιλέγοντάς το αρχείο MTL από το φάκελο των δορυφορικών δεδομένων, ενώ η ατμοσφαιρική διόρθωση επιλέγοντας το Apply DOS 1 atmospheric correction.



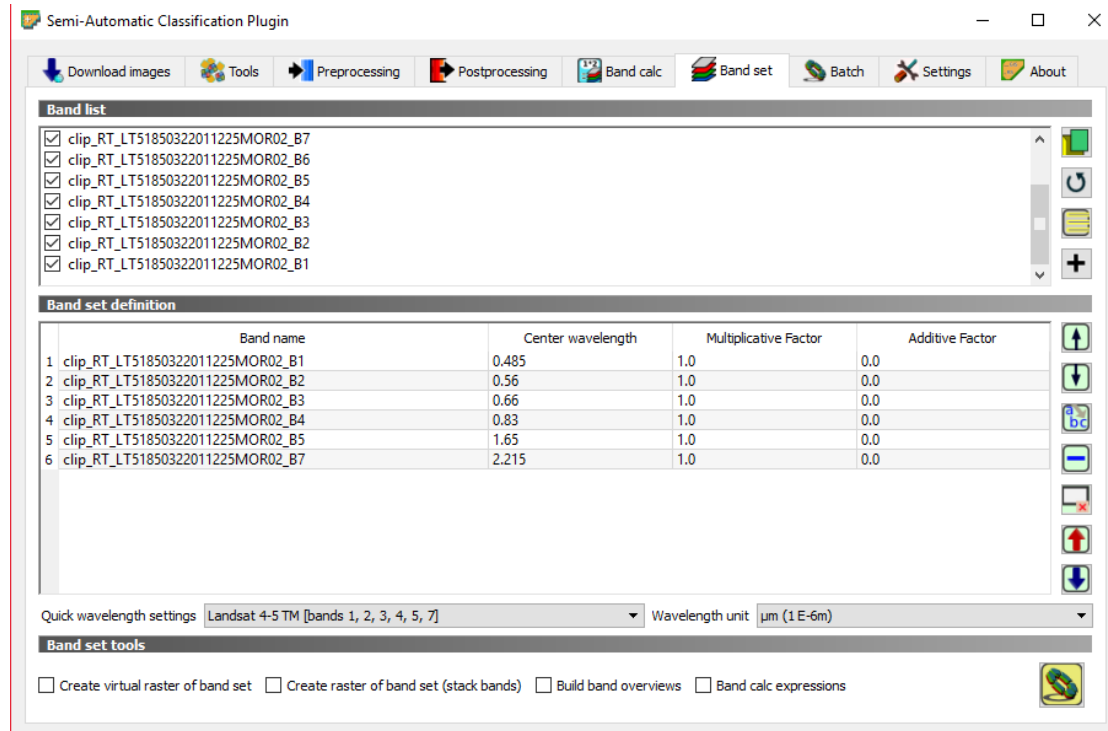
**Εικόνα 4.** Παράθυρο ατμοσφαιρικής και ραδιομετρικής διόρθωσης του SCP.

Έπειτα από τη φόρτωση των ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένων δορυφορικών εικόνων στην πλατφόρμα του λογισμικού QGIS, έγινε αποκοπή των εικόνων βάσει των ορίων της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων. Από την εργαλειοθήκη του SCP του QGIS, επιλέγοντας την εντολή Preprocessing, από το μενού που εμφανίζεται επιλέγουμε την εντολή Clip multiple rasters. Στο πεδίο Raster list φορτώνουμε τις διορθωμένες ατμοσφαιρικά και ραδιομετρικά δορυφορικές εικόνες και επιλέγοντας την εντολή Use shape file for clipping επιλέγεται το αρχείο που θα λειτουργήσει ως μάσκα για την αποκοπή τους. (Εικόνα 5)



**Εικόνα 5.** Αποκοπή εικόνας μέσω της εντολής Clip multiple rasters του SCP.

Εφόσον ολοκληρωθούν οι παραπάνω διεργασίες, δημιουργούμε το Band set των αποκομμένων δορυφορικών εικόνων. Συγκεκριμένα, από το μενού Band set του SCP, στο πεδίο Band list φορτώνουμε όλα τα κανάλια, ενώ στο πεδίο Band set definition εισάγουμε τα επιλεγμένα κανάλια από το πεδίο Band list. Έπειτα, στην επιλογή Quick wavelength settings επιλέγουμε τον δορυφόρο στον οποίο ανήκουν τα παραπάνω κανάλια, ώστε να γίνει ένας γρήγορος ορισμός του μήκους κύματος των τιμών που βρίσκονται στο πεδίο Center wavelength. (Εικόνα 6) Με την διαδικασία αυτή δημιουργείται ένα νέο αρχείο Raster, με συνδυασμούς των καναλιών του δορυφορικού αισθητήρα σε ψευδοέγχρωμη εικόνα. Οι συνδυασμοί που επιλέχθηκαν, ώστε να βοηθήσουν στην αναγνώριση και τον διαχωρισμό των καλύψεων γης της περιοχής μελέτης είναι οι 1-5-3, 4-3-2 και 4-5-3. (Εικόνες 7, 8 & 9)



**Εικόνα 6.** Δημιουργία Band set.



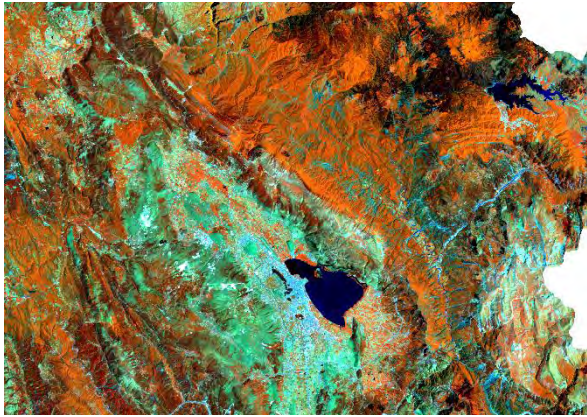
**Εικόνα 7.** Ψευδοέγχρωμη εικόνα RGB 3-2-1.

Η φασματική σύνθεση 3-2-1 δίνει την πλησιέστερη προσέγγιση του αισθητήρα Landsat TM σε φυσικούς χρωματισμούς.



**Εικόνα 8.** Ψευδοέγχρωμη εικόνα RGB 4-3-2.

Στον φασματικό συνδυασμό 4-3-2, η βλάστηση εμφανίζεται σε αποχρώσεις του κόκκινου, οι αστικές περιοχές με κυανό μπλε. Γενικά, οι περιοχές με τις βαθυκόκκινες αποχρώσεις σημαίνουν υγιέστερη βλάστηση, ενώ οι ελαφρύτερα κόκκινες σημαίνουν λιβάδια, γεωργικές εκτάσεις ή αραιή βλάστηση.



*Εικόνα 9.* Ψευδοέγχρωμη εικόνα RGB 4-5-3.

Ο συνδυασμός αυτός παρέχει ευκρινέστερα αποτελέσματα από τους προηγούμενους. Διαφορετικοί τύποι βλάστησης μπορούν να οριστούν με μεγαλύτερη σαφήνεια.

## 4. Ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων

Με βάση το γεγονός ότι οι διαφορετικοί τύποι καλύψεων γης στην γήινη επιφάνεια έχουν διαφορετικές ιδιότητες φασματικής ανάκλασης, η αναγνώρισή τους πραγματοποιείται μέσω της διαδικασίας της ταξινόμησης. Κατά μια ευρεία έννοια, με τον όρο ταξινόμηση ψηφιακής πολυφασματικής εικόνας, υποδηλώνεται η διαδικασία κατηγοριοποίησης των εικονοστοιχείων σε ομάδες, ή θεματικές τάξεις (classes), με κοινά χαρακτηριστικά, από πλευράς φασματικής απόκρισης. (Σκιάνης, 2012) Υπάρχουν δύο μέθοδοι πολυφασματικής ταξινόμησης, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση και η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι αυτή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, και σε συνδυασμό με την κατάλληλη επιλογή και επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων της περιοχής μελέτης οδήγησε σε αξιόπιστα αποτελέσματα.

### 4.1 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης απαιτεί από το χρήστη να επιλέξει αντιπροσωπευτικές περιοχές εκπαίδευσης, η κάθε μία από τις οποίες είναι γνωστό σε ποια κλάση ανήκει. Ο αναλυτής προσδιορίζει χωρικά δείγματα εικονοστοιχείων στην εικόνα, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως αντιπροσωπευτικά για μια συγκεκριμένη κατηγορία κάλυψης γης. Στη συνέχεια, με την εκπαίδευση του κατάλληλου αλγορίθμου ταξινόμησης από τον χρήστη, τα δειγματοληπτικά εικονοστοιχεία θα οδηγήσουν στον εντοπισμό παρόμοιων εικονοστοιχείων στην εικόνα.

Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκαν τρεις μέθοδοι, αυτή της ελάχιστης απόστασης (minimum distance), της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood) και η μέθοδος με τη χρήση χαρτογράφου φασματικών γωνιών (spectral angle mapping). Ο αλγόριθμος ταξινόμησης που θα εφαρμοστεί είναι της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood), καθώς έπειτα από πολλαπλές δοκιμές κρίθηκε ο πιο κατάλληλος, δίνοντας ορθά αποτελέσματα για τις καλύψεις γης της περιοχής μελέτης, σε σχέση με τους άλλους δύο. Σύμφωνα με έρευνες ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood), θεωρείται ένας από τους πιο ακριβείς ταξινομητές, δεδομένου ότι βασίζεται σε στατιστικές παραμέτρους.

## 4.2 Η μέθοδος ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας

Η ταξινόμηση με το κριτήριο της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood), πραγματοποιείται με βάση την πιθανότητα  $p(\Omega_i | x)$  να ανήκει εικονοστοιχείο με διάνυσμα  $x$  στο φασματικό χώρο, στην τάξη  $\Omega_i$ . Οι συνιστώσες  $x_1, x_2, \dots, x_n$  του διανύσματος  $x$  είναι οι τιμές φωτεινότητας του εικονοστοιχείου στις φασματικές ζώνες  $1, 2, \dots, n$ , αντίστοιχα.

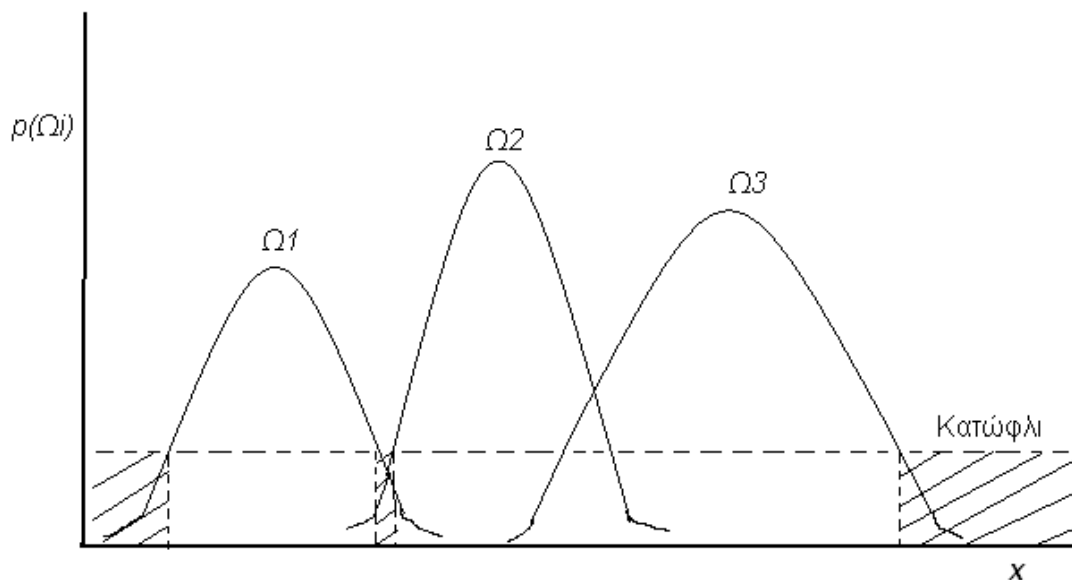
Το κριτήριο της μέγιστης πιθανοφάνειας, διατυπώνεται ως εξής:

$$x \in \Omega_i \text{ αν } p(\Omega_i | x) > p(\Omega_j | x) \text{ για κάθε } j \neq i \text{ (1)}$$

Ωστόσο αν η πιθανότητα  $p(\Omega_i | x)$  είναι πολύ μικρή, για παράδειγμα μικρότερη του 5%, δεν έχει νόημα να ταυτοποιηθεί το εικονοστοιχείο σε κάποια τάξη. Μικρές τιμές πιθανότητας  $p(\Omega_i | x)$  σημαίνουν ότι το διάνυσμα  $x$  βρίσκεται στα όρια μεταξύ δυο περιοχών ομαδοποίησης (clusters), ή στις παρυφές ενός cluster (Εικόνα 10). Θα πρέπει λοιπόν, πέρα από τη σχέση (1), να ικανοποιείται και η παρακάτω σχέση:

$$p(\Omega_i | x) > p\text{-κατωφλίου (2)}$$

Η  $p$ -κατωφλίου είναι η ελάχιστη τιμή πιθανότητας που πρέπει να αντιστοιχεί στο εικονοστοιχείο με διάνυσμα  $x$ , ώστε να ταυτοποιηθεί αυτό στην τάξη  $\Omega_i$ , με βάση τη σχέση (1).



**Εικόνα 10.** Ταξινόμηση με το κριτήριο μέγιστης πιθανοφάνειας, με βάση μια μόνο φασματική ζώνη (άξονας  $x$ ). Τα εικονοστοιχεία με τιμές φωτεινότητας στις γραμμοσκιασμένες περιοχές δεν ταξινομούνται γιατί η μέγιστη πιθανότητα  $p(\Omega_i)$  δεν υπερβαίνει την τιμή κατωφλίου ( $p$ -κατώφλι).



Οι σχέσεις (1) και (2) είναι η βάση πάνω στην οποία αναπτύσσεται η μέθοδος ταξινόμησης με το κριτήριο της μέγιστης πιθανοφάνειας.

