

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ**

**ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών:

**Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Περιβάλλοντος**



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***“Διαχρονική συγκριτική μελέτη βασικών καλύψεων γης στους  
δήμους Βέροιας, Κοζάνης, Εορδαίας την τελευταία  
τριακονταετία”***

**Υπεύθυνος καθηγητής : Περάκης Κωνσταντίνος**

**ΛΟΖΟΣ Ε. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

**Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος**

**ΒΟΛΟΣ, 2017**



**Δήλωση**

Βεβαιώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του ΤΜΧΠΠΑ και ότι στο πλαίσιο αυτού έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λ.π., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του ΠΘ ή και του ΤΜΧΠΠΑ.

Ημερομηνία: **09/06/2017**

Ονοματεπώνυμο: **Λόζος Παναγιώτης**

Υπογραφή:

## **Περίληψη**

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική, θα μελετηθεί η διαχρονική αλλαγή των καλύψεων γης για την τελευταία τριακονταετία, μιας συγκεκριμένης περιοχής μελέτης που απαρτίζεται από τους δήμους Εορδαίας, Κοζάνης και Βέροιας. Για την διερεύνηση του θέματος αποκτήθηκαν και επεξεργάστηκαν δορυφορικές εικόνες Landsat, για τις ημερομηνίες 19/07/1987 και 16/07/2016. Η μελέτη προσεγγίζει τόσο το γενικότερο θεωρητικό υπόβαθρο της επιστήμης της τηλεπισκόπησης, όσο και το ειδικότερο των διαχρονικών μεταβολών καλύψεων γης.

Η ποιοτική ταξινόμηση των καλύψεων γης και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, αποτελεί το πρώτο και κυριότερο μέλημα στην δημιουργία μιας διαχρονικής μελέτης. Σκοπός αυτής της διπλωματικής, είναι η οπτικοποίηση και ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων με σκοπό την ευαισθητοποίηση τόσο του κοινού, όσο και της επιστημονικής κοινότητας, γύρω από τις διαχρονικές μεταβολές στο φυσικό περιβάλλον. Μία ποιοτική ταξινόμηση μπορεί να αποτελέσει βασικό εργαλείο στον ορθότερο προγραμματισμό δράσεων με στόχο την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

Λέξεις κλειδιά:

Τηλεπισκόπηση, διαχρονική μεταβολή, δορυφορική εικόνα, χρήσεις γης, ταξινόμηση, Βέροια, Κοζάνη, Εορδαία.

## **Abstract**

The aim of this postgraduate dissertation was to examine the timeless change of land cover the last 30 years, in a specific study region made up of the municipalities of Eordaia, Kozani and Veroia. Landsat satellite images were acquired and processed for the dates 19/07/1987 and 16/07/2016. The study approaches both the general theoretical background of the science of remote sensing and the more specific of timeless changes in land cover. The qualitative classification of land coverings and the reliability of the results is the first and foremost concern in the creation of a longitudinal study. The purpose of this diploma thesis is to visualize and quantify the results in order to raise the awareness of both the public and the scientific community about the timeless changes in the natural environment. A qualitative classification can be a key tool in better planning of actions to protect the natural environment.

## **Keywords:**

Remote sensing, longitudinal change, satellite image, land uses, classification, Veria, Kozani, Eordea.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	11
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	14
<b>1. Εισαγωγή.....</b>	<b>15</b>
1.1. ΣΚΟΠΟΣ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	15
1.2. ΠΛΑΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	15
<b>2. Θεωρητικό υπόβαθρο.....</b>	<b>16</b>
2.1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	16
2.1.1. Δήμος Βέροιας.....	18
2.1.2. Δήμος Κοζάνης.....	18
2.1.3. Δήμος Εορδαίας.....	18
2.1.4. Ορυχεία Λιγνίτη.....	20
2.1.5. Οδικό δίκτυο.....	21
2.1.6. Χλωρίδα και Πανίδα.....	23
2.1.7. Τα στενά του Αλιάκμονα.....	24
2.1.8. Αιολικό Πάρκο.....	25
2.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	27
2.2.1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και κατηγορίες ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	27
2.2.2 Τηλεπισκόπηση και απεικονιστική φασματομετρία.....	28
2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ – GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM.....	29
2.4 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ LANDSAT ....	29
2.4.1 Κάμερες Επιστρεφόμενης Δέσμης – Return Beam Vidicon ( Rbv )	29
2.4.2 Πολυφασματικός Σαρωτής – Multi Spectral Scanner Mss.....	30
2.4.3 Θεματικός Χαρτογράφος - Thematic Mapper ( Tm ) .....	30

2.4.4 Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος - Enhanced Thematic Mapper Plus Etm+.....	31
2.4.5 Landsat 8.....	32
2.5 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	34
2.5.1 Ατμοσφαιρικές Επιδράσεις.....	34
2.5.2 Ατμοσφαιρική Διόρθωση.....	36
2.5.2.1 Απόλυτες Ατμοσφαιρικές Διορθώσεις.....	36
2.5.2.2 Σχετικές Ατμοσφαιρικές Διορθώσεις.....	37
2.5.2.3 Αφαίρεση Σκοτεινού Αντικειμένου - Dos1 Correction...	38
2.6 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ.....	41
2.6.1 Μη Επιβλεπόμενες Ταξινομήσεις.....	42
2.6.2 Επιβλεπόμενες Ταξινομήσεις.....	43
2.6.2.1 Μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood).....	43
2.7 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ - ACCURACY ASSESSMENT.....	47
2.8 ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ — SPECTRAL SIGNATURES.....	47
<b>3. Μεθοδολογία.....</b>	<b>49</b>
3.1 ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	49
3.2 ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	49
3.3 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ - DOS1 CORRECTION.....	52
3.4 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΚΟΨΙΜΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ. ....	53
3.5 ΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ .....	54
3.6 ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ.....	56
<b>4. Αποτελέσματα.....</b>	<b>58</b>
4.1 ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ.....	61
4.1.1 Φασματικές υπογραφές και αναλυτικά στοιχεία για 19/07/1987...	61
4.1.2 Φασματικές υπογραφές και αναλυτικά στοιχεία για 16/07/2016...	65

4.2.1 Ακρίβεια Ταξινόμησης.....	68
4.3 ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΡΙΑΚΟΝΤΑΕΤΙΑΣ.....	69
<b>5. Συμπεράσματα και συζήτηση.....</b>	<b>75</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>78</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Εκτάσεις και χρήσεις γαιών στο δήμο Εορδαίας.....	19
Πίνακας 2 : Διαχρονική απαλλοτρίωση περιοχών στον Δήμο Εορδαίας(πηγή: ΔΕΗ, 2017) .....	21
Πίνακας 3 : Κατηγορίες και μήκος οδικού δικτύου περιοχής μελέτης.....	22
Πίνακας 4 : Συγκριτική παρουσίαση της εξέλιξης του προγράμματος Landsat 1-7. ....	30
Πίνακας 5 : Τα φασματικά κανάλια του Landsat 8 OLI / TIRS και τα χαρακτηριστικά τους. ....	32
Πίνακας 6 : Οι τιμές της μεταβλητής ESUN. (Congedo, 2017) .....	39
Πίνακας 7 : Χαρακτηριστικά δορυφορικών εικόνων για διαχρονική ανάλυση.....	50
Πίνακας 8 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Υδάτινες επιφάνειες» για 19/07/1987. ....	61
Πίνακας 9 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Ορυχεία» για 19/07/1987. ....	61
Πίνακας 10 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Γεωργικές περιοχές» για 19/07/1987. ....	62
Πίνακας 11 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Τεχνητές επιφάνειες» για 19/07/1987. ....	62
Πίνακας 12 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Εδάφη χωρίς βλάστηση» για 19/07/1987. ....	62
Πίνακας 13 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Θαμνώδης και ποώδης βλάστηση» για 19/07/1987. ....	62
Πίνακας 14 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Δάση» για 19/07/1987. ....	63
Πίνακας 15 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Υδάτινες επιφάνειες» για 16/07/2016. ....	65



Πίνακας 16 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Ορυχεία» για 16/07/2016.....	65
Πίνακας 17 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Γεωργικές περιοχές» για 16/07/2016. ....	65
Πίνακας 18 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Τεχνητές επιφάνειες» για 16/07/2016. ....	65
Πίνακας 19 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Εδάφη χωρίς βλάστηση» για 16/07/2016. ....	66
Πίνακας 20 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Θαμνώδης και ποώδης βλάστηση» για 16/07/2016. ....	66
Πίνακας 21 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Δάση» για 16/07/2016. ....	66
Πίνακας 22 : Πίνακας σφαλμάτων και ακρίβειας ταξινόμησης (error matrix) για 19/07/1987 και 16/07/2016. ....	68
Πίνακας 23 : Αναλυτική παρουσίαση των στατιστικών στοιχείων των ταξινομήσεων της περιοχής μελέτης.....	70
Πίνακας 24 : Πίνακας διαχρονικών μεταβολών (change matrix) για 19/07/1987 και 16/07/2016.....	70

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1: Περιοχή Μελέτης (Δήμοι Εορδαίας, Κοζάνης και Βέροιας).....	17
Χάρτης 2: Χάρτης ταξινόμησης καλύψεων γης 19/07/1987. Δήμοι Εορδαίας, Κοζάνης και Βέροιας.....	59
Χάρτης 3: Χάρτης ταξινόμησης καλύψεων γης 16/07/2016. Δήμοι Εορδαίας, Κοζάνης και Βέροιας.....	60
Χάρτης 4: Διαχρονικές μεταβολές τριακονταετίας (1987-2016) Υδάτινων Επιφανειών.....	71
Χάρτης 5: Διαχρονικές μεταβολές τριακονταετίας (1987-2016) για γεωργικές περιοχές.....	72
Χάρτης 6: Τεχνητές περιοχές στην έκταση της περιοχής μελέτης το 2016.....	73

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Μέρος του Λιγνιτικού κέντρου Πτολεμαΐδας και στο βάθος η ενεργειακή μονάδα του Αγίου Δημητρίου. ....	20
Εικόνα 2. Η Εθνική Οδός (τμήμα 3) στη λίμνη Πολυφύτου.....	22

Εικόνα 3. Η γέφυρα γ12 στην Εγνατία οδό. ....	23
Εικόνα 4. Τα στενά του Αλιάκμονα (πηγή: Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρία, φωτογραφία Οδυσσέας Τζημούλης). ....	25
Εικόνα 5. Ανεμογεννήτρια στην κορυφογραμμή του Όρους Βέρμιο.....	26
Εικόνα 6. Τα φασματικά κανάλια των αισθητήρων OLI/TIRS και ETM+ (Πηγή:USGS).....	33
Εικόνα 7. Η Αλληλεπίδραση Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας – ατμόσφαιρας (Περάκης κ.α. 2015). ....	35
Εικόνα 8. Σύγκριση της ανακλαστικότητας TOA (μπλε χρώμα) , της διορθωμένης ανάκλασης με την μέθοδο DOS1 (κόκκινο χρώμα) και της αντανάκλασης επιφανείας στο δορυφόρο Landsat (πράσινο χρώμα) (Congedo, 2017). ....	40
Εικόνα 9. Ταξινόμηση μέγιστης πιθανοφάνειας, με βάση μια μόνο φασματική ζώνη (άξονας x). Πηγή: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (2017). ....	45
Εικόνα 10. Η μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Murai, S. (1995). ....	46
Εικόνα 11. Τυπικές καμπύλες φασματικής απόκρισης για διάφορα υλικά της γήινης επιφάνειας σε εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 0,3 έως 12 περίπου μm (Παρχαρίδης, 2015). ....	48
Εικόνα 12. Το κανάλι 5 της δορυφορικής εικόνας του 1987. ....	51
Εικόνα 13. Το κύριο μενού του προγράμματος (SACP) που χρησιμοποιήθηκε για την απόκτηση και ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων.....	52
Εικόνα 14. Το κανάλι 5 της δορυφορικής εικόνας του 1987, στα όρια της μελέτης περιοχής. ....	53
Εικόνα 15. Ο χώρος των ορυχείων σε χρωματική σύνθεση φυσικών χρωμάτων 3-2-1. ....	55
Εικόνα 16. Ο χώρος των ορυχείων σε ψευδοχρωματική σύνθεση 3-4-6. ....	55
Εικόνα 17. Ο χώρος των ορυχείων σε ψευδοχρωματική σύνθεση 4-3-2. ....	55
Εικόνα 18. Οι βασικές κατηγορίες καλύψεων γης και τα χρώματά τους στην ταξινόμηση.....	57
Εικόνα 19. Κατανομή εικονοστοιχείων στο κανάλι 4 (band 4) για κάθε κατηγορία της ταξινομημένης δορυφορικής εικόνας για 16/07/2016.....	63
Εικόνα 20 . Οι φασματικές υπογραφές της ταξινόμησης για την ημερομηνία 19/07/1987 .....	64
Εικόνα 21 . Κατανομή εικονοστοιχείων στο κανάλι 4 (band 4) για κάθε κατηγορία της ταξινομημένης δορυφορικής εικόνας για 16/07/2016.....	66