### 4.3 Καθορισμός κλάσεων ταξινόμησης

Ο ορισμός των κλάσεων έγινε έχοντας ως βάση τις κατηγορίες κάλυψης γης του προγράμματος Corine Land Cover, το οποίο είναι ευρέως επιστημονικά αποδεκτό. Για την Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων επιλέχθηκαν συνολικά 6 κατηγορίες προς μελέτη. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι κλάσεις που θα χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία της ταξινόμησης των δορυφορικών εικόνων, καθώς και η αναλυτική περιγραφή τους.

**Πίνακας 5.** Ορισμός κλάσεων ταξινόμησης.

<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΚΛΑΣΕΩΝ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΕΙ</b>
<b>ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συνεχής αστικός ιστός</li> <li>• Ασυνεχής αστικός ιστός</li> <li>• Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες</li> <li>• Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα</li> <li>• Αεροδρόμια</li> <li>• Χώροι εξορύξεως ορυκτών</li> <li>• Χώροι οικοδόμησης</li> <li>• Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής</li> </ul>
<b>ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη</li> <li>• Μόνιμα αρδευόμενη γη</li> <li>• Λιβάδια</li> <li>• Σύνθετες καλλιέργειες</li> <li>• Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης</li> </ul>
<b>ΔΑΣΗ ΚΑΙ ΗΜΙΦΥΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δάσος πλατύφυλλων</li> <li>• Δάσος κωνοφόρων</li> <li>• Μικτό δάσος</li> </ul>
<b>ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΙΚΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Θάμνοι</li> <li>• Βοσκοτόπια</li> <li>• Σκληροφυλλική βλάστηση</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εκτάσεις με αραιή βλάστηση</li> </ul>
<b>ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΧΩΡΟΙ ΜΕ ΛΙΓΗ Ή ΚΑΘΟΛΟΥ ΒΛΑΤΗΣΗ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Απογυμνωμένοι βράχοι</li> <li>• Αποτεφρωμένες εκτάσεις</li> </ul>
<b>ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υδατορρεύματα</li> <li>• Επιφάνειες στάσιμου ύδατος (φυσικού και τεχνητού)</li> </ul>

Πηγή: Corine Land Cover, Ίδια επεξεργασία.

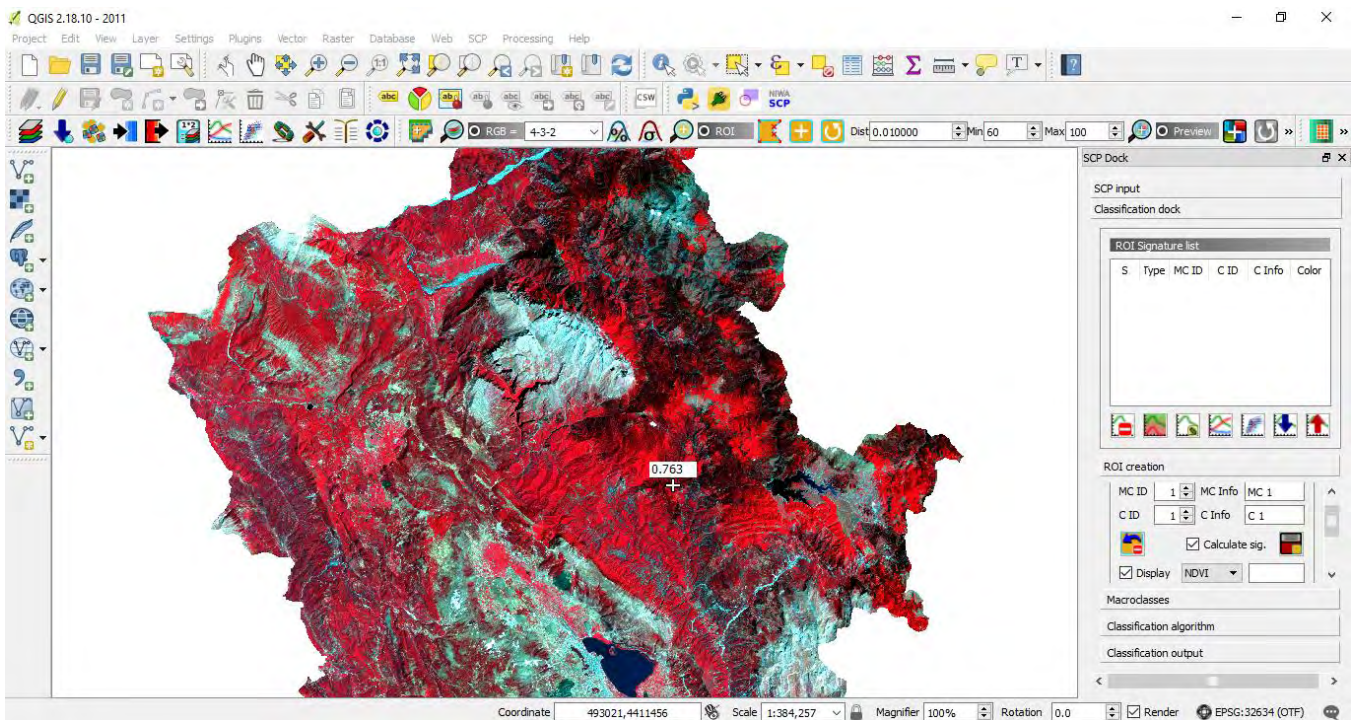
Σήμερα, τα διαθέσιμα δεδομένα καλύψεων γης του Corine είναι, του έτους 1990 από τον δορυφόρο Landsat-5, του έτους 2000 από τον δορυφόρο Landsat-7 ETM, του έτους 2006 από τους δορυφόρους SPOT-4/5 και IRS P6 LISS και του έτους 2012 από τους δορυφόρους IRS P6 LISS III και RapidEye.

Σε παρακάτω κεφάλαιο ενδεικτικά και σε τυχαίες χωρικά επιλεγμένες περιοχές θα εκτιμηθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με αναφορά τις κλάσεις κάλυψης γης του προγράμματος Corine για την Π.Ε. Ιωαννίνων.

#### 4.4 Δημιουργία περιοχών ενδιαφέροντος

Η επιλογή των περιοχών ενδιαφέροντος (Region of interest, ROI), είναι πολύ σημαντική για την ακρίβεια της ταξινόμησης. Οι δειγματοληπτικές περιοχές, αποτελούνται από ένα σύνολο εικονοστοιχείων, τα οποία αντιπροσωπεύουν στην εικόνα, αναγνωρίσιμες καλύψεις γης για κάθε μια από τις κλάσεις που έχουν οριστεί για τη διαδικασία εφαρμογής της ταξινόμησης. Για τον καθορισμό των ROI χρησιμοποιήθηκαν ως βοηθητικά υπόβαθρα και οι χάρτες από την ιστορική βάση δεδομένων του Google Earth και για τις τρεις δορυφορικές εικόνες για την Π.Ε. Ιωαννίνων.

Επιπλέον, κατά την ολοκλήρωση δημιουργίας των ROI, (Activate ROI pointer) από το μενού επιλογών του SCP, εμφανίζεται στο εικονοστοιχείο της εικόνας που βρίσκεται ο κέρσορας μία τιμή. (Εικόνα 11) Αυτή η τιμή είναι ο δείκτης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), του κάθε εικονοστοιχείου.



**Εικόνα 11.** Η τιμή NDVI του εικονοστοιχείου που εμφανίζεται στο χάρτη.

Ο δείκτης NDVI, υπολογίζεται για κάθε δορυφορική εικόνα από ένα κλάσμα που έχει ως τιμές, διαφορετικά, ανάλογα με τον δορυφόρο φασματικά κανάλια. Ο δείκτης ορίζεται ως:

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

Στην παρούσα διπλωματική εργασία τα δορυφορικά δεδομένα για την περιοχή μελέτης, όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι από τον δορυφόρο Landsat 5, άρα ο υπολογισμός του δείκτη NDVI ορίζεται ως εξής:

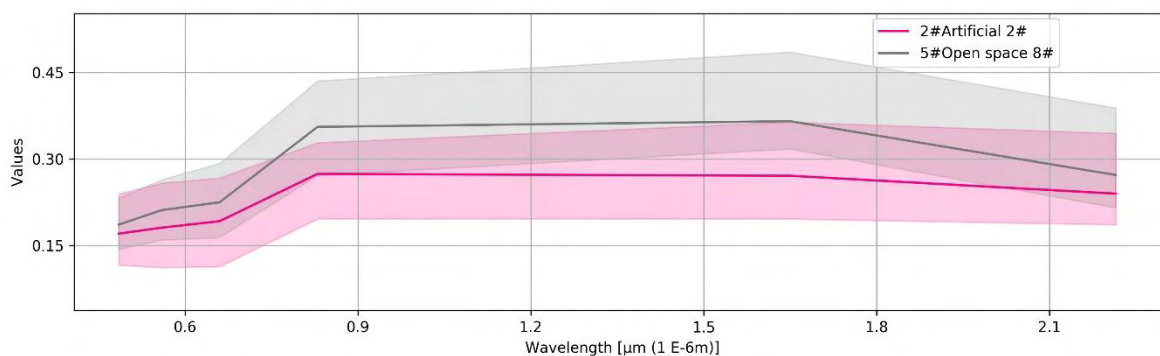
$$NDVI = ( Band 4 - Band 3 ) / ( Band 4 + Band 3 )$$

Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από -1 έως 1. Όσο πιο πυκνή και υγιής είναι η βλάστηση στο εικονοστοιχείο, τόσο πιο υψηλές τιμές παρουσιάζει ο κανονικοποιημένος δείκτης. Οι αρνητικές τιμές του δείκτη, αντιπροσωπεύουν τις υδάτινες επιφάνειες, τα σύννεφα και τις εκτάσεις που δεν εμφανίζεται βλάστηση.

## 4.5 Φασματικές υπογραφές

Έπειτα από τον καθορισμό των περιοχών εκπαίδευσης, απαραίτητο στάδιο πριν τη διαδικασία της ταξινόμησης είναι ο έλεγχος των φασματικών υπογραφών των κατηγοριών κάλυψης γης. Η φασματική υπογραφή παρέχει μια ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από ένα υλικό της γήινης επιφάνειας στον αντίστοιχο αισθητήρα του δορυφόρου. Η εξαγωγή του μέσου όρου των ραδιομετρικών τιμών όσο το δυνατό μεγαλύτερης συγκέντρωσης αριθμού pixels της ίδιας κάλυψης γης, θα δώσει ακριβέστερα αποτελέσματα για την ραδιομετρία της, από ότι ένας ελάχιστος αριθμός pixels.

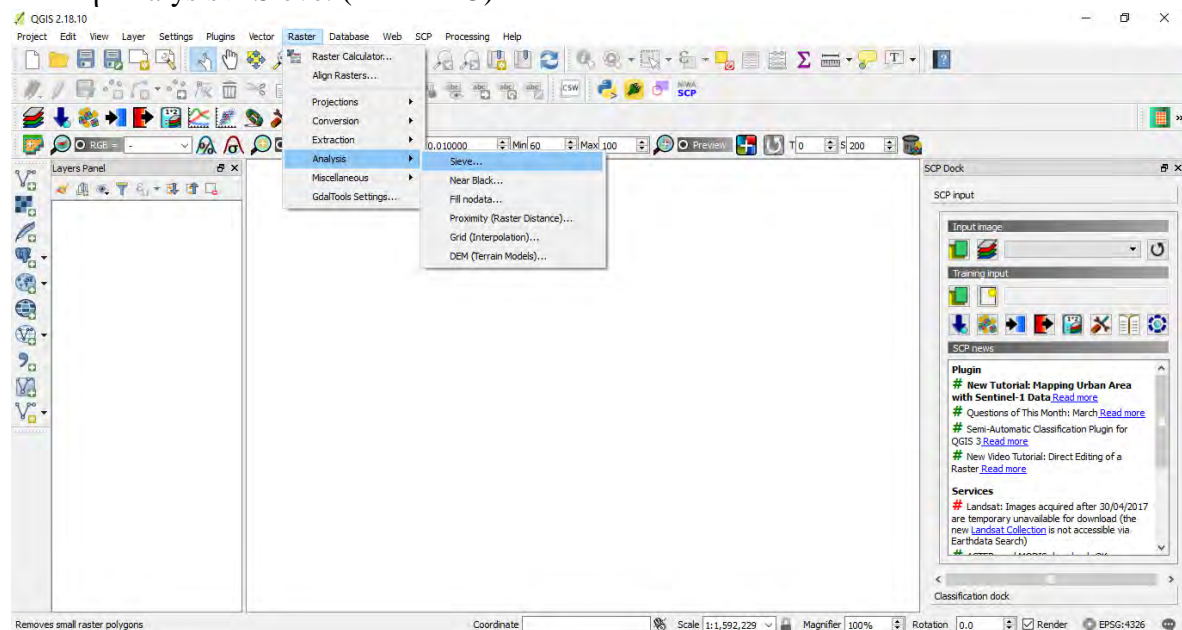
Οι φασματικές υπογραφές πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο διαφοροποιημένες μεταξύ τους, ώστε τα αποτελέσματα της ταξινόμησης να είναι πιο σωστά. Αυτό δεν είναι πάντα δυνατό, καθώς εξαρτάται από την κάθε κατηγορία, το πόσο μοιάζουν οι καλύψεις μεταξύ τους, αλλά και με το πόσο σωστά έχουν δημιουργηθεί οι δειγματοληπτικές περιοχές. Κατά τη διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, με την εφαρμογή του αλγόριθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood), παρατηρήθηκε ότι οι φασματικές υπογραφές της κλάσης των τεχνητών επιφανειών και αυτής των ανοιχτών χώρων με λίγη ή καθόλου βλάστηση είναι πολύ κοντά αριθμητικά, με κάποιες από αυτές μάλιστα να ταυτίζονται. Αυτό δημιούργησε μία σύγχυση στα αποτελέσματα των ταξινομήσεων, καθώς κυρίως οι περιοχές που αντιπροσωπεύουν τους ανοιχτούς χώρους ταξινομούνται στην κλάση των τεχνητών επιφανειών. Για να ελέγξουμε το πόσο διαφέρουν οι φασματικές υπογραφές όλων των καλύψεων γης, δημιουργούμε τα παρακάτω διαγράμματα στα οποία παρουσιάζονται συγκριτικά οι φασματικές υπογραφές τους. (Εικόνα 12)



**Εικόνα 12.** Φασματικές υπογραφές τεχνητής επιφάνειας και ανοιχτού χώρου με λίγη ή καθόλου βλάστηση.

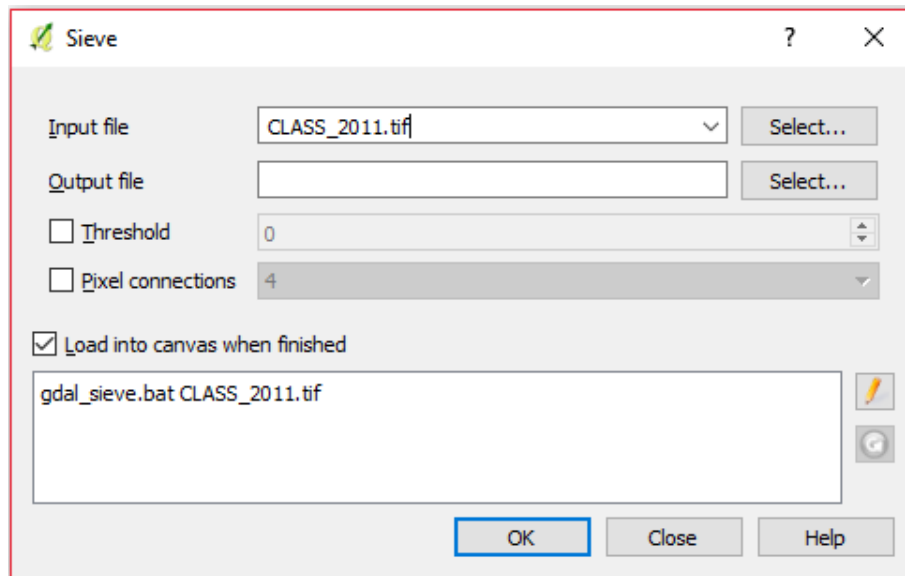
## 4.6 Βελτιστοποίηση αποτελεσμάτων ταξινόμησης

Στα αποτελέσματα των ταξινομημένων εικόνων, παρατηρούνται εικονοστοιχεία (pixels) τα οποία είτε έχουν ταξινομηθεί λανθασμένα λόγω παρόμοιας τιμής της φασματικής υπογραφής των αντίστοιχων κλάσεων, είτε λόγω αδυναμίας του αλγόριθμου να τα ταξινομήσει χωρικά και όχι ραδιομετρικά στη σωστή κλάση. Αυτό το πρόβλημα έχει δημιουργήσει μια σύγχυση στα αποτελέσματα των ταξινομήσεων, καθώς μικρές ομάδες εικονοστοιχείων εμφανίζονται σαν κηλίδες μέσα στις ταξινομημένες περιοχές. Αυτό παρατηρείται τόσο στις κλάσεις των τεχνητών επιφανειών και των ανοιχτών χώρων όσο και στις υπόλοιπες κλάσεις. Σε αυτό το στάδιο, κρίθηκε σκόπιμη μία πρόσθετη επεξεργασία των ταξινομημένων εικόνων. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε ενσωματώνει τα μικρά σε έκταση και αριθμό εικονοστοιχεία, σε ευρύτερες γειτονικές περιοχές. Η όλη διαδικασία πραγματοποιήθηκε με την εντολή Sieve του λογισμικού Quantum GIS, κατά την οποία εξετάζονται τα γειτονικά 4 ή 8 pixel για να προσδιοριστεί εάν το εικονοστοιχείο είναι ομαδοποιημένο με τα εικονοστοιχεία της ίδιας κλάσης. Εφόσον ο αριθμός των εικονοστοιχείων είναι μικρότερος από την τιμή που εισάγετε εκείνα τα εικονοστοιχεία θα αφαιρεθούν από την κλάση και θα ενσωματωθούν σε γειτονικές κλάσεις μεγαλύτερης έκτασης. Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν τα εξής, από την εργαλειοθήκη Raster του QGIS επιλέγουμε την εντολή Analysis > Sieve. (Εικόνα 13)

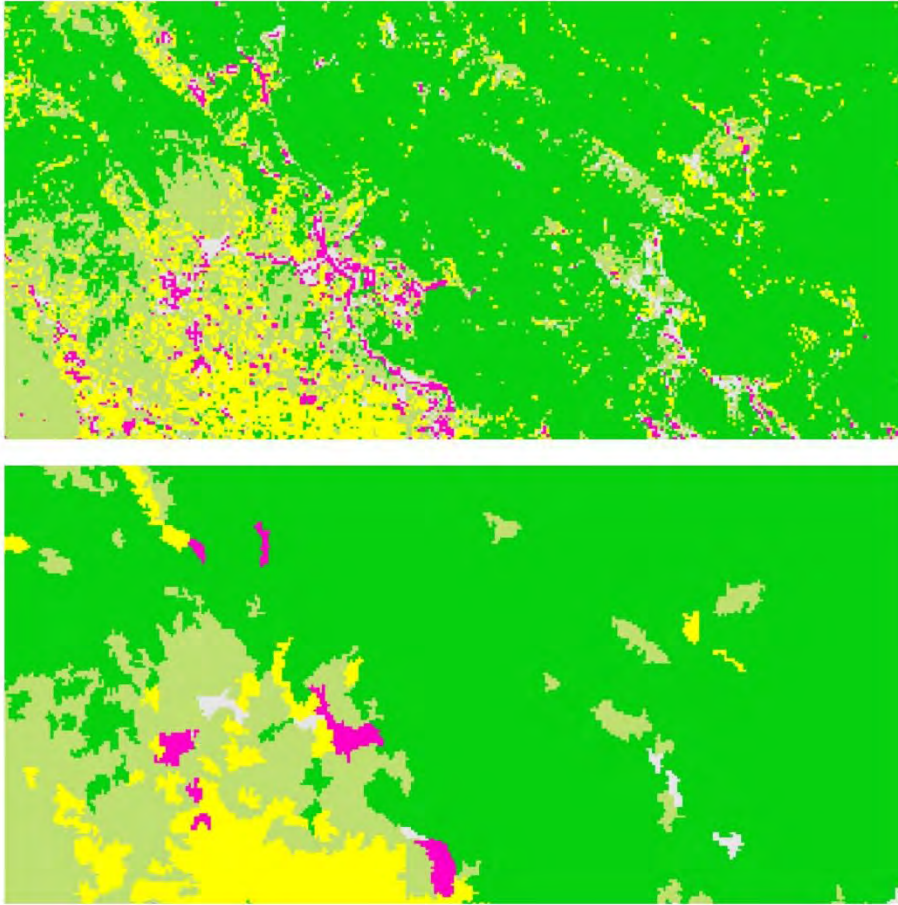


**Εικόνα 13.** Επιλογή εντολής Sieve στο περιβάλλον του QGIS.

Ανοίγοντας το παράθυρο της εντολής Sieve στο πεδίο Input file επιλέγουμε την ταξινομημένη εικόνα, έπειτα επιλέγεται το Threshold και το Pixel connections που θέλει ο χρήστης. (Εικόνα 14) Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας φαίνονται στην εικόνα 15.

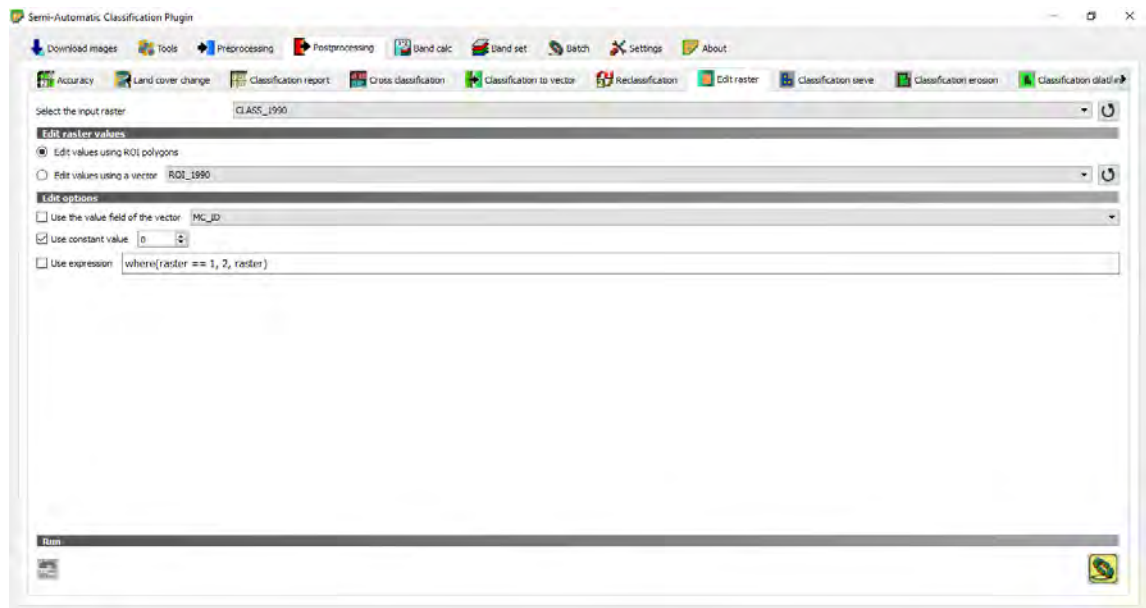


**Εικόνα 14.** Παράθυρο διαλόγου της εντολής Sieve στο QGIS.

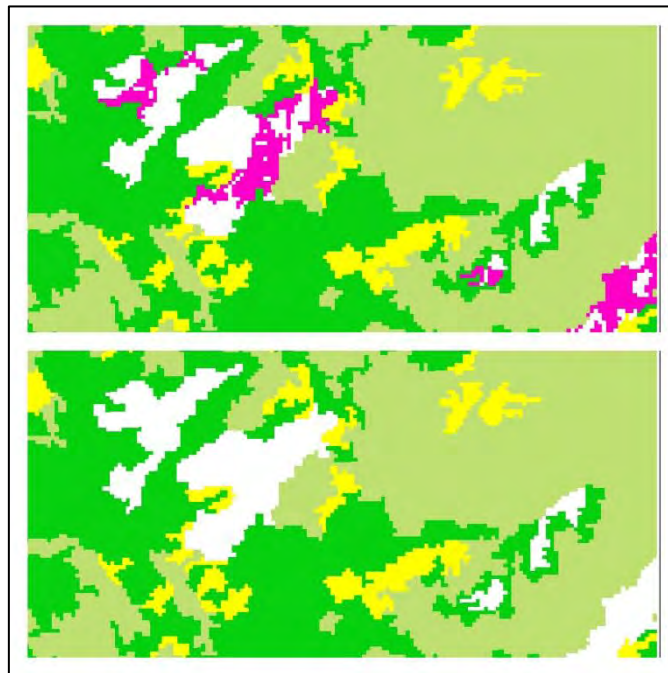


**Εικόνα 15.** Η αρχική ταξινομημένη εικόνα στο επάνω μέρος και η επεξεργασμένη με την εντολή Sieve στο κάτω.

Επιπλέον, στις δορυφορικές εικόνες παρατηρείται σε κάποια σημεία νεφοκάλυψη. Ο αλγόριθμος maximum likelihood, που εφαρμόστηκε κατά την ταξινόμηση δεν ταξινόμησε ικανοποιητικά όλα τα pixel της συγκεκριμένης κλάσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η εντολή Edit Raster του SCP, (Εικόνα 16) η οποία δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επαναταξινομήσει τα εικονοστοιχεία που έχουν ταξινομηθεί λανθασμένα στην τελική ταξινομημένη εικόνα. Δύο τρόποι υπάρχουν που μπορεί να πραγματοποιηθεί η διόρθωση των pixels, είτε με την επιλογή edit value using ROI polygons, όπου ο χρήστης επιλέγει τα pixels που θέλει να διορθώσει και βάζει στο πεδίο use constant value την κλάση που επιθυμεί να ταξινομηθούν, είτε με την εντολή use expression, όπου για τη διόρθωση χρησιμοποιείτε η έκφραση που αναγράφεται στο αντίστοιχο πεδίο, στην οποία μετά το σύμβολο της ισότητας “=” ο πρώτος αριθμός που γράφεται αντιπροσωπεύει την κλάση των pixel που θα διορθωθούν και θα αντικατασταθούν με τον δεύτερο αριθμό που εμφανίζεται, ο οποίος αντιπροσωπεύει την κλάση που επιθυμεί ο χρήστης να ταξινομηθούν. (Εικόνα 17)



*Εικόνα 16.* Διόρθωση pixel με την εντολή Edit raster του SCP.