Εικόνα 22 : Οι φασματικές υπογραφές της ταξινόμησης για την  
 ημερομηνία 16/07/2016..... 67

### **ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ**

Συντομευμένη γραφή	Πλήρης γραφή
C_ID	Class ID
C_Info	Class Information
Corine	Coordination of Information on the Environment – Συντονισμός των πληροφοριών σχετικών με το περιβάλλον
DOS	Dark Object Subtraction – Αφαίρεση Σκοτεινού Αντικειμένου
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus – Βελτιωμένος Θεματικός Χαρτογράφος
GIS	Geographic Information System - Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών
Landsat	Land Cover Satellite – Δορυφόρος Κάλυψης Γης
MC_ID	Macroclass ID
MC_Info	Macroclass Information
MSS	Multi Spectral Scanner – Πολυφασματικός Σαρωτής
MW	Megawatt – Μεγαβατ
OLI	Operational Land Imager – Επιχειρησιακό Λογισμικό Εδάφους

PA	Product accuracy – Ακρίβεια Ένταξης
RBV	Return Beam Vidicon – Επιστροφή Δέσμης
RGB	Red, Green and Blue – Κόκκινο, Πράσινο και Μπλε ( Πρότυπο Χρώματος)
SACP	Semi-Automatic Classification Plugin
TIRS	Thermal Infrared Sensor - Θερμικός Υπέρυθρος Αισθητήρας
TM	Thematic Mapper – Θεματικός Χαρτογράφος
UA	Users Accuracy – Ακρίβεια Χρήστη
USGS	United States Geological Survey – Γεωλογική Έρευνα των Ηνωμένων Πολιτειών
WCMC	World Conservation Monitoring Centre – Παγκόσμιο Κέντρο Παρακολούθησης της Διατήρησης
WGS	World Geodetic System – Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα
Βλ.	Βλέπε
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΕΓΣΑ	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς
Εικ.	Εικόνα
ΕΟ	Εθνική οδός

κ.α.	Και άλλα / Και άλλοι
Πιν.	Πίνακας
Π.χ.	Παραδείγματος χάριν
Στρ.	Στρέμματα
Χλμ.	Χιλιόμετρα

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Περάκη Κωνσταντίνο, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την πολύτιμη συμβολή του στην εκπόνηση της εργασίας. Η βοήθεια στην τελική επιλογή του θέματος και της έκτασης της περιοχής μελέτης δε θα είχε επιτευχθεί χωρίς τις συμβουλές του. Η γενικότερη καθοδήγηση του στο πρακτικό και θεωρητικό κομμάτι υπήρξαν καταλυτικές.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω του γονείς μου Βαγγέλη και Βούλα για την οικονομική και ηθική τους υποστήριξη όλα αυτά τα χρόνια.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την Έλλη που χωρίς την βοήθεια και κατανόησή της δεν θα είχε εκπονηθεί η παρούσα εργασία, καθώς και τους φίλους μου Αναστασία, Παύλο, Λάζαρο και Μάριο.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές μου και ιδιαίτερα τους Σωτήρη Παρασκευόπουλο, Αχιλλέα Παπαλέξη και Ιωάννα Χατζοπούλου για τις χρήσιμες συμβουλές και την πολύτιμη βοήθεια τους καθ' όλη την διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κ. Ιωάννη Φαρασλή, Διδάκτορα του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την βοήθεια και τις συμβουλές του στα θέματα Τηλεπισκόπησης.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές και προσωπικό του τμήματος ΜΧΠΠΑ που με βοήθησαν στην διεύρυνση του επιστημονικού μου πεδίου και στον εμπλουτισμό των γνώσεων μου.

Λόζος Παναγιώτης

Δασολόγος - Περιβαλλοντολόγος

lozos88@gmail.com

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΣΚΟΠΟΣ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το περιβάλλον είτε φυσικό είτε τεχνητό είναι ένα μεταβαλλόμενο σύστημα. Όπως κάθε οργανισμός εξελίσσεται και αλλάζει ανάλογα με τις συνθήκες και τις καταστάσεις. Η διαχρονική μελέτη έχει ως πρωταρχικό σκοπό τον εντοπισμό των συγκεκριμένων αλλαγών μέσα στο πέρασμα των χρόνων. Στην συνέχεια έχει ως στόχο την ποσοτικοποίηση και έλεγχο της ορθότητας των αλλαγών ώστε αυτές να είναι συγκρίσιμες και να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Στο τελικό στάδιο της μελέτης οπτικοποιήθηκαν τα αποτελέσματα με στόχο την ολοκληρωμένη και σφαιρική κατανόηση τους.

Μια σωστή διαχρονική μελέτη μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο σχεδιασμού δράσεων από την πολιτεία. Επίσης προσφέρει την δυνατότητα ταχύτερης πρόβλεψης και αντιμετώπισης τυχόν προβλημάτων κοινωνικής, περιβαλλοντικής και οικονομικής φύσεως.

### 1.2 ΠΛΑΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν παράχθηκαν εξ' αρχής εκτός του Corine 2000, του οδικού δικτύου και των ορίων των δήμων Ελλάδας. Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν έχουν ως πηγή το δορυφορικό πρόγραμμα Landsat. Η περιοχή μελέτης αποφασίστηκε να είναι σχετικά μεγάλη λόγω της ανάλυσης των δορυφορικών εικόνων και της μείωσης των σφαλμάτων του αποτελέσματος. Τα δορυφορικά δεδομένα προεπεξεργάστηκαν (ατμοσφαιρικές και γεωμετρικές διορθώσεις) ώστε να είναι κατάλληλα για επεξεργασία. Πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση 7 βασικών κατηγοριών κάλυψης γης για δύο χρονολογίες. Στη συνέχεια αξιολογήθηκαν οι ακρίβειες των ταξινομήσεων και οπτικοποιήθηκαν τα αποτελέσματα. Στο τελικό στάδιο πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο διαφορετικών ταξινομήσεων ώστε να βγούνε συμπεράσματα για την διαχρονική συγκριτική μελέτη.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

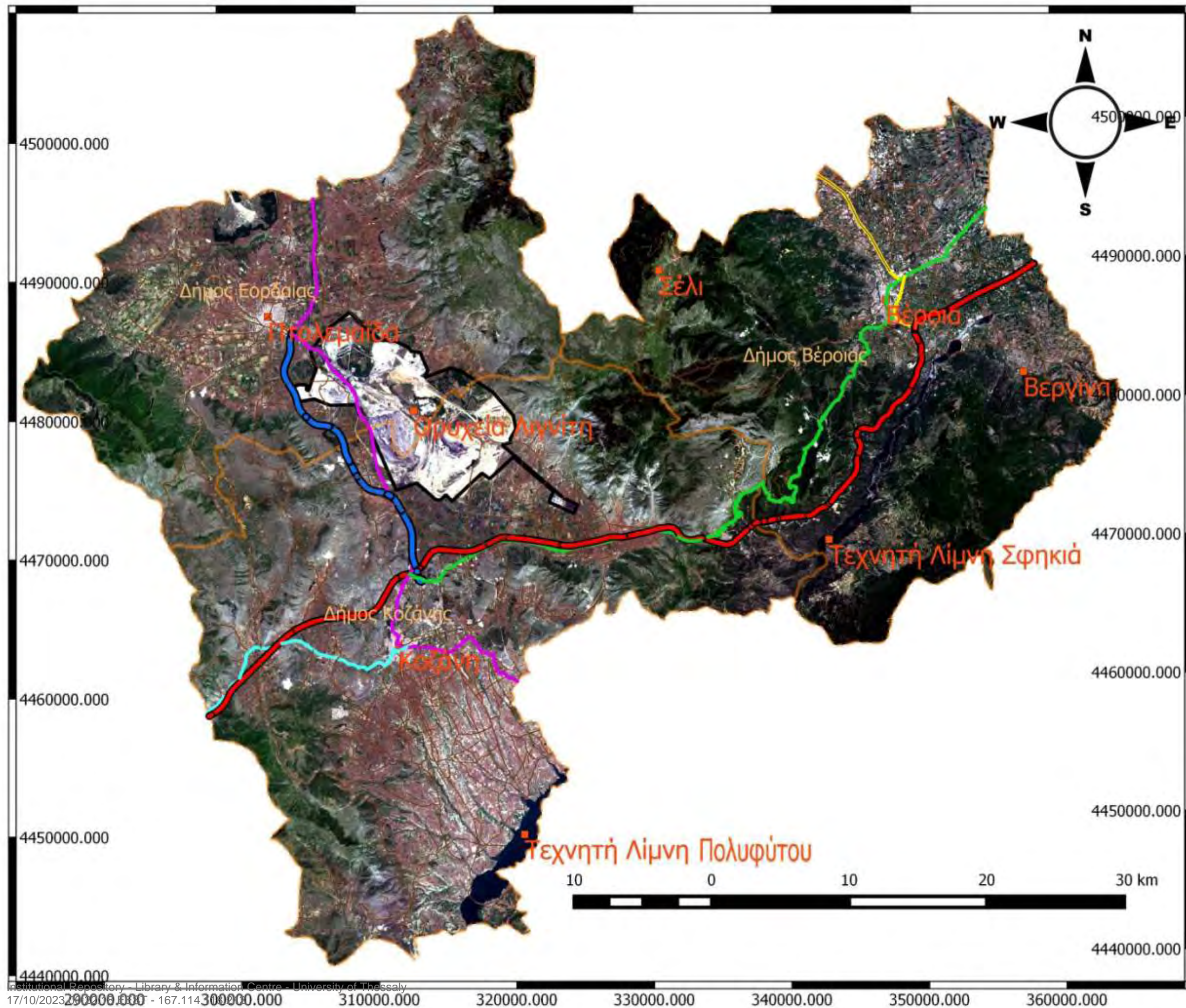
### 2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το Βέρμιο είναι οροσειρά της Μακεδονίας και πυρήνας της διαχρονικής συγκριτικής μελέτης βασικών καλύψεων γης των δήμων Βέροιας, Κοζάνης Εορδαίας. Καταλαμβάνει τμήμα του νομού Ημαθίας, του νομού Κοζάνης και του νομού Πέλλας. Η ψηλότερη κορυφή του έχει υψόμετρο 2.065 μέτρα και βρίσκεται κοντά στη Νάουσα. Η περιοχή μελέτης της εργασίας ορίστηκε σύμφωνα με τα όρια τριών όμορων δήμων της περιοχής, τον δήμο Κοζάνης τον δήμο Εορδαίας και τον δήμο Βέροιας.

Στην επόμενη σελίδα του κεφαλαίου έχει δημιουργηθεί θεματικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου απεικονίζονται η θέση της στην ελληνική επικράτεια, τα όρια των δήμων της, ο οδικός άξονάς της, τα χαρακτηριστικά σημεία αυτής καθώς και τα όρια του λιγνιτικού κέντρου Πτολεμαΐδας. Ο χάρτης 1 είναι σε κλίμακα 1: 300.000 και ο χάρτης οδηγός δείχνει τη θέση της περιοχής ελέτης στην ελληνική επικράτεια. Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλυθούν και θα παρουσιαστούν όλα τα φυσικά και τεχνητά χαρακτηριστικά που αφορούν την περιοχή μελέτης.