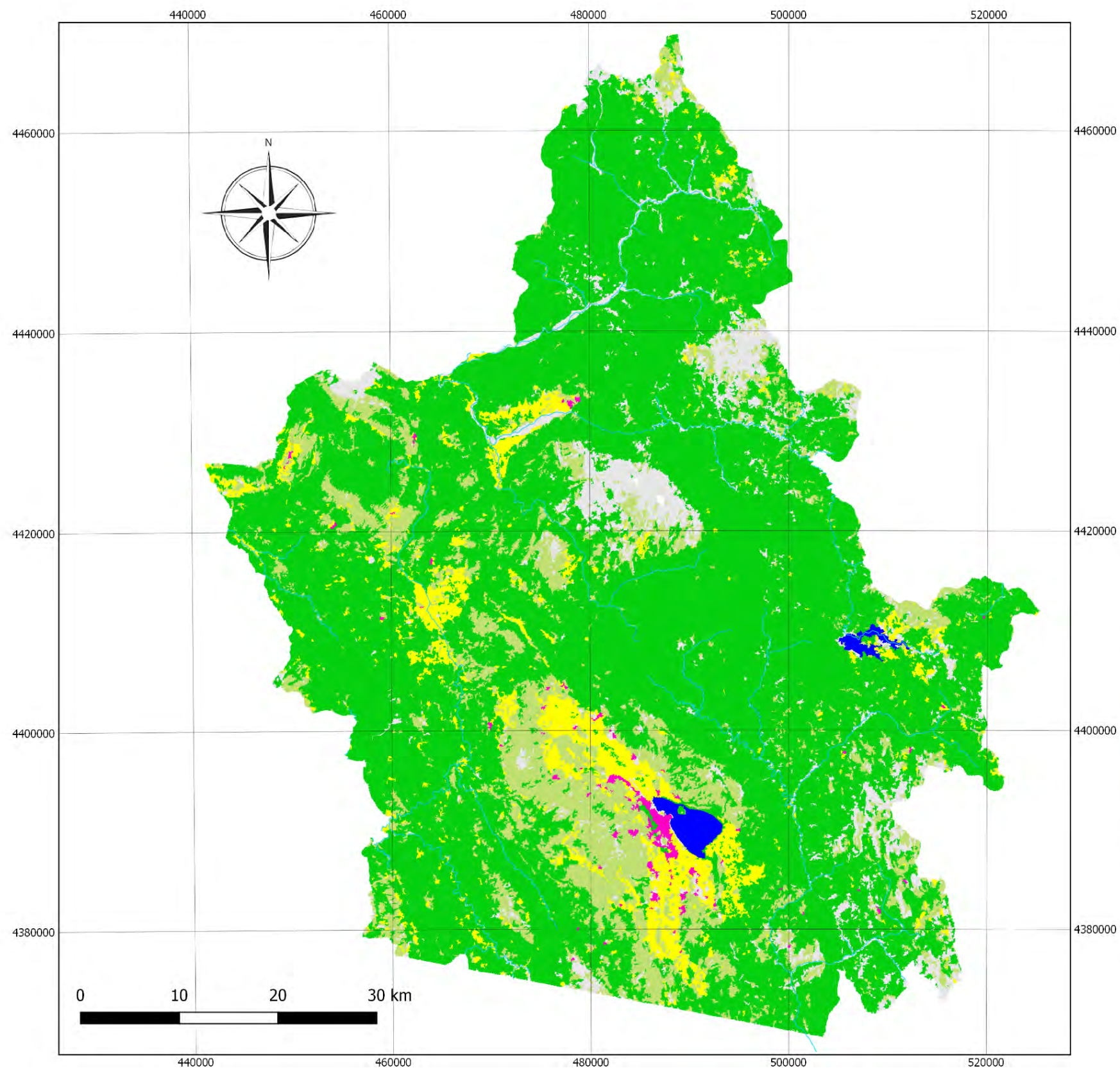
*Εικόνα 17.* Νεφοκάλυψη στην επεξεργασμένη με την εντολή Sieve εικόνα στο επάνω μέρος και η νεφοκάλυψη μετά την εντολή Edit raster στο κάτω.



## 4.7 Θεματικοί ταξινομημένοι χάρτες

Ο αλγόριθμος ταξινόμησης που θα εφαρμοστεί για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα είναι αυτός της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, το κάθε <<άγνωστο>> pixel ταξινομείται, υπολογίζοντας την πιθανότητά του να ανήκει σε μια συγκεκριμένη κλάση κάλυψης γης, δηλαδή την μέγιστη πιθανοφάνεια που καθορίζεται από την τιμή της πιθανότητάς του. Παρακάτω παρουσιάζονται για τις χρονολογίες 1990, 2003 και 2011, οι επεξεργασμένοι με την εντολή Sieve θεματικοί χάρτες, αλλά και οι μη επεξεργασμένοι, όπως ακριβώς δηλαδή εξάχθηκαν έπειτα από την εφαρμογή του αλγόριθμου της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Θεματικός χάρτης 1990



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**



Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας  
& Περιφερειακής Ανάπτυξης



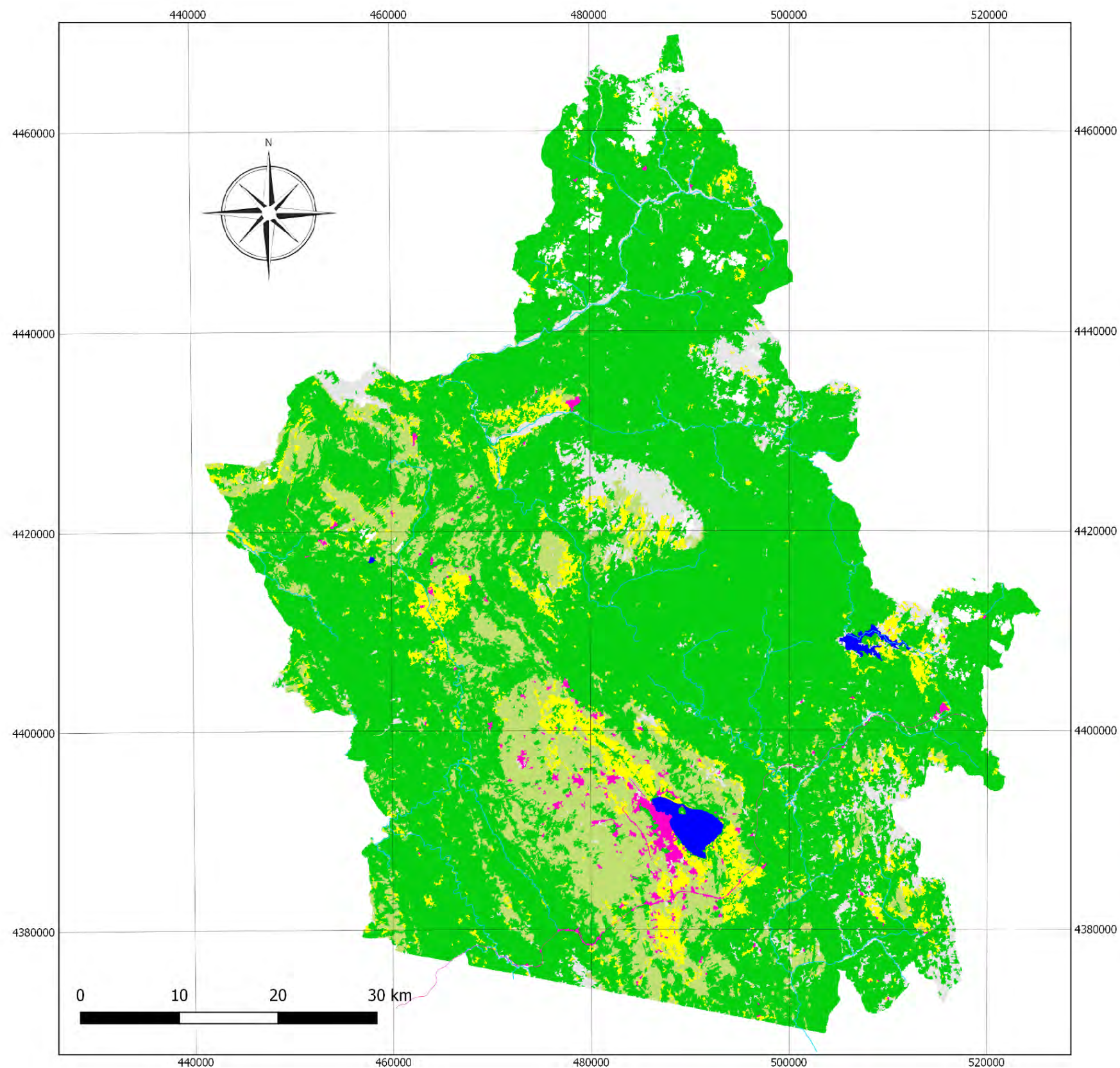
**Ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για το έτος 1990**

- Υδρογραφικό δίκτυο
- Επιφάνειες στάσιμου ύδατος (φυσικές - τεχνητές)
- Τεχνητές επιφάνειες
- Γεωργικές περιοχές
- Χορτολιβαδικές εκτάσεις
- Δάση και ημιφυσικές περιοχές
- Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή σχεδόν καθόλου βλάστηση
- Νεφοκάλυψη - Σκιές

Λυδία Νταλαμάγκα	Βόλος 2018
------------------	------------

Γεωγραφικό Σύστημα Συντεταγμένων WGS 84 / zone 34N

Θεματικός χάρτης 2003



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**



Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης



**Ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για το έτος 2003**

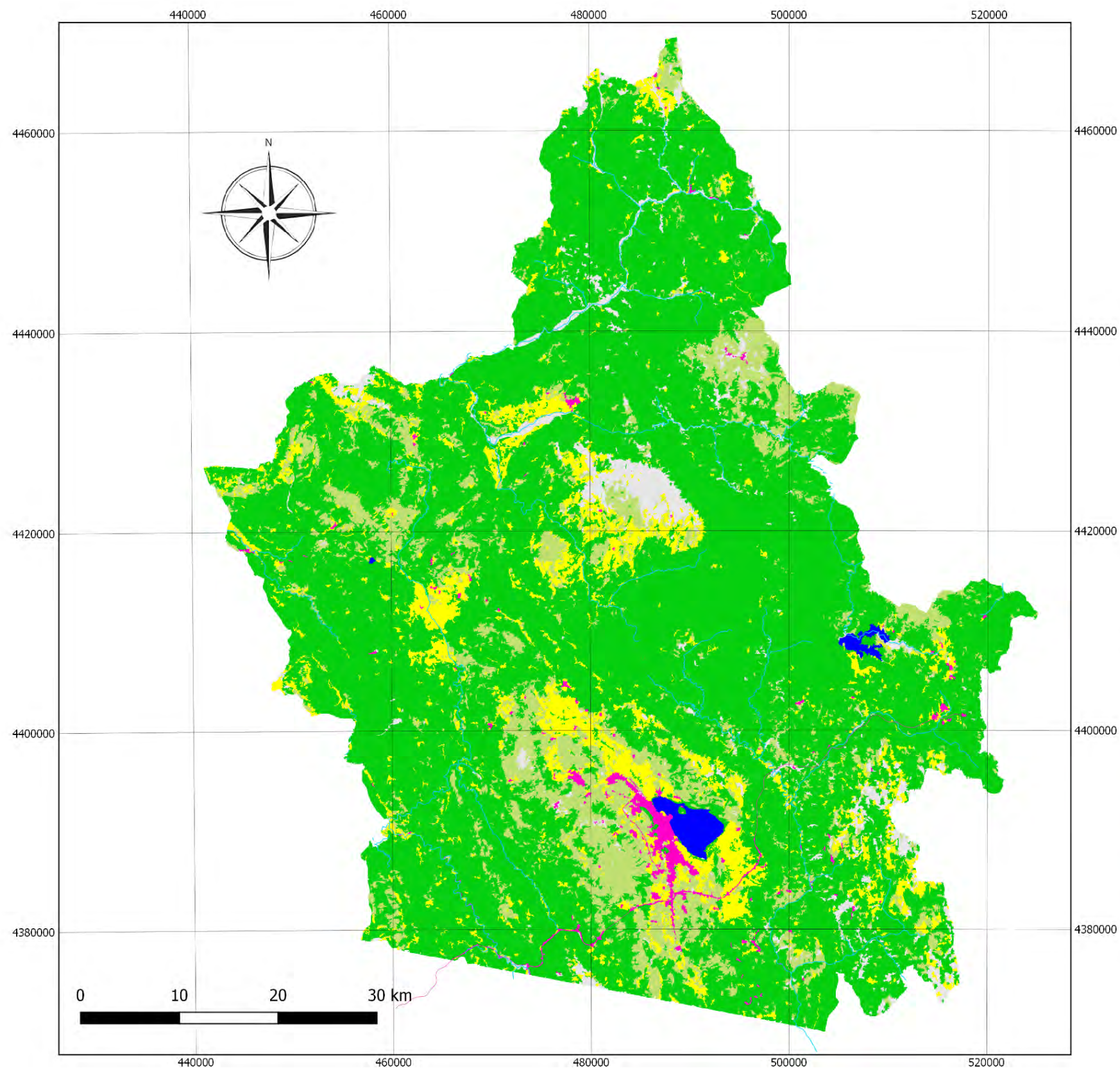
- Υδρογραφικό δίκτυο
- Εγνατία οδός
- Επιφάνειες στάσιμου ύδατος (φυσικές - τεχνητές)
- Τεχνητές επιφάνειες
- Γεωργικές περιοχές
- Χορτολιβαδικές εκτάσεις
- Δάση και ημιφυσικές περιοχές
- Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή σχεδόν καθόλου βλάστηση
- Νεφοκάλυψη - Σκιές

Λυδία Νταλαμάγκα

Βόλος 2018

Γεωγραφικό Σύστημα Συντεταγμένων WGS 84 / zone 34N

Θεματικός χάρτης 2011











**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**



Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης



**Ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για το έτος 2011**

-  Υδρογραφικό δίκτυο
-  Εγνατία οδός
-  Επιφάνειες στάσιμου ύδατος (φυσικές - τεχνητές)
-  Τεχνητές επιφάνειες
-  Γεωργικές περιοχές
-  Χορτολιβαδικές εκτάσεις
-  Δάση και ημιφυσικές περιοχές
-  Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή σχεδόν καθόλου βλάστηση

Λυδία Νταλαμάγκα

Βόλος 2018

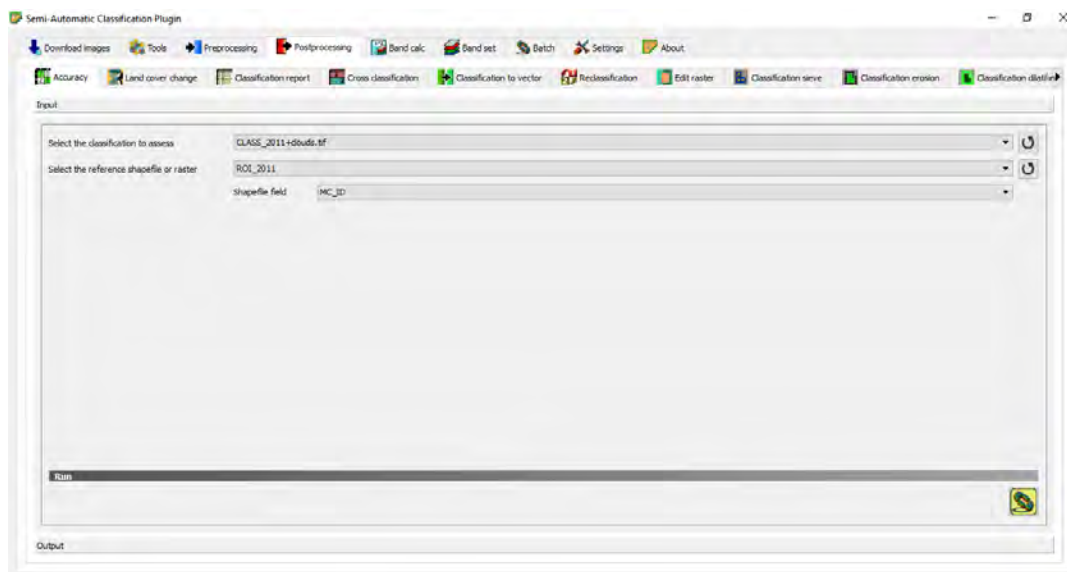
Γεωγραφικό Σύστημα Συντεταγμένων WGS 84 / zone 34N

## 4.8 Έλεγχος ακρίβειας της ταξινόμησης

Ο Lillesand, όπως και πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι *‘Η ταξινόμηση δεν είναι πλήρης μέχρι την αποτίμηση της ακρίβειάς της. ‘* (Lillesand, 2007) Τελευταίο στάδιο της διαδικασίας της ταξινόμησης αποτελεί ο έλεγχος της ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Κανένας αλγόριθμος ταξινόμησης δεν εγγυάται απόλυτη ακρίβεια αποτελεσμάτων. Ένα εικονοστοιχείο μίας κατηγορίας μπορεί να αντιστοιχηθεί εσφαλμένα σε άλλη κατηγορία κατά την ταξινόμηση. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων της, η οποία εξετάζεται με τη δημιουργία ενός πίνακα σφαλμάτων (error matrix). Ο πίνακας είναι τετραγωνικός με αριθμό στηλών και γραμμών ίσο με των υπαρχουσών κατηγοριών καλύψεων/χρήσεων γης. Στη παρούσα μελέτη, οι γραμμές του πίνακα σφαλμάτων περιέχουν δεδομένα από το πρόγραμμα Corine Land Cover, τα οποία είναι ευρέως αποδεκτά για την ακρίβειά τους και οι στήλες του περιέχουν τα αποτελέσματα που έδωσε ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood), κατά την διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Αρχικά με τη χρήση της εντολής ROI έγινε προσδιορισμός των σημείων ελέγχου, έχοντας ως υπόβαθρο τους χάρτες του προγράμματος Corine (Θεματικοί χάρτες Corine σελ. 61-63) για το κάθε έτος αντίστοιχα. (Εικόνα 18) Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι στο θεματικό χάρτη του Corine 1990, παρατηρείται ότι δεν εμφανίζεται η τεχνητή λίμνη του Αώου η οποία δημιουργήθηκε το 1987. Αυτό μπορεί να έχει συμβεί γιατί τα δεδομένα για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών του Corine 1990 έχουν παρθεί πριν τη συγκεκριμένη χρονολογία.

Στη συνέχεια, από την εργαλειοθήκη του Semi-Automatic Classification από την εντολή Postprocessing επιλέγεται η εντολή Accuracy. Στο πεδίο select the classification to assess φορτώνεται η ταξινομημένη εικόνα για την οποία θα γίνει ο έλεγχος ακρίβειας και στο πεδίο select the reference shapefile or raster φορτώνεται το αρχείο με τα σημεία ελέγχου.



**Εικόνα 18.** Παρουσίαση αποτελεσμάτων ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης.

Το πρόγραμμα αυτοματοποιημένα παράγει ένα σύνολο αποτελεσμάτων, το οποίο περιλαμβάνει τον πίνακα σφαλμάτων (error matrix), την συνολική ακρίβεια (overall accuracy), το στατιστικό συντελεστή Καρρα (K), την ακρίβεια του υποβάθρου αναφοράς (producer accuracy) και την ακρίβεια του υποβάθρου-αποτελέσματος του χρήστη, στη συγκεκριμένη περίπτωση της ταξινομημένης εικόνας (user accuracy). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για όλα τα έτη στους παρακάτω πίνακες.

Οι τιμές του στατιστικού συντελεστή Καρρα (K), όπως φαίνεται και από τους πίνακες πλησιάζουν τη μονάδα, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ταξινόμηση και τα δεδομένα αναφοράς συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό.

Η διαφορά που παρουσιάζεται μεταξύ της ολικής ακρίβειας και του στατιστικού συντελεστή K, οφείλεται στο γεγονός ότι η μεν ολική ακρίβεια περιλαμβάνει για τον υπολογισμό της μόνο τα διαγώνια στοιχεία του πίνακα, ενώ ο συντελεστής K τα διαγώνια αλλά και τα μη διαγώνια στοιχεία.

**Πίνακας 6.** Αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 1990.

Δεδομένα ταξινόμησης (pixels)  Δεδομένα δειγματοληψίας (pixels)	Λίμνη	Τεχνητές επιφάνειες	Γεωργικές περιοχές	Χορτολιβαδικές εκτάσεις	Δάση & Ημι-φυσικές περιοχές	Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	Νεφοκάλυψη - Σκιές	Σύνολο
Λίμνη	59	0	0	0	0	0	0	59
Τεχνητές επιφάνειες	0	26	0	0	0	2	0	28
Γεωργικές περιοχές	0	0	41	6		0	0	47
Χορτολιβαδικές εκτάσεις	0	0	3	70	5	0	0	78
Δάση & Ημι-φυσικές περιοχές	0	0	5	5	120	0	0	130
Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	0	5	0	0	0	36	0	41
Νεφοκάλυψη - Σκιές	0	0	0	0	0	0	55	55
Σύνολο	59	31	49	81	125	38	55	438

<b>Κλάσεις</b>	<b>Producer accuracy [%]</b>	<b>User accuracy [%]</b>
Λίμνη	100.00	100.00
Τεχνητές επιφάνειες	83.87	92.86
Γεωργικές περιοχές	83.67	87.23
	86.42	89.74
Δάση & Ημι-φυσικές περιοχές	96.00	92.31
Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	94.74	87.80
Νεφοκάλυψη - Σκιές	100.00	100.00

<b>Overall accuracy</b>	92.92%
<b>Kappa hat classification</b>	0.9141



**Πίνακας 7.** Αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2003.

Δεδομένα ταξινόμησης (pixels)  Δεδομένα δειγματοληψίας (pixels)	Λίμνη	Τεχνητές επιφάνειες	Γεωργικές περιοχές	Χορτολιβαδικές εκτάσεις	Δάση & Ημι-φυσικές περιοχές	Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	Νεφοκάλυψη - Σκιές	Σύνολο
Λίμνη	40	0	0	0	0	0	0	40
Τεχνητές επιφάνειες	0	26	0	0	0	5	0	31
Γεωργικές περιοχές	0	0	36	6	0	0	0	42
Χορτολιβαδικές εκτάσεις	0	0	1	70	8	0	0	79
Δάση & Ημι-φυσικές περιοχές	0	0	3	0	102	0	0	105
Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	0	3	0	0	0	34	0	37
Νεφοκάλυψη - Σκιές	0	0	0	0	0	0	10	10
Σύνολο	40	29	40	76	110	39	10	344

Κλάσεις	Producer accuracy [%]	User accuracy [%]
Λίμνη	100.00	100.00
Τεχνητές επιφάνειες	89.66	83.87
Γεωργικές περιοχές	90	85.71
Χορτολιβαδικές εκτάσεις	92.11	88.61
Δάση & Ημι-φυσικές περιοχές	92.73	97.14
Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	87.18	91.89
Νεφοκάλυψη - Σκιές	100.00	100.00

<b>Overall accuracy</b>	<b>92.44%</b>
<b>Kappa hat classification</b>	<b>0.9059</b>

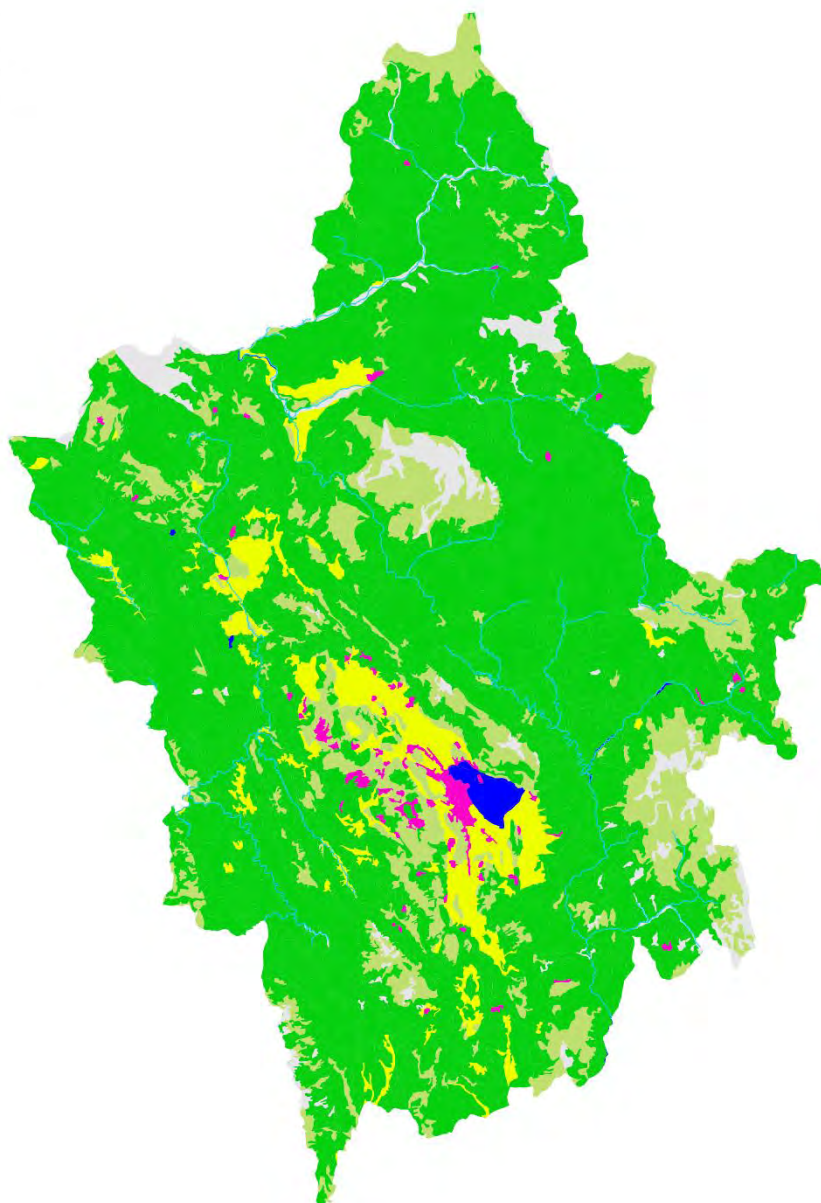
**Πίνακας 8.** Αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2011.

Δεδομένα ταξινόμησης (pixels)  Δεδομένα δειγματοληψίας (pixels)	Λίμνη	Τεχνητές επιφάνειες	Γεωργικές περιοχές	Χορτολιβαδικές εκτάσεις	Δάση & Ημι-φυσικές περιοχές	Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	Νεφοκάλυψη - Σκιές	Σύνολο
Λίμνη	45	0	0	0	0	0	0	45
Τεχνητές επιφάνειες	0	14	0	0	0	3	0	17
Γεωργικές περιοχές	0	0	62	5	0	0	0	67
Χορτολιβαδικές εκτάσεις	0	0	3	49	8	0	0	60
Δάση & Ημι-φυσικές περιοχές	0	0	0	4	130	0	0	134
Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	0	1	0	0	2	28	0	31
Νεφοκάλυψη - Σκιές	0	0	0	0	0	0	5	5
<b>Σύνολο</b>	45	15	65	58	140	31	5	<b>359</b>

<b>Κλάσεις</b>	<b>Producer accuracy [%]</b>	<b>User accuracy [%]</b>
Λίμνη	100.00	100.00
Τεχνητές επιφάνειες	93.33	82.35
Γεωργικές περιοχές	95.38	92.54
Χορτολιβαδικές εκτάσεις	84.48	81.67
Δάση & Ημι-φυσικές περιοχές	92.86	97.01
Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	90.32	90.32
Νεφοκάλυψη - Σκιές	100.00	100.00

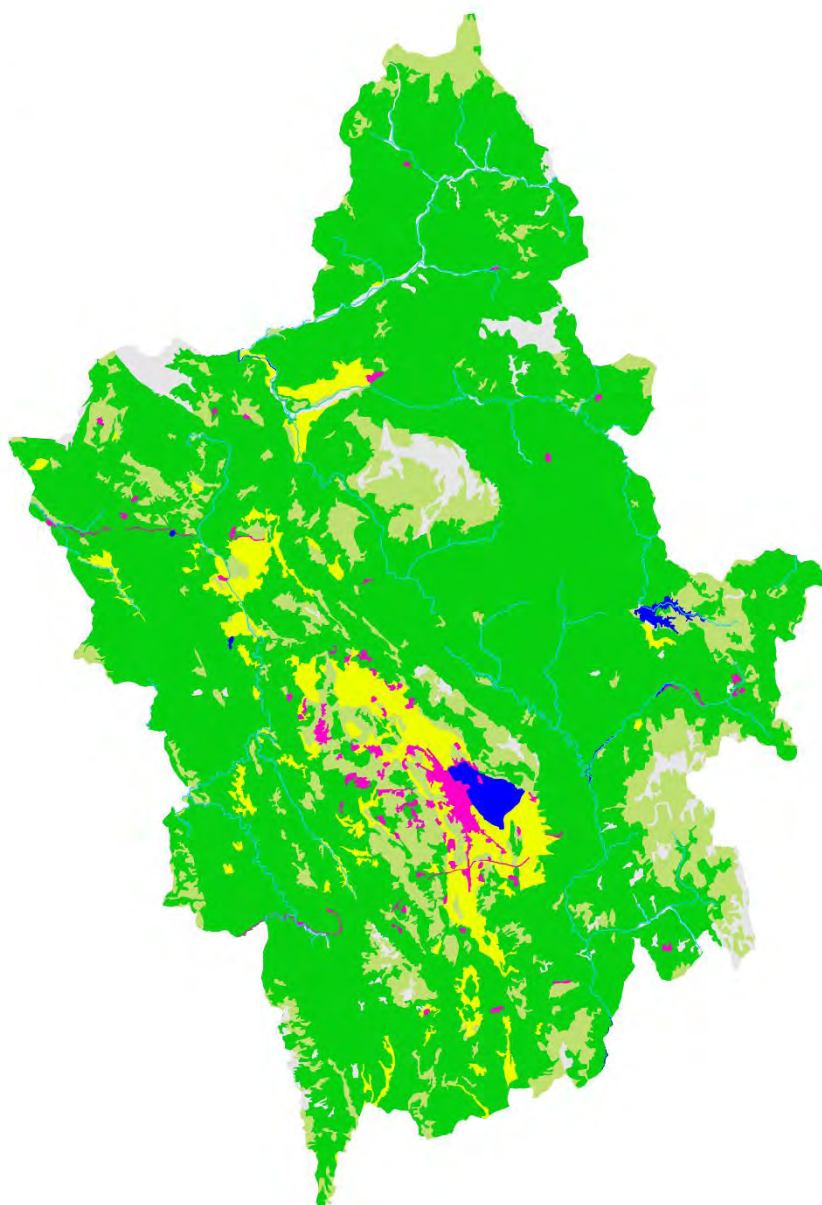
<b>Overall accuracy</b>	<b>92.76%</b>
<b>%Kappa hat classification</b>	<b>0.9057</b>

Θεματικός χάρτης Corine Land Cover 1990.