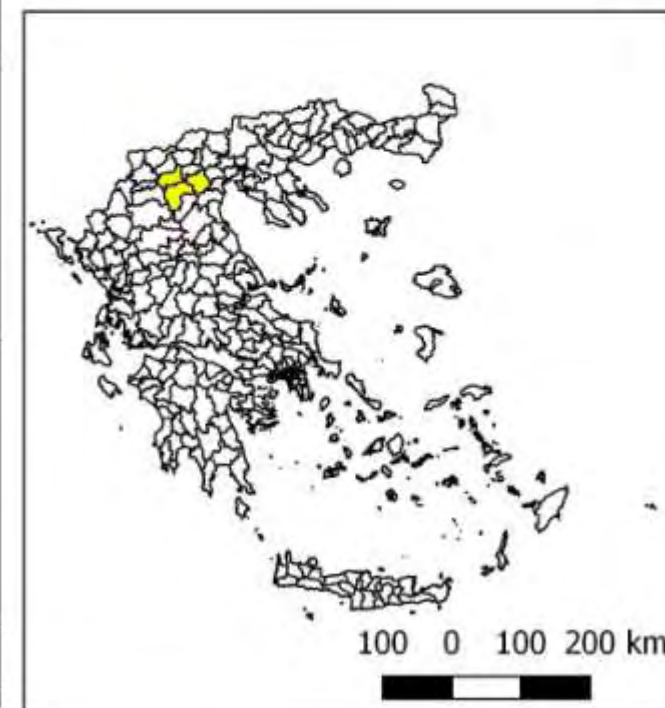
# Χάρτης 1: Περιοχή Μελέτης (Δήμοι Εορδαίας, Κοζάνης και Βέροιας)



## Υπόμνημα

- Όρια δήμων
- Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας
- Χαρακτηριστικά σημεία
- Εγνατία Οδός τμήμα Α2
- Εγνατία Οδός τμήμα Α27
- Εθνική Οδός τμήμα 3
- Εθνική Οδός τμήμα 4
- Εθνική Οδός τμήμα 4α
- Εθνική Οδός τμήμα 20
- Λοιπό οδικό δίκτυο

ΚΛΙΜΑΚΑ : 1: 300.000





### **2.1.1 Δήμος Βέροιας**

Ο Δήμος Βέροιας είναι δήμος της περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας. Προέκυψε από την συνένωση του προϋπάρχοντος δήμου Βέροιας με τους δήμους Βεργίνας, Μακεδονίδος, Δοβρά και Αποστόλου Παύλου σύμφωνα με το Πρόγραμμα Καλλικράτης. Η έκταση του δήμου είναι 791,43 τ.χλμ και ο πληθυσμός του 66.547 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (65.968 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2001). Έδρα του δήμου είναι η Βέροια και ιστορική έδρα η Βεργίνα.

Στο όρος Βέρμιο και σε υψόμετρο 1530μ λειτουργεί από το 1934 το εθνικό χιονοδρομικό κέντρο Σελίου. Διαθέτει 17 πίστες καταβάσεων με διάφορα επίπεδα δυσκολίας συνολικού μήκους 14χλμ.. Αποτέλεσε το πρώτο οργανωμένο χιονοδρομικό κέντρο της χώρας.

### **2.1.2 Δήμος Κοζάνης**

Ο Δήμος Κοζάνης είναι δήμος της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας με έκταση 1070 τ.χλμ και πληθυσμό 75.388 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (68.680 σύμφωνα με την απογραφή του 2001). Πρωτεύουσά του είναι η Κοζάνη, όντας η μεγαλύτερη πόλη και έδρα της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας. Η κωμόπολη Αιανή, χτισμένη κοντά στο σημείο της αρχαίας πόλης απ' την οποία έλαβε το όνομά της, έχει οριστεί ως ιστορική έδρα του δήμου.

### **2.1.2 Δήμος Εορδαίας**

Ο Δήμος Εορδαίας είναι δήμος της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας με έκταση 709 τ.χλμ και πληθυσμό 45.592 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (46.540 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2001). Έδρα του δήμου είναι η Πτολεμαΐδα. Χαρακτηριστικό γνώρισμα του δήμου οι ενεργειακές μονάδες της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού καθώς και το Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας Αμυνταίου

όπου θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα. Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 1. ) δίνονται αναλυτικά οι χρήσεις γης για το σύνολο της επικράτειας του δήμου, σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία που έχει δημοσιοποιήσει ο Δήμος Εορδαίας (2017).

<b>Χρήση γαιών</b>	<b>Έκταση γαιών (στρέμματα)</b>
<b>1. Σύνολο Γεωργικών εκτάσεων</b>	<b>456.418</b>
α) Αροτραίες καλλιέργειες	210.893
β) Δενδρώδεις καλλιέργειες	11.822
γ) Αρόσιμη γη	257.651
<b>2. Σύνολο Δασικού συμπλέγματος</b>	<b>194.069</b>
α) Δάση	97.507
β) Μεταβατικές θαμνώδεις και δασώδεις εκτάσεις	96.562
<b>3. Υδάτινες επιφάνειες</b>	<b>152</b>
<b>4. Τεχνητές - Ανθρωπογενείς εκτάσεις</b>	<b>58.156</b>
α ) Αστικός ιστός	9.129
β ) Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	1.309
γ ) Οδικό δίκτυο	940
δ ) Ορυχεία, εργοτάξια και χώροι απόρριψης απορριμμάτων	46.778
<b>Συνολική έκταση Δήμου Εορδαίας</b>	<b>708.807</b>

*Πίνακας 1 : Εκτάσεις και χρήσεις γαιών στο δήμο Εορδαίας*

### 2.1.4 Ορυχεία Λιγνίτη

Τα λιγνιτικά αποθέματα και η παρουσία της ΔΕΗ επηρέασαν καθοριστικά την διαμόρφωση του παραγωγικού περιβάλλοντος του δήμου Εορδαίας, που εξελίχθηκε στο μεγαλύτερο ενεργειακό κέντρο της χώρας (εικόνα 1) . Στο Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου λειτουργούν σήμερα τέσσερα λιγνιτωρυχεία: Το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου, το Ορυχείο Καρδιάς, το Ορυχείο Κυρίου Πεδίου και το Ορυχείο Αμυνταίου. Σύμφωνα με την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού η παραγωγή λιγνίτη ήταν το 1959 1,3 εκ. τόνους, αυξήθηκε το 1975 σε 11,7 εκ. τόνους, το 1985 σε 27,3 εκ. τόνους και το 2006 σε 49 εκ. τόνους. Η παρούσα συνολική παραγωγή είναι 63 εκ. τόνους λιγνίτη. Η εντυπωσιακή ανάπτυξη των Λιγνιτωρυχείων της ΔΕΗ την κατατάσσει στη δεύτερη θέση παραγωγής λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση, στη πέμπτη θέση στην Ευρώπη και στην έκτη στον κόσμο.



*Εικόνα 1. Μέρος του Λιγνιτικού κέντρου Πτολεμαΐδας και στο βάθος η ενεργειακή μονάδα του Αγίου Δημητρίου*

Φυσικά η ραγδαία αυτή αύξηση της εξόρυξης λιγνίτη έχει τόσο κοινωνικές όσο και περιβαλλοντικές συνέπειες. Αναλυτικότερα, η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τις διαδικασίες εξόρυξης και μεταφοράς λιγνίτη καθώς και της

καύσης του στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, έχει συσχετιστεί με ένα πλήθος επιπτώσεων, όπως αυξημένη συχνότητα εμφάνισης συμπτωμάτων παθήσεων του ανώτερου και κατώτερου αναπνευστικού και υψηλά ποσοστά πρόωρων θανάτων από καρκίνους και θρομβοεμβολικά επεισόδια ( Georgakelos, 2007 ). Χαρακτηριστικό της αύξησης της εξορυκτικής δραστηριότητας είναι η σταδιακή απομάκρυνση κατοίκων από οικισμούς της περιοχής που ήταν πλησίον του Λιγνιτικού κέντρου Πτολεμαΐδας, φυσικά με την ανάλογη αποζημίωση από την πλευρά της ΔΕΗ (Πίνακας 4).

<b>Οικισμός</b>	<b>Έτος Απαλλοτρίωσης</b>
Καρδιάς	1972 – 1976
Χαραυγής	1979 – 1982
Εξοχής	1979 – 1982
Κόμανος	1999 – 2003
Κλείτος	2000 – 2003
Μαυροπηγής	2007 – 2013
Ποντοκώμης	2007 – 2015

Πίνακας 2 : Διαχρονική απαλλοτρίωση περιοχών στον Δήμο Εορδαίας(πηγή: ΔΕΗ, 2017)

Η συγκεκριμένη μεταβολή θα οπτικοποιηθεί και θα εξεταστεί αναλυτικά σε επόμενα κεφάλαια με χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat για τις χρονολογίες 1987 και 2016.

### 2.1.5 Οδικό Δίκτυο

Η περιοχή μελέτης έχει ένα αρκετά εκτεταμένο οδικό δίκτυο, που αποτελείται από τμήματα τόσο της παλαιάς Εθνικής(ΕΟ) όσο και της Εγνατίας οδού (Α2, Α27) .

<b>Κατηγορία Οδού</b>	<b>Μήκος Οδού (Κm)</b>
Εγνατία Οδός τμήμα Α2	155,3
Εγνατία Οδός τμήμα Α27	45,25
Εθνική Οδός τμήμα 3	49,1
Εθνική Οδός τμήμα 4	79,66
Εθνική Οδός τμήμα 4 <sup>α</sup>	14,23
Εθνική Οδός τμήμα 20	18,94
Λοιπό Οδικό δίκτυο	1197,77
<b>Σύνολο Οδικού δικτύου</b>	<b>1560 χιλιόμετρα</b>

Πίνακας 3 : Κατηγορίες και μήκος οδικού δικτύου περιοχής μελέτης.



*Εικόνα 2. Η Εθνική Οδός (τμήμα 3) στη λίμνη Πολυφύτου*



Εικόνα 3. Η γέφυρα γ12 στην Εγνατία οδό.

Στην περιοχή μελέτης κατασκευάστηκε η παράκαμψη της Καστανιάς, δηλαδή το τμήμα της Εγνατίας Οδού από τον Πολύμυλο μέχρι την Βέροια, με συνολικό μήκος 26 χλμ. Η κατασκευή του

τμήματος διασχίζει τον ορεινό όγκο του

Βερμίου, στα όρια των δήμων Κοζάνης και Βέροιας, μια περιοχή με έντονο ανάγλυφο, μεγάλες υψομετρικές διαφορές και δύσκολες κλιματολογικές συνθήκες ( υετός, ραγδαίες βροχοπτώσεις κ.α. ). Για τους ανωτέρω λόγους, δημιουργήθηκαν σήραγγες συνολικού μήκους 14 χλμ. και γέφυρες συνολικού μήκους 2,8 χλμ. Με την κατασκευή του αυτοκινητόδρομου μειώθηκε ο απαιτούμενος χρόνος της διαδρομής Πολύμυλος - Βέροια σε 15 λεπτά, με κατακόρυφη αύξηση της οδικής ασφάλειας.

Με την κατασκευή της εν λόγω παράκαμψης ένα μεγάλο τμήμα των ορεινών και ημι-ορεινών οικισμών του Βερμίου όπως ο Πολύμυλος, οι Γεωργιανοί, η Ζωοδόχος Πηγή, η Προφήτης Ηλίας, η Καστανιά, ο Τριπόταμος παρήκμασαν. Το τμήμα ΕΟ4 μήκους 80 χλμ. που απεικονίζεται στον χάρτη 2 της σελ. 17 με πράσινο χρώμα αποτέλεσε για πολλές δεκαετίες πολυσύχναστο δίκτυο με τοπικές μαρτυρίες κατοίκων να αναφέρουν πως κατά μέσο όρο πενήντα χιλιάδες οχήματα τον διέσχιζαν καθημερινά προερχόμενα από και προς τους νομούς Θεσπρωτίας, Ιωαννίνων, Γρεβενών, Κοζάνης και Καστοριάς. Λόγω των παραπάνω κατά μήκος της συγκεκριμένης διαδρομής υπήρχαν αρκετοί χώροι εστίασης και φιλοξενίας των ταξιδιωτών που με την κατασκευή της Εγνατίας ζημιώθηκαν οικονομικά.

### 2.1.6 Χλωρίδα Και Πανίδα



Το Βέρμιο θεωρείται ως ένα από τα πιο υδροφόρα βουνά της χώρας. Η αφθονία νερού σε συνδυασμό με το μητρικό πέτρωμα δημιουργούν ιδανικές συνθήκες για ανάπτυξη ποικιλόμορφης χλωρίδας. Η περιοχή μελέτης της διαχρονικής μεταβολής φιλοξενεί πλήθος ειδών, τόσο του ζωικού όσο και του φυτικού βασιλείου. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες της χλωρίδας και βλάστησης του όρους Βερμίου (Χοχλιούρος, 2005), στα μεγάλα υψόμετρα του Βερμίου φύονται κυρίως *Fagus sylvatica* (οξιές), *Castanea sativa* (καστανιές), πεύκα (κυρίως *Pinus heldreichii*), *Quercus coccifera* (πουνναρι), *Arbutus unedo* (κουμαριές) και σπανιότερα έλατα. Επίσης αρκετά σπάνια και ενδημικά είδη της Ελλάδας έχουν καταγραφεί στο όρος Βέρμιο (Φοίτος κ. ά, 2009).

Τα κυριότερα θηλαστικά που φιλοξενεί το όρος Βέρμιο είναι το *Lepus europeus* (λαγός), το *Canis lupus* (λύκος), το *Sus scrofa* (αγριόχοιρος), το *Vulpes vulpes* (αλεπού), το *Capreolus capreolus* (ζαρκάδι) κ.α. Αξιοσημείωτο σύμφωνα με παρατηρήσεις οργανώσεων όπως ο τα τελευταία χρόνια υπάρχουν σταθερές ενδείξεις για παρουσία αρκούδας στον ορεινό άξονα Βόρα-Ολύμπου (Αρκτούρος, Καλλιστώ 2017).

Τα ερπετά που υπάρχουν είναι το *Testudo bermanni* (ονυχοχελώνα), το *Elaphe quatuorlineata* (λαφίτης), η οχιά κ.α. Στο Βέρμιο απαντώνται επίσης ο Φιδαστός με άνοιγμα φτερών 1,8 μ. και ο Μαυροπελαργός (*Ciconia nigra*) με άνοιγμα φτερών 2.05 μ. . Αρπακτικά πουλιά όπως η γερακίνα, το ξεφτέρι, το σαίφι και το βραχοκιρκίνεζο είναι τακτικοί επισκέπτες αλλά σε πολλές περιπτώσεις φωλιάζουν στα ψηλά δέντρα κατά μήκος της τεχνητής λίμνης σφηκιάς. Εντυπωσιακή η καταγραφή ένας νεαρού χρυσαετού το 2004 στο Κομνήνιο. (Δήμος Βέροιας, 2017).

### 2.1.7 Τα Στενά Του Αλιάκμονα – Natura 2000

Εντός της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα στον δήμο Βέροιας, υπάρχει μια περιοχή 44.000 στρ με ονομασία “Στενά του Αλιάκμονα” που ανήκει στο δίκτυο NATURA 2000. Το Ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 είναι ένα δίκτυο ζωνών προστασίας της φύσης που εκτείνεται σε ολόκληρη την Κοινότητα και έχει ως στόχο να διασφαλίσει τη μακροπρόθεσμη διατήρησή των πιο πολύτιμων και των πλέον απειλούμενων ειδών και ενδιαιτημάτων της σε ικανοποιητικό επίπεδο (<http://www.ypeka.gr/>).



Τα στενά του Αλιάκμονα είναι το φαράγγι που σχηματίζουν τα Πιέρια όρη με το Βέρμιο και ανήκει στο δίκτυο NATURA 2000 από τον Μάιο του 1995 με κωδικό αριθμό GR 1210002. Τα στενά του Αλιάκμονα αποτελούν ενδιαίτημα για πολλά ενδημικά φυτά με κυριότερο το είδος *Onobrychis aliakmonia* θεωρούμενο από τους καταλόγους “WCMC (World Conservation Monitoring Centre) and



Εικόνα 4. Τα στενά του Αλιάκμονα (πηγή: Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρία, φωτογραφία Οδυσσέας Τζημούλης)

European Red Data List” ως εξαφανισθέν. Επίσης στηρίζει την διατροφή, φωλεοποίηση και αποτελεί καταφύγιο σε μεγάλο αριθμό πουλιών καθώς και διαχείμαση για μεταναστευτικά πτηνά που χρησιμοποιούν το πέρασμα σαν μεταναστευτικό δρόμο. (Σιδηροπούλου, 2013)

### 2.1.8 Αιολικό Πάρκο

Στην κορυφογραμμή του όρους Βερμίου, στα σύνορα Ημαθίας – Κοζάνης, είναι εγκατεστημένο ένα αιολικό πάρκο. Σε εμβαδόν 2.000 στρεμμάτων και σε ύψος 1.600 μέτρων, υπάρχουν συνολικά επτά (7) ανεμογεννήτριες με ισχύ 14 MW. Το αιολικό πάρκο αποτελεί τμήμα μιας ευρύτερης επένδυσης συνολικής ισχύος 38MW, με 19 ανεμογεννήτριες, εκ των οποίων τα 14 MW (με 7 ανεμογεννήτριες) βρίσκονται στο νομό Ημαθίας και τα άλλα 24 MW (12 ανεμογεννήτριες) στο νομό Κοζάνης.



*Εικόνα 5. Ανεμογεννήτρια στην κορυφογραμμή του Όρους Βέρμιο*

Οι κορυφογραμμές του Βερμίου και ιδιαίτερα το ανατολικό τμήμα του, αποτελούν μεταναστευτικό διάδρομο από όπου διέρχονται Φάσσες, Τρυγόνια Κιχλιδή, Τσίχλες και διάφορα στρουθιόμορφα πτηνά. Σύμφωνα με μαρτυρίες μόνιμων κατοίκων του οικισμού της Καστανιάς Ημαθίας, δεν είναι λίγες οι φορές που στις βάσεις των ανεμογεννητριών έχουν βρεθεί τραυματισμένα και νεκρά άτομα διαφόρων ειδών (συνήθως νυκτόβια πτηνά και φάσσες).

## **2.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ**

Είναι η επιστήμη με την οποία τα αντικείμενα που βρίσκονται υπό μελέτη μπορούν να αναγνωριστούν, να υπολογιστούν και να αναλυθούν χωρίς να απαιτείται άμεση επαφή (Jars, 1993). Συνήθως η τηλεπισκόπηση είναι ο υπολογισμός της ενέργειας που προέρχεται από την επιφάνεια της γης. Εάν η πηγή της μετρήσιμης ενέργειας είναι ο ήλιος, τότε ονομάζεται παθητική τηλεπισκόπηση και το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι μια ψηφιακή εικόνα (Richards & Jia, 2006). Εάν η ενέργεια δεν πηγάει από τον ήλιο αλλά από κάποια πλατφόρμα αισθητήρων, τότε ονομάζεται ενεργή τηλεπισκόπηση, όπως οι αισθητήρες radar που λειτουργούν στη συχνότητα των μικροκυμάτων (Richards & Jia, 2006).

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι το σύστημα που ταξινομεί την ενέργεια ανάλογα με το μήκος κύματος (από την κοσμική μέχρι και τα ραδιοκύματα) και το οποίο κινείται αρμονικά με τη σταθερή ταχύτητα του φωτός (NASA, 2013).

### **2.2.1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και κατηγορίες ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων**

Ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ορίζεται η εκπομπή στο χώρο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας με τη μορφή κυμάτων. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα αποτελεί την ταξινόμηση και απεικόνιση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ανάλογα με το μήκος κύματος (Μερτίκας, 2006). Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια όταν προσκρούει σε ένα υλικό (ατμόσφαιρα, νερό, υλικά σώματα) μπορεί να συμβούν τρία πράγματα : α) ανάκλαση, β) απορρόφηση και γ) μετάδοση. Η τηλεπισκόπηση, δηλαδή η αναγνώριση και μελέτη ενός αντικειμένου από απόσταση, στηρίζεται σ' αυτές ακριβώς τις ιδιότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα, οι δέκτες στους δορυφόρους καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια και ανάλογα με το μήκος κύματος προσδιορίζεται ένα αντικείμενο μέσω των τηλεαπεικονιστών (Αγαθαγγέλου, 2008).

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματός του ( $\lambda$ ) και τη συχνότητά του ( $\nu$ ), δηλαδή τον αριθμό των κυμάτων που διέρχονται από ένα σημείο σε ένα δευτερόλεπτο (Αργιαλάς, 2000). Το ορατό φάσμα είναι πολύ μικρό και περιλαμβάνει μήκη κύματος από 400 μέχρι 700nm. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

περιλαμβάνει μήκη κύματος διαφορετικού εύρους και κατηγοριοποιείται όπως παρακάτω:

- ακτίνες X 0,03 – 3nm
- υπεριώδες (ultraviolet – UV) 3nm – 4μm
- ορατό φως 0,4 – 7μm
- υπέρυθρο (infrared) 0,7 – 1,4μm
- ραδιοκύματα 10cm -10km
- μικροκύματα 1mm – 1m

Η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιεί το ορατό φως, το υπεριώδες, το εγγύς και μέσο υπέρυθρο, το θερμικά υπέρυθρο και τα μικροκύματα (Nunally, 1969).

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεταδίδεται μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τα οποία σχηματίζονται όταν το ηλεκτρικό και μαγνητικό κύμα βρίσκονται σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους.

### **2.2.2 Τηλεπισκόπηση και απεικονιστική φασματομετρία**

Η απεικονιστική φασματομετρία πραγματοποιείται με ειδικά όργανα, τα φασματόμετρα, τα οποία μετρούν περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στη συνέχεια, η τηλεπισκόπηση αξιολογεί και αξιοποιεί τις πληροφορίες, προκειμένου να συσχετίσει τα εικονοστοιχεία μιας έκτασης με τα διάφορα μήκη κύματος. Τα εικονοστοιχεία αυτά τοποθετημένα σε διαδοχική ακολουθία, συνθέτουν την ευρύτερη εικόνα μιας έκτασης γης.

Τα διάφορα αντικείμενα συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο στην προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Μια εικόνα πολυφασματική που προέρχεται από ένα δορυφόρο, είναι η σύνθεση της ίδιας εικόνας ενός αντικειμένου (έκταση γης) την ίδια χρονική στιγμή, που όμως έχει καταγραφεί σε διαφορετικό μήκος κύματος. Η τηλεπισκόπηση στηρίζεται σε αυτή την αντίδραση στα διαφορετικά μήκη κύματος. Δηλαδή η ίδια έκταση γης μπορεί ανάλογα με το μήκος κύματος να

απεικονίζεται πιο φωτεινή είτε πιο σκοτεινή σε σημεία. Έτσι μας επιτρέπεται να διακρίνουμε μελετώντας μια εικόνα ποια στοιχεία της είναι τι, για παράδειγμα να ξεχωρίσουμε τα πετρώματα από τη βλάστηση (Αργιαλάς, 2000).

### **2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ – GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM**

Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί για τον προσδιορισμό ενός συστήματος GIS. Γενικά τα GIS (Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών), είναι συστήματα που επιτρέπουν τη χρήση γεωγραφικών πληροφοριών – δεδομένων με χωρικές συντεταγμένες. Τα συστήματα GIS επιτρέπουν την προβολή, την αναζήτηση, τον υπολογισμό και την ανάλυση χωρικών δεδομένων, που είναι δυσδιάκριτα σε διανυσματικά (vector) και αρχεία καννάβου (raster). Τα διανυσματικά αρχεία αποτελούνται από σημεία, γραμμές ή πολύγωνα, καθένα από τα οποία έχει χαρακτηριστικές τιμές. Τα αρχεία καννάβου είναι μια εικόνα ή πλέγμα, όπου κάθε κελί παίρνει χαρακτηριστικές τιμές (Fisher and Unwin, 2005).

### **2.4 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ LANDSAT**

Οι δορυφόροι Landsat, αποτελούν μια σειρά δορυφόρων που χωρίζονται σε 8 κατηγορίες (Landsat 1 – Landsat 8). Οι σειρές των δορυφόρων εκτείνονται χρονικά από το 1972, όταν η Nasa εκτόξευσε τον 1<sup>ο</sup> δορυφόρο της σειράς Landsat 1 και φθάνουν μέχρι και το 2013 με την εκτόξευση του δορυφόρου της σειράς Landsat 8. Καθώς οι σειρές εξελισσόταν, βελτιώθηκε ο χρόνος της επαναλαμβανόμενης προγραμματισμένης τροχιάς του δορυφόρου και η διακριτική ικανότητα των τελευταίων. Ο όρος διακριτική ικανότητα του δορυφόρου αναφέρεται στην περιοχή κάλυψης του εδάφους σε μέτρα (m), δηλαδή το μέγεθος του pixel. Ακόμα ένα στοιχείο που διαφέρει είναι το εύρος του μήκους κύματος κάλυψης του εδάφους. Τα συστήματα καταγραφής των σειρών Landsat στηρίζονταν κυρίως σε 2 μέσα καταγραφής : 1) τις κάμερες επιστρεφόμενης δέσμης – Return Beam Vidicon (RBV) και τον πολυφασματικό σαρωτή – Multispectral Scanner (MSS).