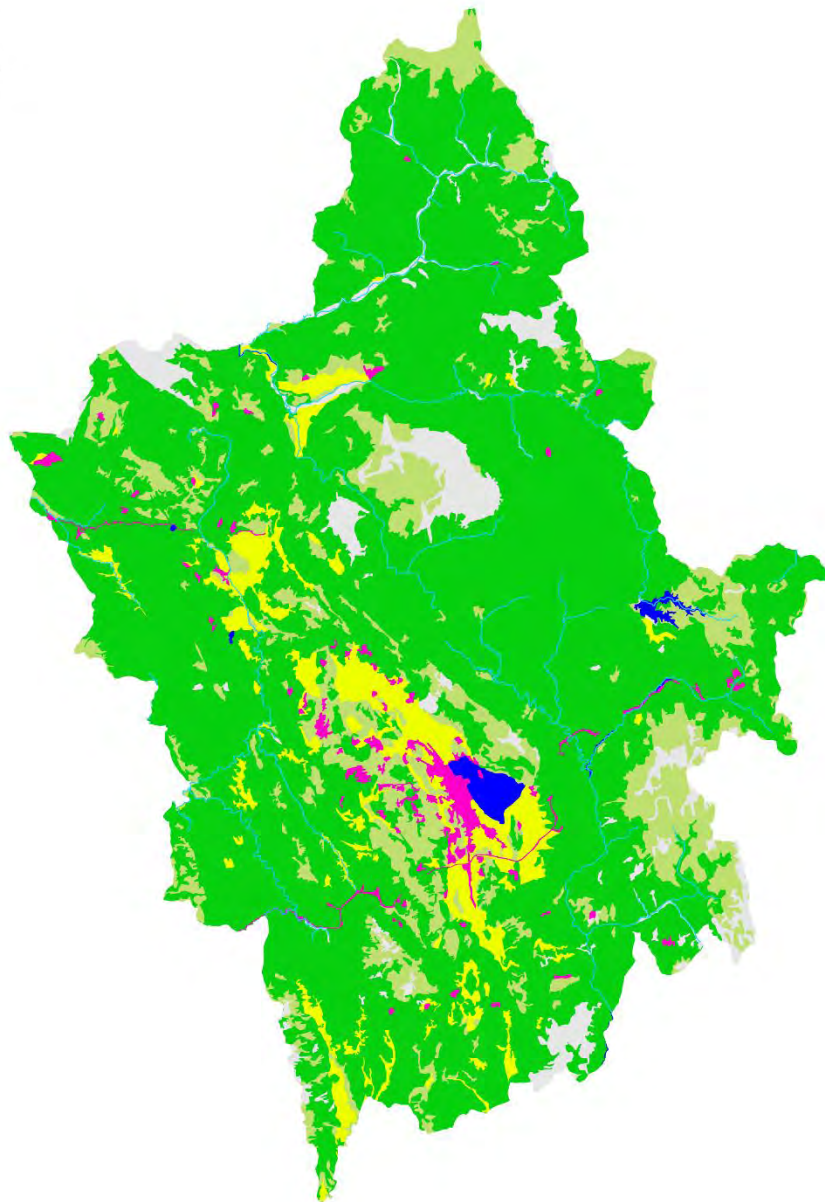
- Υδρογραφικό δίκτυο
- Επιφάνειες στάσιμου ύδατος (φυσικές - τεχνητές)
- Τεχνητές επιφάνειες
- Γεωργικές περιοχές
- Χορτολιβαδικές εκτάσεις
- Δάση και ημιφυσικές περιοχές
- Ανοιστοί χώροι με λίγη ή σχεδόν καθόλου βλάστηση

Θεματικός χάρτης Corine Land Cover 2000.



- Υδρογραφικό δίκτυο
- Επιφάνειες στάσιμου ύδατος (φυσικές - τεχνητές)
- Τεχνητές επιφάνειες
- Γεωργικές περιοχές
- Χορτολιβαδικές εκτάσεις
- Δάση και ημιφυσικές περιοχές
- Ανοιστοί χώροι με λίγη ή σχεδόν καθόλου βλάστηση

Θεματικός χάρτης Corine Land Cover 2012.



- Υδρογραφικό δίκτυο
- Επιφάνειες στάσιμου ύδατος (φυσικές - τεχνητές)
- Τεχνητές επιφάνειες
- Γεωργικές περιοχές
- Χορτολιβαδικές εκτάσεις
- Δάση και ημιφυσικές περιοχές
- Ανοιστοί χώροι με λίγη ή σχεδόν καθόλου βλάστηση

## 5. Συζήτηση αποτελεσμάτων/Συμπεράσματα

Η αύξηση της τεχνολογίας έχει συνεισφέρει σημαντικά στην επιστημονική έρευνα. Η συνεχή εξέλιξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και της Τηλεπισκόπησης έχει δώσει ώθηση στις Γεωεπιστήμες και στην επιστημονική παρατήρηση διαχρονικών αλλαγών της γήινης επιφάνειας. Η έγκαιρη και ακριβής ανίχνευσή τους είναι σημαντική για την κατανόηση των σχέσεων και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ανθρώπινων δράσεων και φυσικού περιβάλλοντος, προκειμένου να εκτιμήσουμε τη μελλοντική τους εξέλιξη.

Τα δεδομένα της Τηλεπισκόπησης αποτελούν πρωταρχικές πηγές που χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανίχνευση των αλλαγών τις τελευταίες δεκαετίες. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκαν οι διαχρονικές αλλαγές της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων, με την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων Landsat ίδιας εποχής, αλλά διαφορετικών ετών.

Το γενικό συμπέρασμα που εξάγεται, από τα στοιχεία που προκύπτουν από τις ταξινομημένες εικόνες είναι ότι η κυρίαρχη κάλυψη γης της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων και για τις τρεις χρονολογίες είναι οι Δασικές και Ημι-φυσικές περιοχές. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη γεωμορφολογική διαμόρφωση της Περιφερειακής Ενότητας, καθώς σύμφωνα με το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα οι ορεινές περιοχές καταλαμβάνουν το 85,28% της.

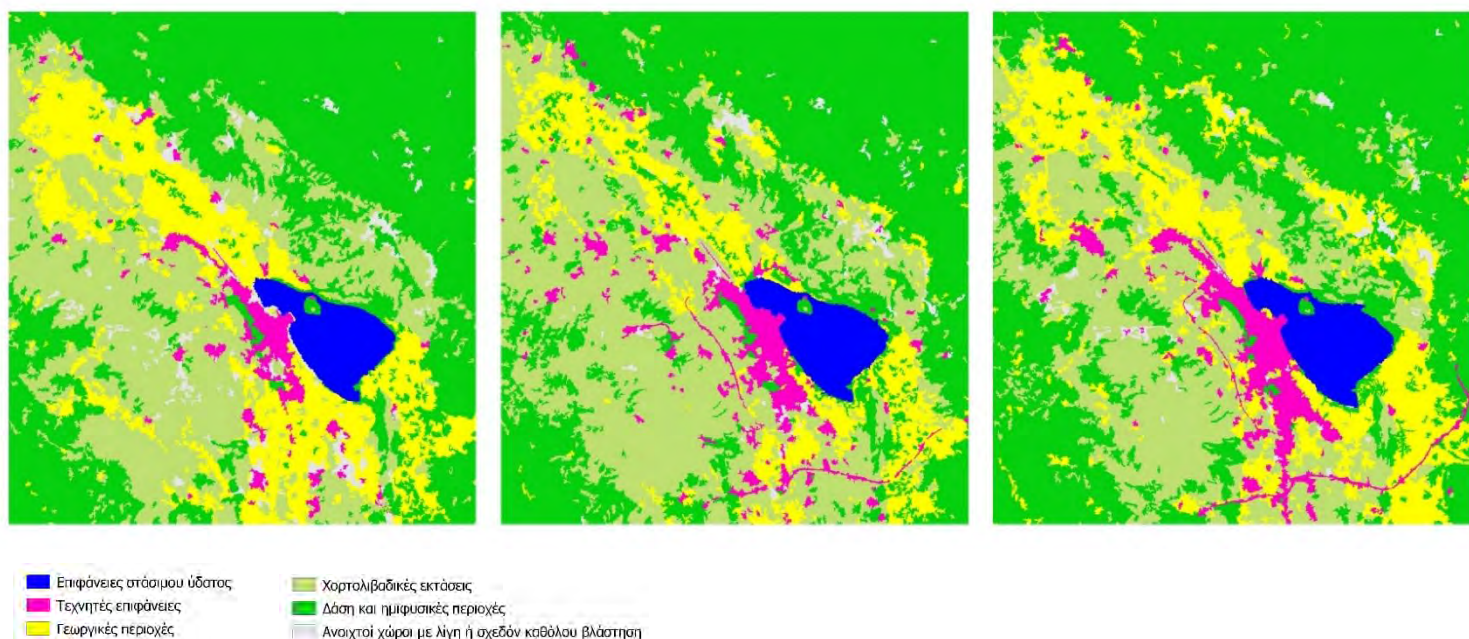
Η συγκεκριμένη κάλυψη γης για το έτος 1990 καταλαμβάνει ποσοστό ίσο με 72.44%, στη συνέχεια παρατηρείται για το έτος 2003, μία μικρή αύξηση καθώς το ποσοστό κάλυψης της συγκεκριμένης κλάσης είναι της τάξεως του 73.10% ενώ για το έτος 2011 η αύξηση συνεχίζεται με το ποσοστό κάλυψης της συγκεκριμένης κλάσης να ανέρχεται στο 74.38%.

Η επόμενη κατηγορία καλύψεων γης είναι οι γεωργικές εκτάσεις στις οποίες παρατηρείται αύξηση της τάξεως του 0.50% από το 1990 στο 2003 με τα ποσοστά τους να ανέρχονται στο 4.61% και 5.11% αντίστοιχα. Αύξηση όμως παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη κλάση τη χρονολογία του 2011, με ποσοστό 7.71% καθώς παρατηρείται μετατροπή των χορτολιβαδικών εκτάσεων σε γεωργικές εκτάσεις. (Εικόνες 23, 24)

Οι τεχνητές επιφάνειες της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων έχουν αυξητική τάση. Συγκεκριμένα παρατηρείται ανάπτυξη στο νοτιοδυτικό τμήμα του Δήμου Ιωαννιτών



όπου βρίσκονται οι Δημοτικές Ενότητες Ιωαννίνων και Ανατολής. Στο κομμάτι αυτό βρίσκονται τα Τ.Ε.Ι., το Πανεπιστήμιο και το Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο των Ιωαννίνων, αλλά αποτελεί και τμήμα εισόδου και εξόδου για την Π.Ε. καθώς εκεί τέμνονται οι δύο μεγάλοι Ευρωπαϊκοί οδικοί άξονες της Ιόνιας και της Εγνατίας οδού. Για τις υπόλοιπους Δήμους της Π.Ε. Ιωαννίνων δεν παρατηρείται διαχρονικά ιδιαίτερη αύξηση της αστικής τους κάλυψης. Το ποσοστό κάλυψης της συγκεκριμένης κλάσης για την Π.Ε. ανέρχεται στο 0.55% για το έτος 1990, στο 0.86% για το έτος 2003 και στο 1.38% για το 2011. Στην εικόνα 19 παρατηρείται πώς η αστική διάχυση εισχωρεί στις πιο ευαίσθητες περιβαλλοντικά περιοχές.



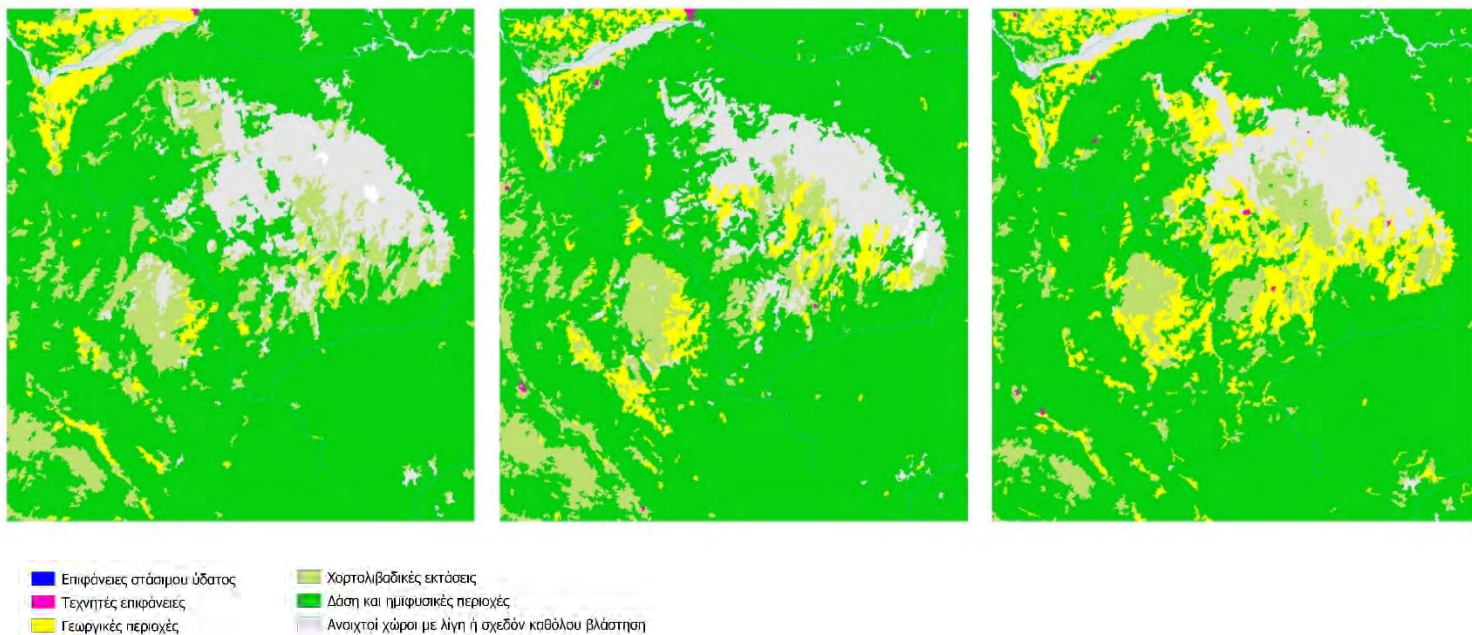
**Εικόνα 19.** Απεικόνιση αστικής διάχυσης της πόλης των Ιωαννίνων.