### 2.4.1 Κάμερες Επιστρεφόμενης Δέσμης – *Return Bean Vidicon ( Rbv )*

Στις πρώτες σειρές των δορυφόρων (Landsat 1 και 2) τα μήκη κύματος καλύπτουν τις περιοχές του μπλε/πράσινου (0,475 – 0,575μm) και του κόκκινου/εγγύς υπέρυθρου (0,69 – 0,83μm). Στον Landsat 3 το εύρος ήταν ενιαίο (πράσινο – εγγύς υπέρυθρο,

0,5 – 0,75μm) ενώ στις σειρές Landsat 4, 5, 6 και 7 ήταν ως εξής 0,5 – 0,6μm, 0,6 – 0,7μm, 0,7 – 0,8μm και 0,8 – 1,1μm.

### 2.4.2 Πολυφασματικός Σαρωτής – *Multi Spectral Scanner Mss*

Ο πολυφασματικός σαρωτής αποτελεί ουσιαστικά ένα σύστημα σάρωσης διασταυρούμενης τροχιάς. Η γωνία σάρωσης του εδάφους αρχικά ήταν 11,56° (Landsat 1, 2 και 3), ενώ εν συνεχεία αυξήθηκε στις 14,9° (Landsat 4 και 5). Στη σειρά Landsat 4 και 5 η τροχιά πτήσης των δορυφόρων μειώθηκε στα 700km, και επιπλέον μεταβλήθηκε η διακριτική ικανότητα από 79m σε 82m. Μια ακόμα διαφορά σε αυτές τις σειρές και έπειτα είναι η κατάργηση χρήσης των RBV. Οι τρεις πρώτοι δορυφόροι Landsat εξοπλίστηκαν με πολυφασματικούς σαρωτές (MSS) χωρικής ανάλυσης 80 μέτρων και φασματικής ανάλυσης τεσσάρων καναλιών στο ορατό και το εγγύς υπέρυθρο εύρος φάσματος

### 2.4.3 Θεματικός Χαρτογράφος - *Thematic Mapper ( Tm )*

Ο θεματικός χαρτογράφος αποτελεί το εξελιγμένο σύστημα καταγραφής στους δορυφόρους Landsat 4 και 5. Η ειδοποιός διαφορά με τον πολυφασματικό σαρωτή είναι το εύρος των τιμών των pixel. Πιο συγκεκριμένα οι διαφορετικές ραδιομετρικές τιμές ενός pixel είναι 0 -255. Στην ουσία οι Landsat 4 και 5 έχουν 7 κανάλια ανάμεσα στα οποία συμπεριλαμβάνεται και μια θερμική υπέρυθρη ζώνη. Η χωρική ανάλυση είναι 30 μέτρα, δηλαδή κάθε εικονοστοιχείο αντιπροσωπεύει ένα κομμάτι της επιφάνειας της γης διαστάσεων 30x30 τετραγωνικά μέτρα.

Φασματικό κανάλι	Μήκος κύματος (MSS) - μm	Μήκος κύματος (TM) – μm	Μήκος κύματος (ETM+) - μm	Κυριότερες εφαρμογές του TM
------------------	--------------------------	-------------------------	---------------------------	-----------------------------

1	0,5 – 0,6	0,45 – 0,52	0,45 – 0,52	Χαρτογράφηση παράκτιων υδάτων και διαφοροποίηση εδάφους βλάστησης
2	0,6 – 0,7	0,52 – 0,6	0,53 – 0,61	Ανάκλαση στο πράσινο (υγιής βλάστηση)
3	0,7 – 0,8	0,63 – 0,69	0,63 – 0,69	Απορρόφηση χλωροφύλλης και διαχωρισμός φυτών
4	0,8 -1,1	0,76 -0,9	0,78 – 0,9	Απογραφή βιομάζας
5		1,55 -1,75	1,55 -1,75	Υγρασία βλάστησης και διαχωρισμός χιονιού – νέφους
6		10,4 – 11,7	10,4 -12,5	Θερμική χαρτογράφηση
7		2,08 – 2,35	2,09 -2,35	Φυτική υγρασία και γεωλογική χαρτογράφηση

Πίνακας 4 : Συγκριτική παρουσίαση της εξέλιξης του προγράμματος Landsat 1-7.

#### 2.4.4 Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος - Enhanced Thematic Mapper Plus Etm+

Η αποστολή του Landsat 7 πραγματοποιήθηκε τον απρίλιο του 1999, εξοπλισμένος πλέον ο δορυφόρος με ένα εξελιγμένο θεματικό χαρτογράφο με την ονομασία ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Σύμφωνα με Παρχαρίδης (2015), τα βασικότερα πλεονεκτήματα του Landsat 7 σε σχέση με τον Landsat 5 είναι:

- Περιέχει ένα παγχρωματικό κανάλι με 15 m χωρική διακριτική ικανότητα. Το παγχρωματικό κανάλι καταγράφει δεδομένα στο διάστημα 0,52-0,9μm, πράγμα που προσδίδει βελτιωμένο λόγο σήματος/θόρυβο και κατ' επέκταση καλύτερο διαχωρισμό της βλάστησης. Επίσης η ταυτόχρονη εγκατάσταση με τα πολυφασματικά κανάλια δίνει εξαιρετική ποιότητα όταν τα δεδομένα τους συγχωνεύονται.
- Το νέο θερμικό κανάλι 6 έχει χωρική διακριτική ικανότητα 60m (σε σχέση με τα 120m που είχε σε όλους τους προηγούμενους δορυφόρους της σειράς Landsat).

- Φέρει έναν ηλιακό βαθμονομητή (dual mode) μαζί με μία εσωτερική λάμπα βαθμονόμησης. Αυτός ο συνδυασμός βελτιώνει την ικανότητα βαθμονόμησης του οργάνου. Γεωδαιτική ακρίβεια 400m κατά μήκος του κάθετου ίχνους.
- Έχει δυνατότητα μετάδοσης των δεδομένων που λαμβάνει με τρεις τρόπους: i) απευθείας, ii) μέσω του data relay satellite system, iii) με αποθήκευση και αργότερα μετάδοση. Μεγαλύτερη ραδιομετρική ποιότητα-8bits με επιλεγμένη τιμή ψηλής/χαμηλής προσθήκης (gain), με σκοπό τη βελτίωση της αντίθεσης (Mather 1999· Lillesand & Kiefer 2000)

### 2.4.5 Landsat 8

Ο δορυφόρος Landsat 8 εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 2013 εξοπλισμένος με δύο όργανα καταγραφής, το Operational Land Imager (OLI) και το Thermal Infrared Sensor (TIRS). Ο αισθητήρας OLI συλλέγει δεδομένα στο ορατό κοντινό υπέρυθρο, μικροκυματικό υπέρυθρο καθώς και στο παγχρωματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο αισθητήρας TIRS, είναι υπεύθυνος για την καταγραφή στα κανάλια του θερμικού υπέρυθρου. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα φασματικά κανάλια, τα μήκη κύματος και η ανάλυση τους για τους δύο αισθητήρες του Landsat 8.

Φασματικό κανάλι	Μήκος κύματος (μm)	Ανάλυση (m)
1 – Υπέρ μπλε (παράκτια/εναέρια)	0,43 – 0,45	30
2 – Μπλε	0,45 – 0,51	30
3 – Πράσινο	0,53 – 0,59	30
4 – Κόκκινο	0,64 -0,67	30
5 – Εγγύς υπέρυθρο (NIR)	0,85 – 0,88	30
6 – Μικροκυματικό υπέρυθρο (SWIR 1)	1,57 – 1,65	30
7 – Μικροκυματικό υπέρυθρο (SWIR 2)	2,11 – 2,29	30
8 - Παγχρωματικό	0,5 – 0,68	15

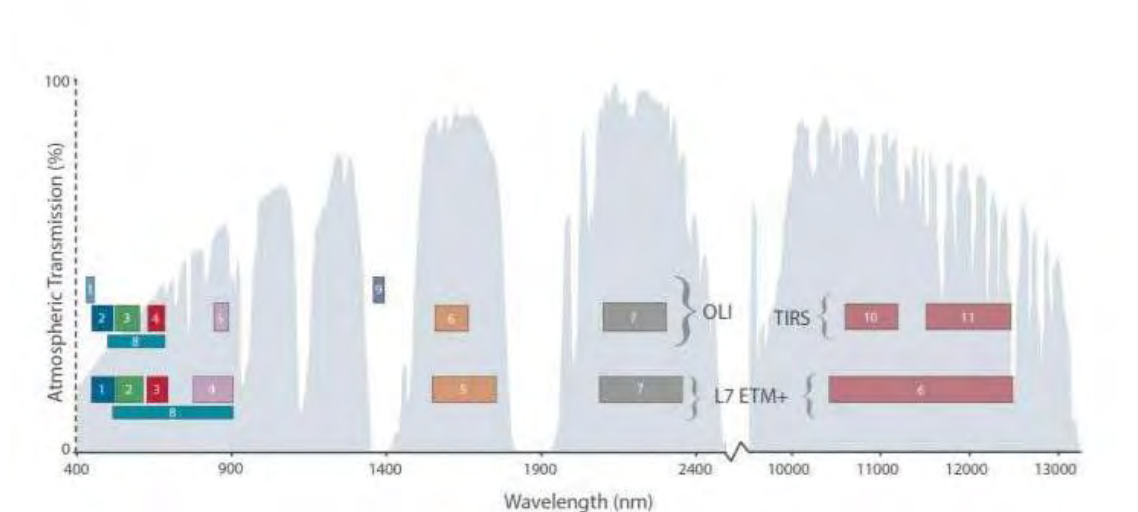


9 – Θύσανοι	1,36 – 1,38	30
10 – Θερμικό υπέρυθρο (TIRS1)	10,60 – 11,19	100 * (30)
11 – Θερμικό υπέρυθρο (TIRS2)	11,50 – 12,51	100 * (30)

Πίνακας 5 : Τα φασματικά κανάλια του Landsat 8 OLI / TIRS και τα χαρακτηριστικά τους.

Οι σημαντικές διαφορές σε σχέση με τους παλαιότερης γενιάς αισθητήρες (εικ. 3) είναι:

- Ο αισθητήρας OLI παρέχει δύο νέες φασματικές ζώνες, μία για την ανίχνευση νεφών (κανάλι 9) και μία για παρατηρήσεις της παράκτιας ζώνης (κανάλι 1).
- Ο Landsat 8 καταγράφει περισσότερες λήψεις της γης ανά ημέρα σε σχέση με τους προκατόχους του. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αυξημένη πιθανότητα καταγραφής δορυφορικών εικόνων χωρίς νέφη.
- Η ανάλυση είναι καλύτερη σε σχέση με τους προκατόχους και φτάνει μέχρι τα 15 μέτρα στο πανχρωματικό κανάλι.



Εικόνα 6. Τα φασματικά κανάλια των αισθητήρων OLI/TIRS και ETM+ (Πηγή: USGS)

## **2.5 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ**

### ***2.5.1 Ατμοσφαιρικές Επιδράσεις***

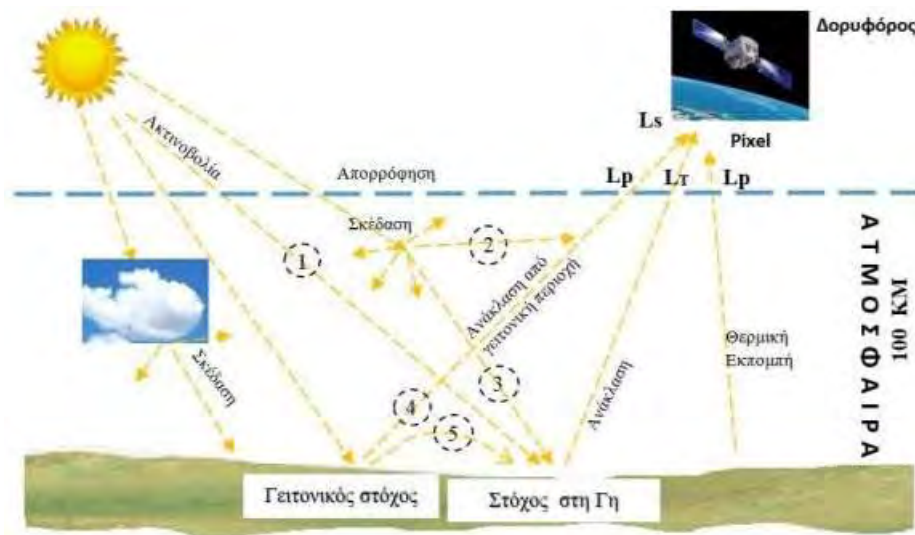
Ατμοσφαιρικό σφάλμα, ονομάζεται το υποβαθμισμένο αποτέλεσμα που καταγράφεται στους αισθητήρες του δορυφόρου λόγω των φαινομένων της σκέδασης (scattering) της απορρόφησης (absorption) και της διάθλασης (refraction). Ουσιαστικά οι τιμές που καταγράφονται από τους αισθητήρες του δορυφόρου LANDSAT είναι, η ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως αυτή προκύπτει από ένα σύστημα Ήλιος – Επιφάνεια – Αισθητήρας. Ακολουθεί ανάλυση του συγκεκριμένου συστήματος ώστε να γίνει κατανοητό για πιο λόγο μία ψηφιακή τιμή που καταγράφεται σε κάποια θέση ψηφίδας δεν αντιστοιχεί στην πραγματική ακτινοβολία αυτής, αλλά σε εξασθενημένη, λόγω απορρόφησης και σκέδασης της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα (Μερτικας, 2006).

Η ένταση του ηλεκτρομαγνητικού σήματος που λαμβάνει ένας δορυφορικός δέκτης εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες (Mather, 1999):

- α) Την ανάκλαση από τον στόχο.
- β) Την κλίση και τον προσανατολισμό της επιφάνειας σε σχέση με το ηλιακό αζιμούθιο.
- γ) Την ατμοσφαιρική επίδραση.
- δ) Τη γωνία λήψης του δέκτη.
- ε) Τη γωνία του ηλιακού ύψους.

Η συγκεκριμένη επίδραση είναι αντιστρόφως ανάλογη της φωτεινότητας επιφάνειας που καταγράφεται από τον αισθητήρα. Επομένως, αντικείμενα όπως οι υδάτινες επιφάνειες και τα Αυτό συμβαίνει λόγω των φαινομένων της διάχυσης και

απορρόφησης της ακτινοβολίας. Η διάχυση του φωτός είναι ειδική περίπτωση του φαινομένου της ανάκλασης που παρατηρείται όταν φωτεινά κύματα κατά τη πρόσπτωσή τους βρίσκουν σε στόχους με ακανόνιστες επιφάνειες ανακλώνται προς διάφορες κατευθύνσεις.



Εικόνα 7. Η Αλληλεπίδραση Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας – ατμόσφαιρας (Περάκης κ.α. 2015)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 (Περάκης κ.α. 2015) η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία απο την στιγμή που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα μέχρι την στιγμή που θα καταγραφεί από τον αισθητήρα του δορυφόρου υφίσταται εξασθένιση.

- Στην διαδρομή 1 η ηλιακή ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την σύσταση της ατμόσφαιρας και πραγματοποιείται το φαινόμενο της απορρόφησης. Τα αίτια εντοπίζονται σε ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας και συγκεκριμένα το όζον ( $O_3$ ), την ατμοσφαιρική υγρασία ( $H_2O$ ) και το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ).
- Στην διαδρομή 2 η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαχέεται στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να μην φτάσει στο έδαφος. Ένα ποσοστό της συγκεκριμένης ακτινοβολίας καταγράφεται από τους αισθητήρες.
- Στην διαδρομή 3 η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που δεν διαχέεται στην ατμόσφαιρα σκεδάζεται και καταλήγει στην επιφάνεια του εδάφους. Ο σκεδασμός είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο η ακτινοβολία παρεκκλίνει της πορείας της λόγω των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας.

- Στην διαδρομή 4 η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ανακλάται από γειτονική περιοχή του στόχου και καταγράφεται από τους αισθητήρες.
- Στην διαδρομή 5 η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υφίσταται όπως και στη διαδρομή 4 ανάκλαση με τη διαφορά ότι σκεδάζεται και προσπίπτει στην περιοχή μελέτης.

Όπως γίνεται κατανοητό η καταγραμμένη από τον αισθητήρα ακτινοβολία (Ls) είναι ένα άθροισμα των διαδρομών 2 και 4 (Lt) καθώς και της θερμικής εκπομπής (Lp). Για να μπορέσουμε να μελετήσουμε τα δεδομένα και να εξάγουμε ασφαλή αποτελέσματα το άθροισμα Lt πρέπει να εξαλειφθεί. Σε επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθούν οι μέθοδοι εξάλειψης της συγκεκριμένης ακτινοβολίας μέσω των ατμοσφαιρικών διορθώσεων.

### 2.5.2 Ατμοσφαιρική Διόρθωση

Οι εικόνες που λαμβάνονται από τους δορυφόρους επηρεάζονται από τα αέρια της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας της ληφθείσας εικόνας. Επομένως, για να πραγματοποιήσει η τηλεπισκόπηση τον κύριο σκοπό της – την αναγνώριση και ταξινόμηση των επιφανειών γης – θα πρέπει προηγουμένως με κάποιο τρόπο να περιορίσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο την επίδραση αυτή. Η διαδικασία αυτή περιορισμού των σφαλμάτων ονομάζεται *ατμοσφαιρική διόρθωση*, και αναφέρεται στις μεθόδους μετατροπής των τιμών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως αυτές καταγράφονται από τον τηλεοπτικοεικονιστή, σε πραγματικές τιμές ανάκλασης (Liang, 2004).

Η ατμοσφαιρική διόρθωση επιβάλλεται να προηγηθεί της περαιτέρω επεξεργασίας μιας εικόνας, διότι βελτιώνει την ποιότητά της και προσομοιάζει τελικά, όσο αυτό επιτρέπεται από τις συνθήκες, στην πραγματικότητα. Μέσω αυτής της διαδικασίας καθίσταται πιο αποτελεσματική η σύγκριση δεδομένων και η διαχρονική παρατήρηση μιας έκτασης γης.

Οι τρόποι με τους οποίους πραγματοποιείται η ατμοσφαιρική διόρθωση χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις απόλυτες ατμοσφαιρικές διορθώσεις και τις σχετικές ατμοσφαιρικές διορθώσεις.

#### 2.5.2.1 Απόλυτες Ατμοσφαιρικές Διορθώσεις

Οι απόλυτες μέθοδοι ατμοσφαιρικής διόρθωσης περιλαμβάνουν τον υπολογισμό των συνθηκών της ατμόσφαιρας τη χρονική στιγμή λήψης μιας εικόνας. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, λαμβάνονται υπόψη τα δεδομένα που αφορούν το χρόνο λήψης της εικόνας καθώς και το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της υπό μελέτη έκτασης.

#### 2.5.2.2 Σχετικές Ατμοσφαιρικές Διορθώσεις

Οι εικόνες που λαμβάνονται από μια περιοχή μέσω διαφορετικών φασματικών καναλιών ή ακόμα και από διαφορετική γωνία λήψης, αποτελούν αντικείμενο των σχετικών διορθώσεων. Ο χρόνος λήψης των δεδομένων δεν παίζει ρόλο στις σχετικές ατμοσφαιρικές διορθώσεις σε αντίθεση με τις απόλυτες μεθόδους διόρθωσης.

Οι μέθοδοι ατμοσφαιρικής διόρθωσης διακρίνονται σε μεθόδους ατμοσφαιρικής μοντελοποίησης και σε μεθόδους εμπειρικής μοντελοποίησης (Τσακίρη – Στρατή, 2007). Στις μεθόδους ατμοσφαιρικής μοντελοποίησης εκφράζονται ποσοτικά τα δεδομένα έτσι ώστε να υπολογιστούν οι ακριβείς ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη λήψη μιας εικόνας. Τα μοντέλα αυτά ονομάζονται κώδικες ατμοσφαιρικής μεταφοράς. Στις μεθόδους εμπειρικής μοντελοποίησης, η ατμοσφαιρική διόρθωση στηρίζεται σε πραγματικά παραδείγματα (Τσακίρη – Στρατή, 2007).

Οι μέθοδοι της ατμοσφαιρικής διόρθωσης γενικά κατηγοριοποιούνται ως εξής (Mather, 1999)

- Μοντέλα που σχετίζονται με την εικόνα λήψης καθαυτή και περιλαμβάνουν τεχνικές αφαίρεσης του μελανού αντικειμένου (εύρεση της ελάχιστης τιμής στο ιστόγραμμα) και την παλινδρόμηση. Οι τεχνικές αυτές μετατρέπουν την ανάκλαση στην ατμόσφαιρα σε πραγματικές τιμές ανάκλασης εδάφους.
- Αριθμητικά μοντέλα που είναι μεν πιο πολύπλοκα αλλά ταυτόχρονα παρέχουν πιο λεπτομερή και ακριβή περιγραφή των μετατροπών των διαφορετικών τιμών ανάκλασης σε πραγματικές τιμές ανάκλασης της ακτινοβολίας στο έδαφος. Έχουν αναπτυχθεί αρκετά τέτοιου τύπου αριθμητικά μοντέλα όπως τα LOWTRAN (Kneizys et al., 1988), MODTRAN (Berk et al., 1995), ATREM (Gao et al., 1993).
- Η τελευταία και πιο πολύπλοκη κατηγορία περιλαμβάνει την αξιολόγηση πολυφασματικών εικόνων με τη χρήση των πινάκων συνδιακύμανσης.

Όλες οι μέθοδοι ατμοσφαιρικής διόρθωσης που αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν ως στόχο τον περιορισμό των συντελεστών που υποβαθμίζουν την ποιότητα της εικόνας και εντέλει στη μετατροπή των τιμών ανάκλασης ακτινοβολίας του απεικονιστή σε πραγματικές τιμές ανάκλασης του εδάφους.

### 2.5.2.3 Αφαίρεση Σκοτεινού Αντικειμένου - *Dos1 Correction*

Η μέθοδος ατμοσφαιρικής διόρθωσης που χρησιμοποιήθηκε κατά την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων ονομάζεται (DOS) ή αλλιώς Dark Object Subtraction δηλαδή αντικατάσταση σκοτεινού αντικειμένου. Ο Chavez (1996) εξηγεί ότι "η βασική παραδοχή είναι ότι μέσα στην εικόνα κάποια εικονοστοιχεία είναι σε πλήρη σκιά και οι ακτινοβολίες τους που λαμβάνονται στο δορυφόρο οφείλονται σε ατμοσφαιρική σκέδαση (διαδρομή ακτινοβολίας). Η υπόθεση αυτή συνδυάζεται με το γεγονός ότι πολύ λίγοι στόχοι στην επιφάνεια της γης είναι απόλυτα μαύροι, οπότε ένα υποτιθέμενη ελάχιστη ανάκλαση ένα τοις εκατό είναι καλύτερη από το μηδέν τοις εκατό ". Αξίζει να σημειωθεί ότι η ακρίβεια των τεχνικών διόρθωσης που πραγματοποιούνται με βάση την εικόνα είναι γενικά χαμηλότερη από τις διορθώσεις βάσει φυσικών μέσων, αλλά είναι πολύ χρήσιμες όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμες ατμοσφαιρικές μετρήσεις, οι οποίες μπορούν να βελτιώσουν την εκτίμηση της ανάκλασης της επιφάνειας της γης. Η διαδρομή της ακτινοβολίας δίνεται από τον (Sobrino et al., 2004 ):

$$L_p = L_{min} - L_{DO1\%}$$

όπου:

$L_{min}$  : η ακτινοβολία που αντιστοιχεί σε μια ψηφιακή τιμή μέτρησης για την οποία το άθροισμα όλων των εικονοστοιχείων με τιμές μέτρησης μικρότερες ή ίσες της συγκεκριμένης τιμής, ισούται με το 0,01% του συνόλου των εικονοστοιχείων της ψηφιακής εικόνας (Sobrino et al., 2004).