Οι χορτολιβαδικές εκτάσεις μεταξύ του 1990 και του 2003 παρουσιάζουν πτωτική τάση της τάξης του 1.11%, ενώ από το 2003 μέχρι το 2011 παρατηρείται μείωση της τάξης του 2.63%. Οι αλλαγές αυτές προήλθαν από την μετατροπή των χορτολιβαδικών εκτάσεων σε τεχνητές και γεωργικές επιφάνειες, καθώς όπως παρατηρείται στην εικόνα 19, η αστική διάχυση της πόλης των Ιωαννίνων είναι τέτοια που τείνει να εισχωρεί στις περιβαλλοντικά ευαίσθητες εκτάσεις που βρίσκονται περιστασιακά της πόλης, με αποτέλεσμα την αλληλοκάλυψη και την μείωση τους διαχρονικά. Επίσης οι χορτολιβαδικές εκτάσεις δύναται να αποδώσουν στην πρωτογενή παραγωγή, όπως η κτηνοτροφία η οποία αποτελεί παραδοσιακά ενασχόληση των κατοίκων της περιοχής. Από τα αποτελέσματα αυτά κι από το γεγονός ότι παρατηρείται διαχρονική μείωση της πρωτογενούς παραγωγής, σύμφωνα με το Επιχειρησιακό Ηπείρου 2015-2019

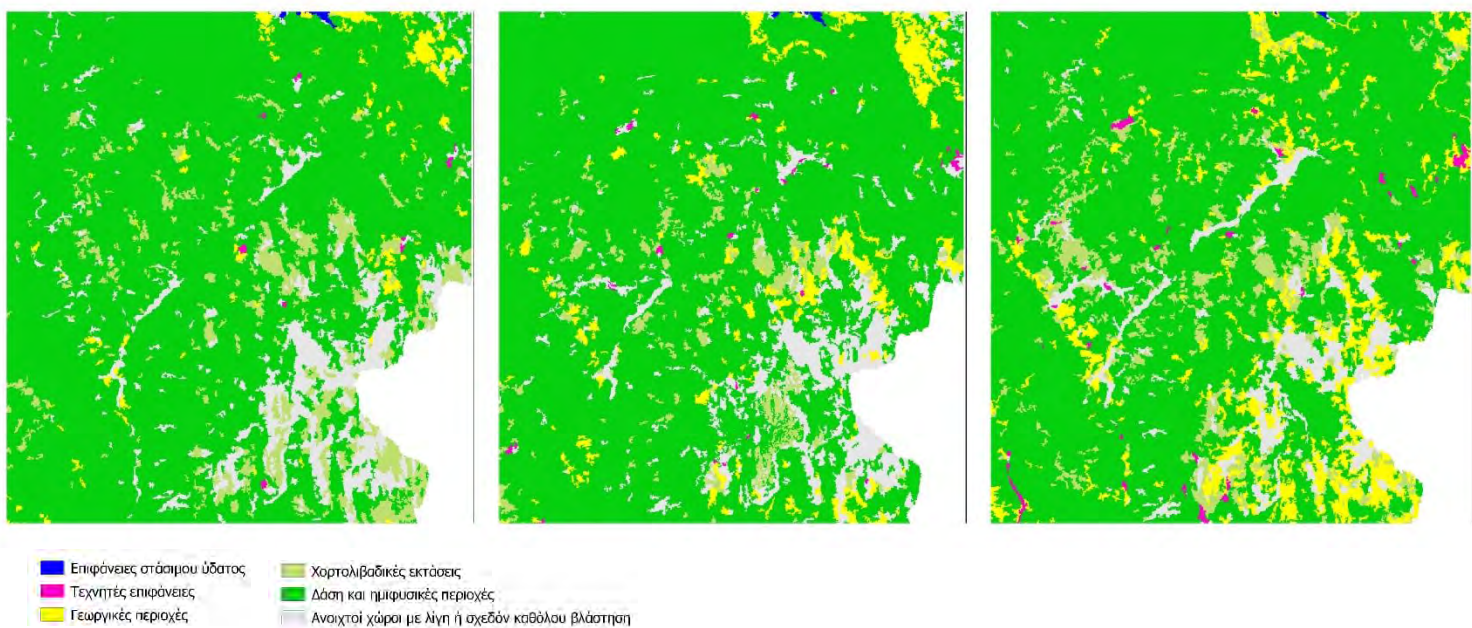
(Διάγραμμα 4), μπορούμε να θεωρήσουμε ότι βασικό αίτιο της μείωσης της εξάπλωσης των χορτολιβαδικών εκτάσεων, είναι ο περιορισμός της αιγοβοσκής για το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα στη περιοχή μελέτης.

Οι Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση όπου η συγκέντρωσή τους παρατηρείται επί το πλείστον σε περιοχές με υψηλό υψόμετρο, παρουσιάζουν πτωτική τάση. Το 1990 το ποσοστό τους είναι της τάξης του 6.80%, το 2003 φτάνει στο 5.15% ενώ το 2011 το ποσοστό του υποχωρεί στο 4.69%. Από τις εικόνες 21, 22 φαίνεται ότι μετατρέπονται κυρίως σε χορτολιβαδικές και γεωργικές εκτάσεις.

Με τα παραπάνω στατιστικά αποτελέσματα που εξάγονται από τη διαδικασία της ταξινόμησης, γίνονται αντιληπτές οι τάσεις που προκύπτουν για την περιοχή μελέτης, οι οποίες δύναται να υποστηρίξουν αποφάσεις που σχετίζονται με τον άνθρωπο, το περιβάλλον και την οικονομία ή ακόμα και να δημιουργήσουν την ανάγκη για χάραξη μίας νέας στρατηγικής πολιτικής για την ανάπτυξη της Περιφερειακή Ενότητας στο μέλλον.



**Εικόνα 20.** Απεικόνιση των διαχρονικών αλλαγών των Γεωργικών εκτάσεων, των Χορτολιβαδικών εκτάσεων και των Δασών και Ημι-φυσικών περιοχών.



**Εικόνα 21.** Απεικόνιση των διαχρονικών αλλαγών των Γεωργικών εκτάσεων, των Χορτολιβαδικών εκτάσεων και των Δασών και Ημι-φυσικών περιοχών.

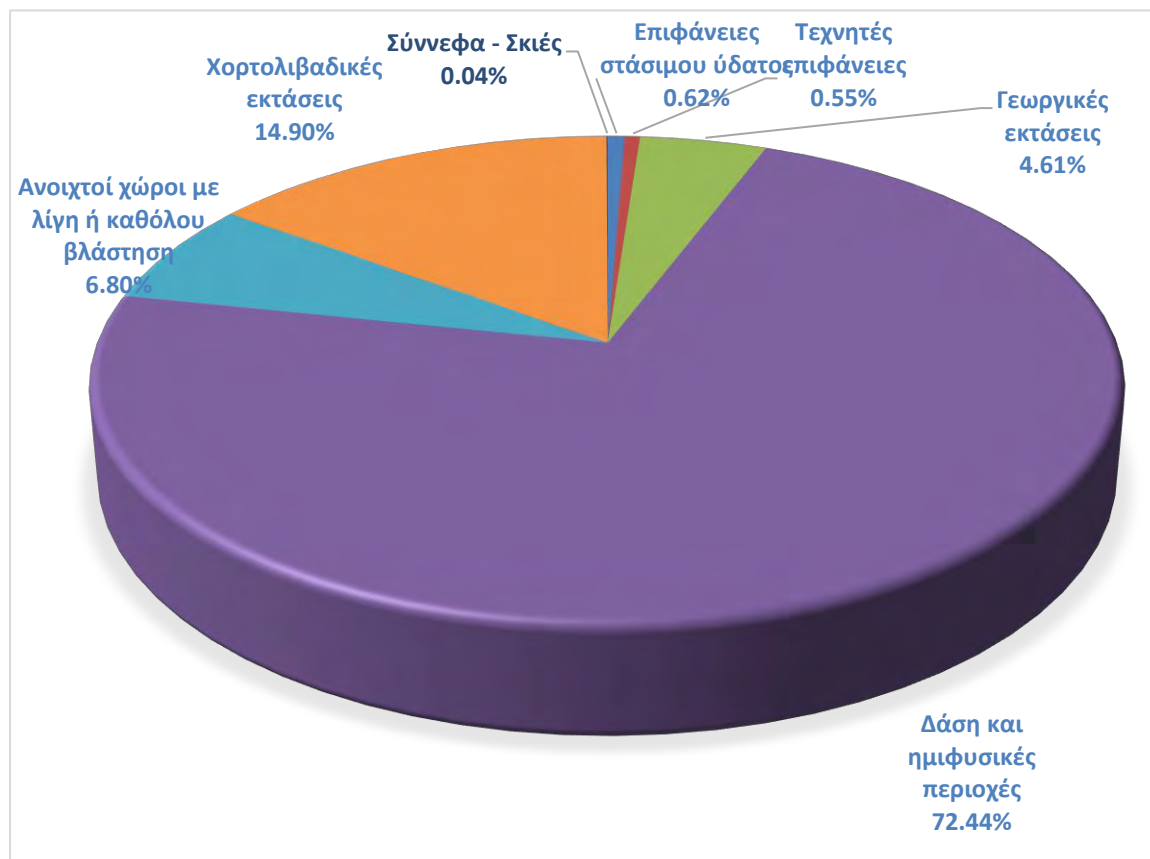
## Στατιστικά αποτελέσματα ταξινόμησης

**Πίνακας 9.** Αποτελέσματα κατανομής καλύψεων γης με τη μέθοδο maximum likelihood για το έτος 1990.

ΚΛΑΣΕΙΣ	Επιφάνειες στάσιμου ύδατος	Τεχνητές επιφάνειες	Γεωργικές εκτάσεις	Δάση και ημιφυσικές περιοχές	Χορτολιβαδικές εκτάσεις	Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	Σύννεφα - Σκιές
Ποσοστό κάλυψης	0.62%	0.55%	4.61%	72.44%	14.9%	6.80%	0.04%
Έκταση (στρ.)	27.789	24.651	206.713	3.246.816	667.829	304.943	1.793

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

**Διάγραμμα 6.** Ποσοστιαία κατανομή καλύψεων γης Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων για το έτος 1990.



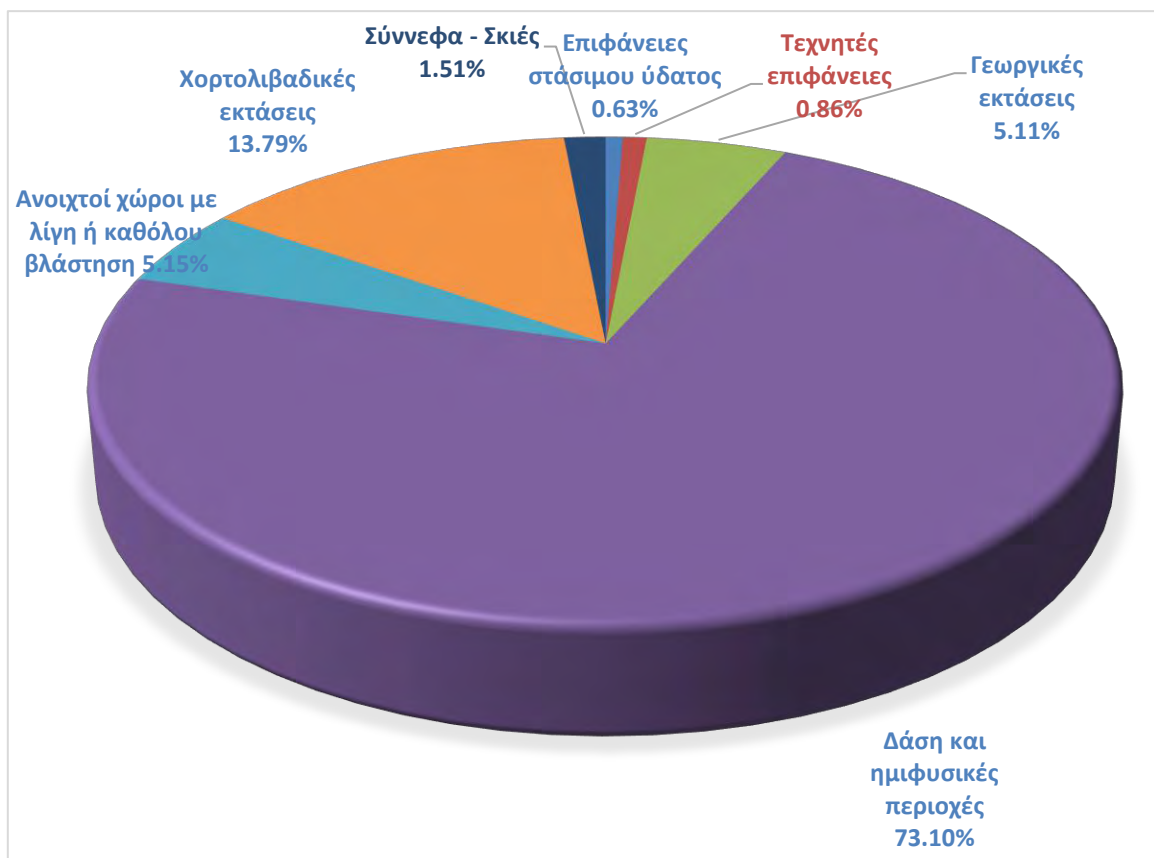
Πηγή: Ιδία επεξεργασία

**Πίνακας 10.** Αποτελέσματα κατανομής καλύψεων γης με τη μέθοδο maximum likelihood για το έτος 2003.

ΚΛΑΣΕΙΣ	Επιφάνειες στάσιμου ύδατος	Τεχνητές επιφάνειες	Γεωργικές εκτάσεις	Δάση και ημιφυσικές περιοχές	Χορτολιβαδικές εκτάσεις	Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	Σύννεφα - Σκιές
Ποσοστό κάλυψης	0.63%	0.86%	5.11%	73.10%	13.79%	5.15%	1.51%
Έκταση (στρ.)	28.102	38.666	229.034	3.276.398	618.078	230.827	67.679