$L_{DO1\%}$  : ακτινοβολία του σκοτεινού αντικειμένου, υποτίθεται ότι έχει τιμή ανάκλασης 0,01. Ειδικότερα για τις εικόνες που προέρχονται από τους δορυφόρους Landsat ισχύει η παρακάτω σχέση :

$$L_{min} = ML * DN_{min} + A_L$$

Η ακτινοβολία του σκοτεινού αντικειμένου δίνεται από τον (Sobrino, et al., 2004):

$$L_{DO1\%} = 0.01 * [(ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s * T_z) + E_{down}] * T_v / (\pi * d^2)$$

Επομένως η διαδρομή της ακτινοβολίας είναι:

$$L_p = M_L * DN_{min} + A_L - 0.01 * [(ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s * T_z) + E_{down}] * T_v / (\pi * d^2)$$

Υπάρχουν αρκετές τεχνικές DOS (π.χ. DOS1, DOS2, DOS3, DOS4), με βάση διαφορετικές παραδοχές σχετικά με το  $T_v$ ,  $T_z$  και  $E_{down}$ . Η πιο απλή τεχνική είναι το DOS1, όπου γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές (Moran et al., 1992):

- $T_v = 1$
- $T_z = 1$
- $E_{down} = 0$

Επομένως η διαδρομή της ακτινοβολίας που προκύπτει είναι:

$$L_p = M_L * DN_{min} + A_L - 0.01 * ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s / (\pi * d^2)$$

Και η προκύπτουσα ανάκλαση της επιφάνειας της γης δίνεται από:

$$\rho = [\pi * (L_{\lambda} - L_p) * d^2] / (ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s)$$

Οι τιμές για την  $ESUN$  [ $W(m^2 * \mu m)$ ] για τους δορυφόρους Landsat, δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

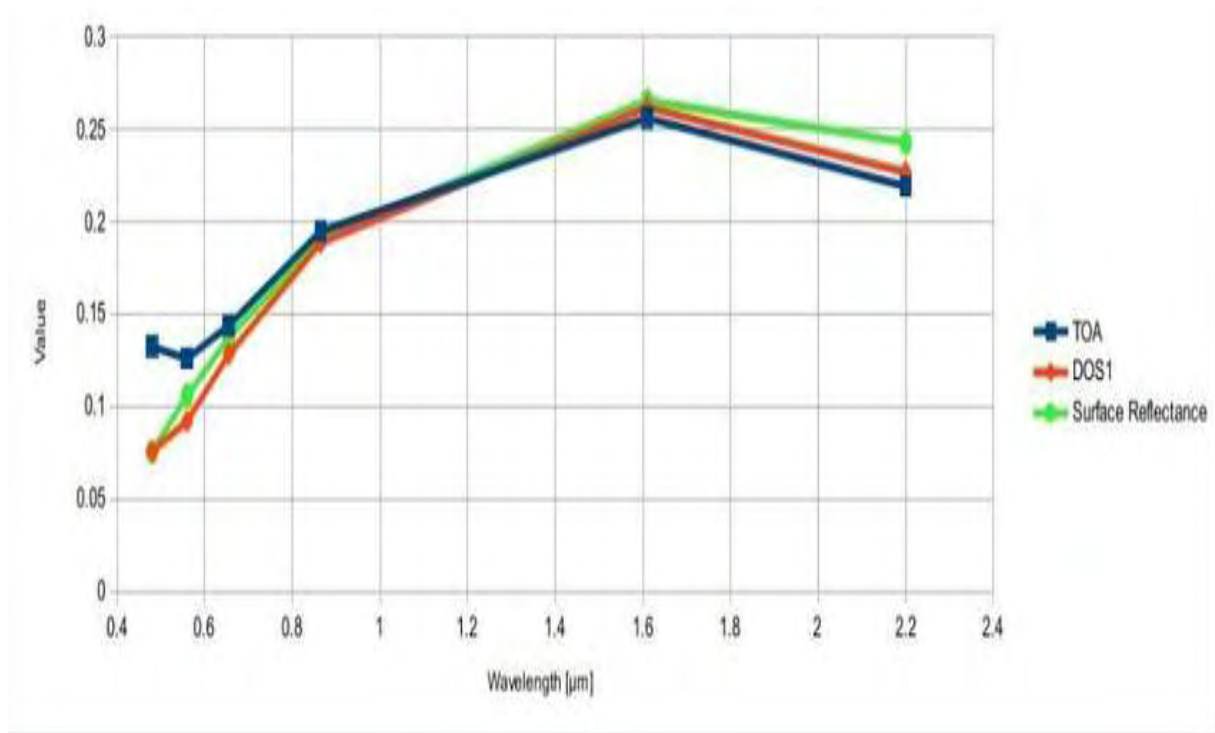
Φασματικό κανάλι	Landsat 1 MSS*	Landsat 2 MSS*	Landsat 3 MSS*	Landsat 4 TM*	Landsat 5 TM*	Landsat 7 ETM+ *
1				1983	1983	1970
2				1795	1796	1842
3	1823	1829	1839	1539	1536	1547
4	1559	1539	1555	1028	1031	1044

5	1276	1268	1291	219,8	220	225,7
6	880,1	886,6	887,9			
7				83,49	83,44	82,06
8						1369

Πίνακας 6 : Οι τιμές της μεταβήτης ESUN. (Congedo, 2017)

Οι τιμές που αναφέρθηκαν είναι σύμφωνα με Chander, Markham & Helder (2009) για τους δορυφόρους Landsat 1,2,3,4 και 5. Η τιμή για τον δορυφόρο Landsat 7 ETM+ σύμφωνα με NASA (2011). Για τον Landsat 8, οι τιμές ESUN μπορούν να υπολογιστούν σύμφωνα με τον εξής τύπο :

$$ESUN = (\pi * d^2) * RADIANCE\_MAXIMUM / REFLECTANCE\_MAXIMUM$$
  
(Congedo, 2017), όπου οι τιμές για *RADIANCE\_MAXIMUM* και *REFLECTANCE\_MAXIMUM*, παρέχονται από τα μεταδεδομένα της εικόνας.



Εικόνα 8. Σύγκριση της ανακλαστικότητας TOA (μπλε χρώμα) , της διορθωμένης ανάκλασης με την μέθοδο DOS1 (κόκκινο χρώμα) και της αντανάκλασης επιφανείας στο δορυφόρο Landsat (πράσινο χρώμα) (Congedo, 2017).



## **2.6 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ**

Με τον όρο ταξινόμηση εννοούμε τη διαδικασία εκείνη που σχετίζεται με το διαχωρισμό των αντικειμένων και την καταχώρησή τους σε δύο ή περισσότερες τάξεις. Η ταξινόμηση αποτελεί μέθοδο της στατιστικής. Πρωταρχικός στόχος της είναι η εύρεση και περιγραφή της διαφοροποίησης των αντικειμένων. Δεύτερος στόχος της είναι η επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου, που θα επιτρέψει το διαχωρισμό των κατηγοριών.

Αρχικά θα πρέπει να τονιστεί πως η κάλυψη και η χρήση γης δεν είναι το ίδιο πράγμα. Η κάλυψη γης αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης όπως η βλάστηση, μια λίμνη ή μία πόλη. Η χρήση γης περιγράφει τις οικονομικές και κοινωνικές λειτουργίες την έκτασης. Τα αποτελέσματα των καλύψεων γης εξαρτώνται άμεσα και επηρεάζονται από τις χρήσεις γης.

Η ταξινόμηση ψηφιακής εικόνας είναι η διαδικασία ομαδοποίησης των εικονοστοιχείων με παρόμοιες ιδιότητες, κάνοντας χρήση αλγορίθμων. Τα εικονοστοιχεία τοποθετούνται σε διάφορες ομάδες ανάλογα με τις τιμές φωτεινότητας σε διαφορετικά φασματικά κανάλια. Υπάρχουν δύο είδη ταξινομητών, οι φασματικοί και οι χωρικοί (συνάφειας). Οι φασματικοί ταξινομητές βασίζονται στις τιμές φωτεινότητας σε κάθε φασματική ζώνη, ενώ οι χωρικοί ταξινομητές βασίζονται επιπλέον και στη θέση των εικονοστοιχείων στο χώρο. Οι δύο κύριες κατηγορίες ταξινόμησης είναι η επιβλεπόμενη και η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Περάκης κ.α. 2015). Υπάρχουν όμως και μέθοδοι που προκύπτουν από το συνδυασμό των επιβλεπόμενων και μη επιβλεπόμενων ταξινομήσεων. Αυτή η κατηγορία αποτελεί τις υβριδικές ταξινομήσεις (Lillesand and Kiefer, 1994).

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση αποτελεί τη διαδικασία εκείνη κατά την οποία ο ταξινομητής γνωρίζει εκ των προτέρων πληροφορίες για τις καλύψεις και στην πορεία

ταξινομούνται και τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία. Σε αντίθεση στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση ο διαχωρισμός των εικονοστοιχείων σε ομάδες διαφορετικών φασματικών καναλιών πραγματοποιείται δίχως να είναι γνωστές οι καλύψεις γης στον ταξινομητή.

Σύμφωνα με Brogaard και Ólafsdóttir (1997) για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης πρέπει να καθοριστούν ή να υπολογιστούν εξαρχής τα παρακάτω:

- Η χωρική κατανομή των δειγματοληπτικών περιοχών στην περιοχή μελέτης.
- Ο αριθμός των δειγματοληπτικών περιοχών που απαιτούνται για να καλύψουν την περιοχή μελέτης. Η επιλογή των κατάλληλων δειγματοληπτικών περιοχών είναι κρίσιμο βήμα για τη σωστή επιλογή του αλγορίθμου
- Το μέγεθος των δειγματοληπτικών περιοχών (προσαρμοσμένο στην επιλεγείσα μέθοδο δειγματοληψίας, π.χ. stratum στην στρωματοποιημένη δειγματοληψία).
- Ο αριθμός των δειγματοληπτικών υπο-περιοχών στο εσωτερικό μιας δειγματοληπτικής περιοχής.
- Το μέγεθος των δειγματοληπτικών περιοχών σε κάθε δειγματοληπτική περιοχή. Τέλος, οι ίδιοι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι πέραν του χρόνου και του κόστους, το ανθρώπινο δυναμικό παίζει σημαντικό ρόλο στην όλη διαδικασία.

### 2.6.1 Μη Επιβλεπόμενες Ταξινομήσεις

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, τα στοιχεία που γνωρίζει ο χρήστης για τα χαρακτηριστικά της εικόνας (και κατ' επέκταση της κάλυψης) είναι ελάχιστα. Επομένως η τεχνική της ομαδοποίησης (clustering), είναι μια διαδικασία εξαιρετικά χρήσιμη προκειμένου να βρεθούν και να προσδιοριστούν τα κοινά φασματικά χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι οι εξής:

- Αλγόριθμος 1 - μέθοδος των K μέσων τιμών

Στη μέθοδο αυτή ορίζονται αυθαίρετα τα K κέντρα των ομάδων των m καναλιών (K διανύσματα με m ραδιομετρικές τιμές). Κάθε εικονοστοιχείο ταξινομείται στην πιο κοντινή ομάδα, δηλαδή με τη μικρότερη ραδιομετρική απόσταση. Στις ομάδες που

σχηματίζονται προσδιορίζεται το κέντρο βάρους και τελικά οι ομάδες συνενώνονται με εκείνες που έχουν κοντινά κέντρα βάρους. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειαστεί, έως ότου, δεν αλλάζουν περαιτέρω οι ομάδες.

- Αλγόριθμος 2 - μέθοδος των μέγιστων συχνοτήτων των ιστογραμμάτων

Όταν κατασκευάσουμε το ιστόγραμμα των ραδιομετρικών τιμών μιας εικόνας, θα παρατηρήσουμε την ύπαρξη κορυφών (μέγιστα) κατά τόπους, γύρω από τις οποίες συγκεντρώνονται σε μικρή ή μεγαλύτερη συχνότητα τα εικονοστοιχεία. Ως κέντρα της κάθε ομάδας ορίζονται τα κέντρα των ψηφίδων που αντιστοιχούν στις κορυφές του ιστογράμματος.

- Αλγόριθμος 3 - μέθοδος ISODATA

Η μέθοδος αυτή αποτελεί εξέλιξη της μεθόδου των K-μέσων τιμών (Ball and Hall, 1995). Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι μετά το πέρας κάθε επανάληψης, απορρίπτονται ομάδες ή άλλες συνενώνονται και δημιουργούνται καινούριες. Ο ασαφής αλγόριθμος ISODATA για να εκτελεστεί απαιτεί ικανό υπολογιστικό χρόνο και το σύστημα να διαθέτει μεγάλη μνήμη (Χάρου 2001).