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

**Διάγραμμα 7.** Ποσοστιαία κατανομή καλύψεων γης Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων για το έτος 2003



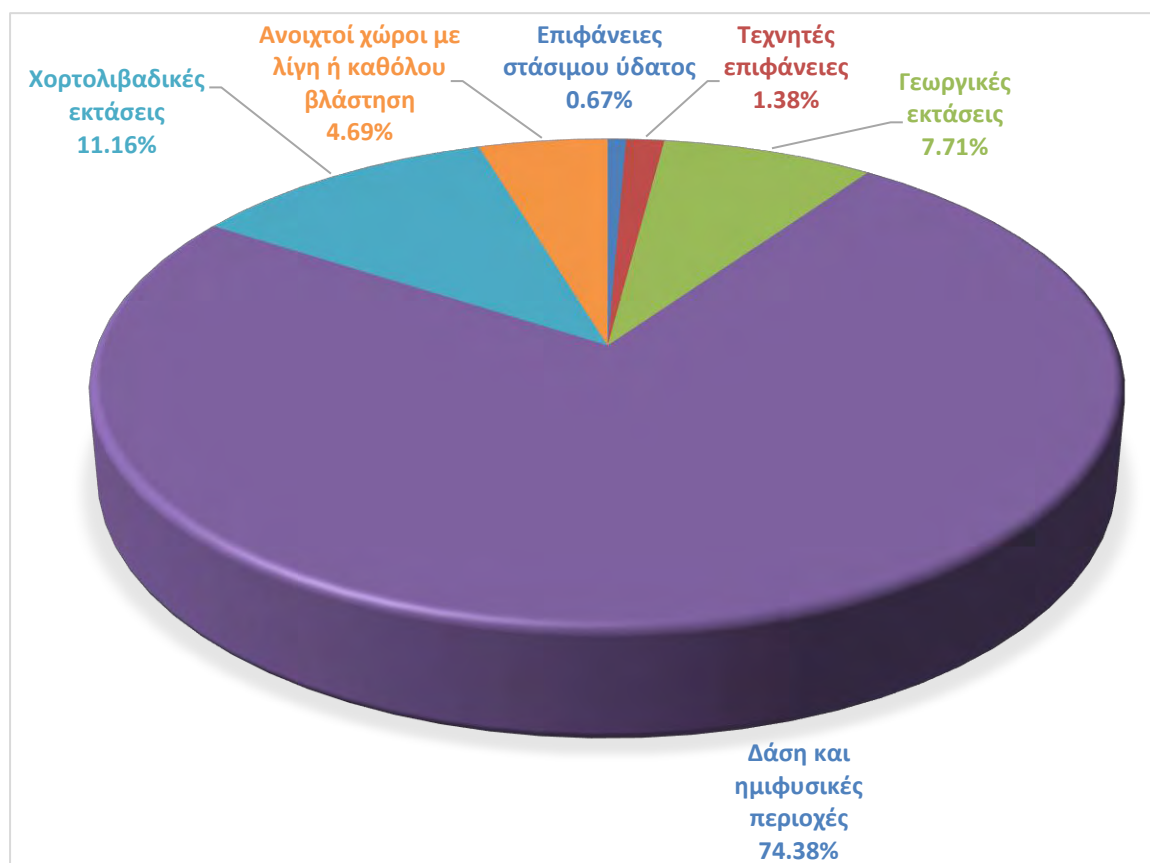
Πηγή: Ιδία επεξεργασία

**Πίνακας 11.** Αποτελέσματα κατανομής καλύψεων γης με τη μέθοδο maximum likelihood για το έτος 2011.

ΚΛΑΣΕΙΣ	Επιφάνειες στάσιμου ύδατος	Τεχνητές επιφάνειες	Γεωργικές εκτάσεις	Δάση και ημιφυσικές περιοχές	Χορτολιβαδικές εκτάσεις	Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση
Ποσοστό κάλυψης	0.67%	1.38%	7.71%	74.38%	11.16%	4.69%
Έκταση (στρ.)	30.030	61.853	345.568	3.333.768	500.200	210.209

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

**Διάγραμμα 8.** Ποσοστιαία κατανομή καλύψεων γης Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων για το έτος 2011

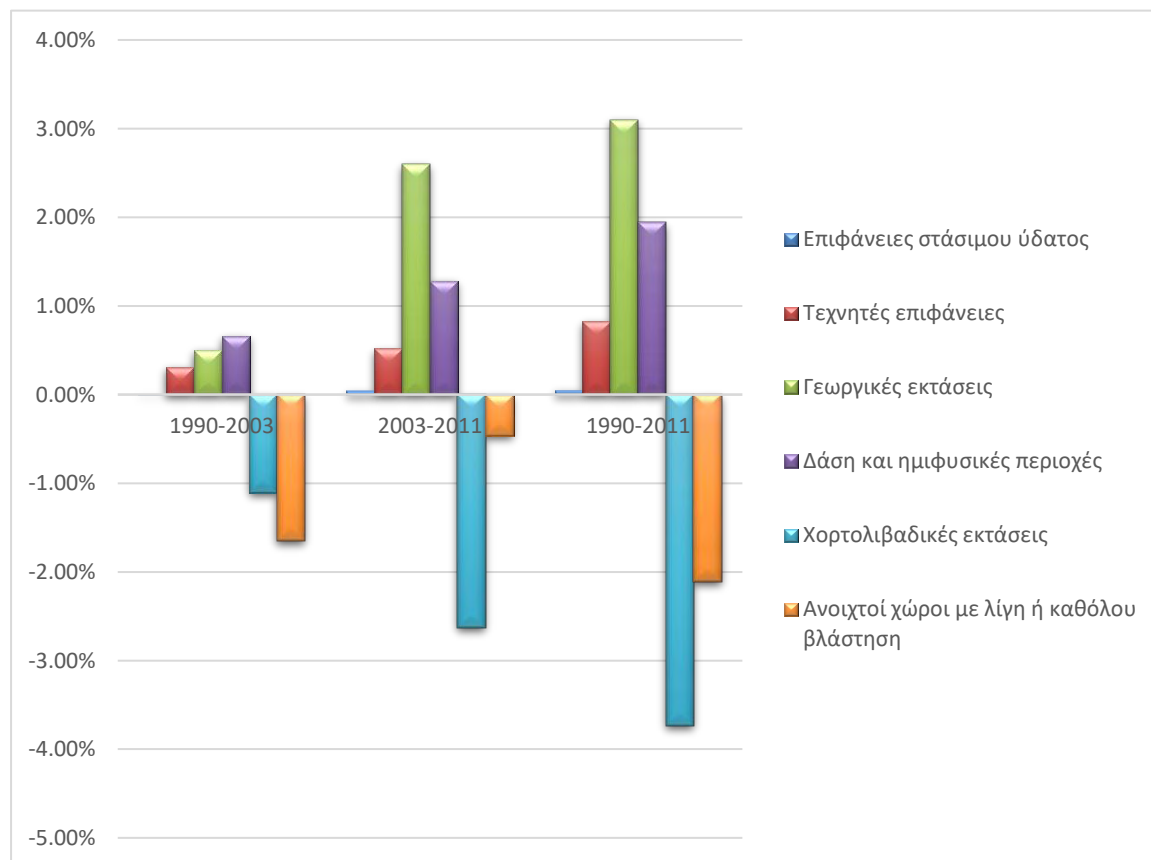


Πηγή: Ιδία επεξεργασία

**Πίνακας 12.** Ποσοστιαίες μεταβολές καλύψεων γης.

ΚΛΑΣΕΙΣ	1990-2003	2003-2011	1990-2011
Επιφάνειες στάσιμου ύδατος	0.01%	0.04%	0.05%
Τεχνητές επιφάνειες	0.31%	0.52%	0.83%
Γεωργικές εκτάσεις	0.50%	2.60%	3.10%
Δάση και ημιφυσικές περιοχές	0.51%	1.43%	1.94%
Χορτολιβαδικές εκτάσεις	-1.11%	-2.63%	-3.74%
Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	-1.65%	-0.46%	-2.11%

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

**Διάγραμμα 9.** Ποσοστιαίες μεταβολές καλύψεων γης 1990-2003, 2003-2011, 1990-2011.

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

## Πηγές Τεκμηρίωσης

### Ξένη Βιβλιογραφία

Abdullah S.A., & Nakagoshi, N. (2006), <<Changes in landscape spatial pattern in the highly developing state of Selangor, peninsular Malaysia>>, *Landscape and Urban Planning*, 77(3), pp.263–275.

Ashbindu S. (1989), *Review Article Digital Change Detection techniques using remotely-sensed data*, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10, No. 6, pp. 989-1003.

Attri P., Smita C., Sharma S., (2015), <<Remote Sensing &GIS based Approaches for LULC Change Detection>>, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3130/Vol. 5, No.5,

Campbell B.J., (2002), <<Introduction to Remote Sensing>>, 3d edition, Virginia Polytechnic Institute and State University, The Guilford Publications Press, New York, London.

Congalton R.G., & Green K. (1999), <<Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices>>, *CRC Press Taylor & Francis Group*.

Congalton, R.G., 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classification of Remotely Sensed Data a Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 4257 pp.34–46.

Hayder Abd Al-Razzaq Abd1, Husam Abdulrasool Alnajjar (2013). <<Maximum Likelihood for Land-Use/Land-Cover Mapping and Change Detection Using Landsat Satellite Images: A Case Study “South Of Johor” Geo-spatial Information Science Research Center (GIS RC), Faculty of Engineering, University Putra Malaysia, 43400 UPM, Serdang, Selangor, Malaysia 2Department of Civil, Faculty of Engineering, University Putra Malaysia, Serdang, Malaysia, 43400 UPM, Serdang, Selangor, Malaysia, *International Journal of Computational Engineering Reserch* | |Vol, 03| | /Issue, 6| p.2-33.

D. Lu, P. Mausel, E. Brondizio&E. Moran, (2002), <<Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA>>, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, No. 13, pp. 2651-2671.

Fuller R.M., Groom G.B., Jonew A.R., (1994), << Land cover map of Great Britain. An automated classification of Landsat Thematic Mapper data>>, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60 (5), pp. 553-562.

Herold, M. (2010), <<Change detection and time series analysis>>, *Wageningen University*.



John A. Richards, Xiuping Jia, (2006) <<Remote Sensing Digital Image Analysis, 4th Edition>>, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Lu D., Mausel P., Brondizios E., and Moran E. (2004). <<Change Detection Techniques>>, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No 12, pp. 2365-2407.

Lu D., Mausel P., Brondizios E., Moran E., (2004). *Change Detection Techniques. International Journal of Remote Sensing*, 19, pp. 1501-1518

Mather, P. (1999), <<Computer Processing of Remotely-Sensed Images>>, England: John Wiley & Sons Ltd.

Mather P., Brant T., (2009), << Classification Methods for Remotely Sensed Data>>, Second Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group.

*Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*, (2017), Luca Congedo.

Singh A. (1989), <<Digital change detection techniques using remotely-sensed data>>, *International Journal of Remote Sensing*, 10, pp. 989-1003.

Xiaojun Yang and C.P. Lo (2000), <<Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Satellite Images >>, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 66, pp.967-980.

Yuan F., Sawaya K., Loeffelholz B., (2005), <<Land Cover classification and change analysis of Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing>>, *Remote Sensing of Environment* 98, pp.317 – 328.

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

*Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιφέρειας Ηπείρου 2015-2019.*

Καλογιάννης Ελ. Σ., (2012), <<Πλαίσιο χωροταξικού σχεδιασμού Περιφέρειας Ηπείρου. Με γνώμονα την αειφορία>>, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.

Καρτάλης Κ., Φειδάς Χ. (2006), <<Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης>>, Β. Γκιούρδας Εκδοτική, Αθήνα.

Μέρτικας Σ. (1999), <<Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.

Πασχαρίδης Ισαάκ, <<Αρχές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης>>, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ελληνικά ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα ([www.kalipsos.gr](http://www.kalipsos.gr)).

Περάκης Γ. Κωνσταντίνος, Φαρασλής Ν. Ιωάννης, Μωυσιάδης Κ. Αθανάσιος, <<Η Τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες>>, Ελληνικά ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα ([www.kalipsos.gr](http://www.kalipsos.gr)).

Σκιάνης Αιμ. Γ., Νικολακόπουλος Γ. Κ., Βαϊόπουλος Α. Δ., <<Τηλεπισκόπηση>>, Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ.

### **Διαδικτυακοί τόποι**

<https://earthexplorer.usgs.gov/> Διάθεση δορυφορικών εικόνων Landsat.

<https://landsat.usgs.gov/> Πληροφορίες για τους δορυφόρους της σειράς Landsat.

<http://geodata.gov.gr/dataset> Ανοιχτό portal που παρέχει γεωγραφικά δεδομένα σε μορφή vector.

[www.eea.europa.eu/themes/landuse/clc-download](http://www.eea.europa.eu/themes/landuse/clc-download) Διαδικτυακή πύλη της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος που παρέχει δεδομένα CORINE CLC 2000

Google earth