## 2.6.2 Επιβλεπόμενες Ταξινόμησης

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιείται συχνά στην Τηλεπισκόπηση. Ορίζεται ως η διαδικασία ταξινόμησης των εικονοστοιχείων με γνωστά τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κάλυψης. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα: α) ανάλογα με τις ανάγκες και τους σκοπούς της κάθε ταξινόμησης, ο χρήστης γνωρίζει εκ των προτέρων το σύνολο των χαρακτηριστικών της κάλυψης, β) δεν υπάρχει το πρόβλημα αντιστοίχισης των φασματικών καναλιών με το είδος της πληροφορίας που αντιπροσωπεύει το καθένα και γ) τα σφάλματα που θα δημιουργήσουν ενδεχομένως πρόβλημα στην ταξινόμηση, είναι ήδη γνωστά από τη μελέτη των δειγματοληπτικών περιοχών. Η μέθοδος αυτή όμως παρουσιάζει και μειονεκτήματα που σχετίζονται κατά κύριο λόγο με το γεγονός ότι ο χρήστης διαλέγει ένα δικό του τρόπο ταξινόμησης των δεδομένων. Οι κύριοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την καταχώρηση των εικονοστοιχείων σε τάξεις κατά την επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι α) ο κανόνας του παραλληλεπιπέδου, β) η μέθοδος της

ελάχιστης ραδιομετρικής απόστασης από το μέσο όρο των ομάδων και γ) η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood).

### 2.6.2.1 Μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)

Ως μέγιστη πιθανοφάνεια ορίζεται ο αλγόριθμος που υπολογίζει την πιθανότητα κατανομής σε τάξεις. Προσδιορίζει την πιθανότητα να ανήκει ένα εικονοστοιχείο σε μια τάξη επιφάνειας γης, σε σύνδεση και με το θεώρημα Bayes. Συγκεκριμένα, η πιθανότητα κατανομής σε τάξεις προκύπτει από μοντέλα πολλών μεταβλητών (Richards and Jia, 2006). Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος, απαιτείται ικανοποιητικός αριθμός εικονοστοιχείων για κάθε πεδίο "εκπαίδευσης", ώστε να προκύψει η συνάρτηση της μεταβλητής (Richards and Jia, 2006).

Η ταξινόμηση με τη μέθοδο της **μέγιστης πιθανοφάνειας** (maximum likelihood), αναφέρεται στην πιθανότητα  $p(\Omega_i | \mathbf{x})$  να ανήκει ένα εικονοστοιχείο με διάνυσμα  $\mathbf{x}$  στο φασματικό κανάλι, στην τάξη  $\Omega_i$ . Οι συνιστώσες  $x_1, x_2, \dots, x_n$  του διανύσματος  $\mathbf{x}$  είναι οι τιμές φωτεινότητας του εικονοστοιχείου στις φασματικές ζώνες 1, 2, ..., n, αντίστοιχα.

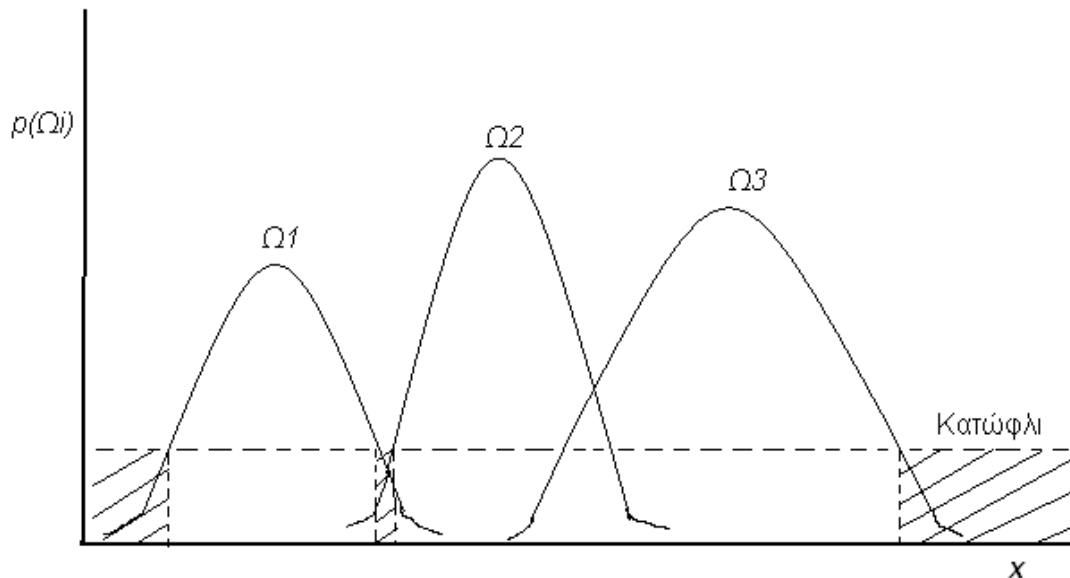
Το κριτήριο της μέγιστης πιθανοφάνειας, διατυπώνεται ως εξής:

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

Εντούτοις σε περίπτωση που η πιθανότητα  $p(\Omega_i | \mathbf{x})$  είναι αρκετά μικρή, δεν υπάρχει λόγος να ταξινομηθεί το εικονοστοιχείο σε κάποια τάξη. Μικρές τιμές πιθανότητας  $p(\Omega_i | \mathbf{x})$  σημαίνουν ότι το διάνυσμα  $\mathbf{x}$  βρίσκεται στα όρια μεταξύ δυο περιοχών ομαδοποίησης (clusters), ή στις παρυφές ενός cluster (βλ. σχ. 4). Επομένως, εκτός από τη σχέση (1), θα πρέπει να ικανοποιείται και η παρακάτω σχέση:

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

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

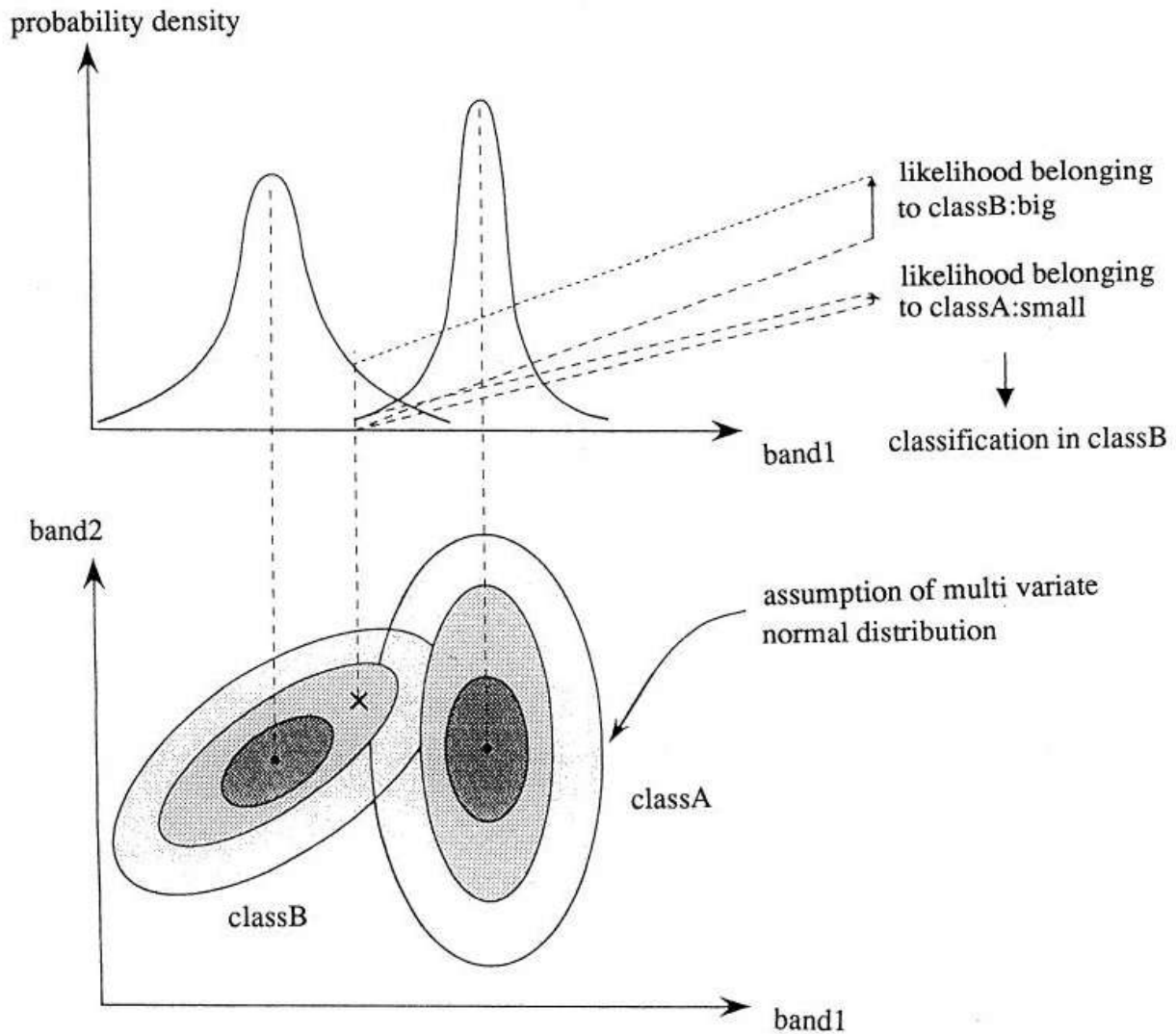


Εικόνα 9. Ταξινόμηση μέγιστης πιθανοφάνειας, με βάση μια μόνο φασματική ζώνη (άξονας  $x$ ). Πηγή: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (2017).

Τα εικονοστοιχεία με τιμές φωτεινότητας στις σκιασμένες περιοχές της εικόνας 9, 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.

Ένας άλλου είδους διαχωρισμός μεταξύ μεθόδων ταξινόμησης διαχωρίζει την ελεγχόμενη (supervised) από τη μη ελεγχόμενη (unsupervised) ταξινόμηση. Η ελεγχόμενη ταξινόμηση απαιτεί από τον αναλυτή να αναγνωρίσει σε μια εικόνα περιοχές που ξέρει ότι ανήκουν σίγουρα σε κάποια συγκεκριμένη κατηγορία, με σκοπό ουσιαστικά να οδηγήσει ο ίδιος την ταξινόμηση. Στη μη ελεγχόμενη ταξινόμηση η διαδικασία προχωρεί με ελάχιστη συνεισφορά του αναλυτή και μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια έρευνα φυσικών ομάδων από εικονοστοιχεία που βρίσκονται και μπορούν να διαχωριστούν μέσα σε μια εικόνα. Έτσι, στη μεν ελεγχόμενη προσέγγιση ταξινόμησης σχεδιάζουμε χρήσιμες κατηγορίες πληροφόρησης και έπειτα εξετάζουμε

τον φασματικό τους διαχωρισμό, στη δε μη ελεγχόμενη καθορίζουμε φασματικές ομάδες και μετά καθορίζουμε την ωφελιμότητα της πληροφόρησης που παράγουν (Campbell, 1996).



Εικόνα 10. Η μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Murai, S. (1995)

## **2.7 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ - ACCURACY ASSESSMENT**

Μετά την διαδικασία της ταξινόμησης, είναι χρήσιμο να εκτιμηθεί η ακρίβεια της ώστε να εντοπιστούν και να ποσοτικοποιηθούν τυχόν σφάλματα. Η εκτίμηση της ακρίβειας (Accuracy Assessment) αποτελεί τη διαδικασία ποσοτικού προσδιορισμού της ταξινόμησης που πραγματοποιήθηκε από το χρήστη. Η εκτίμηση της ακρίβειας είναι ένα σημαντικό κομμάτι της ταξινόμησης και πραγματοποιείται συνήθως με τη σύγκριση του αποτελέσματος της ταξινόμησης με ορισμένα δεδομένα αναφοράς που θεωρείται ότι αντιστοιχούν στα πραγματικά χαρακτηριστικά της εδαφικής κάλυψης. Τα δεδομένα αναφοράς περιλαμβάνουν το πραγματικό έδαφος, τις εικόνες υψηλότερης ανάλυσης καθώς και χάρτες.

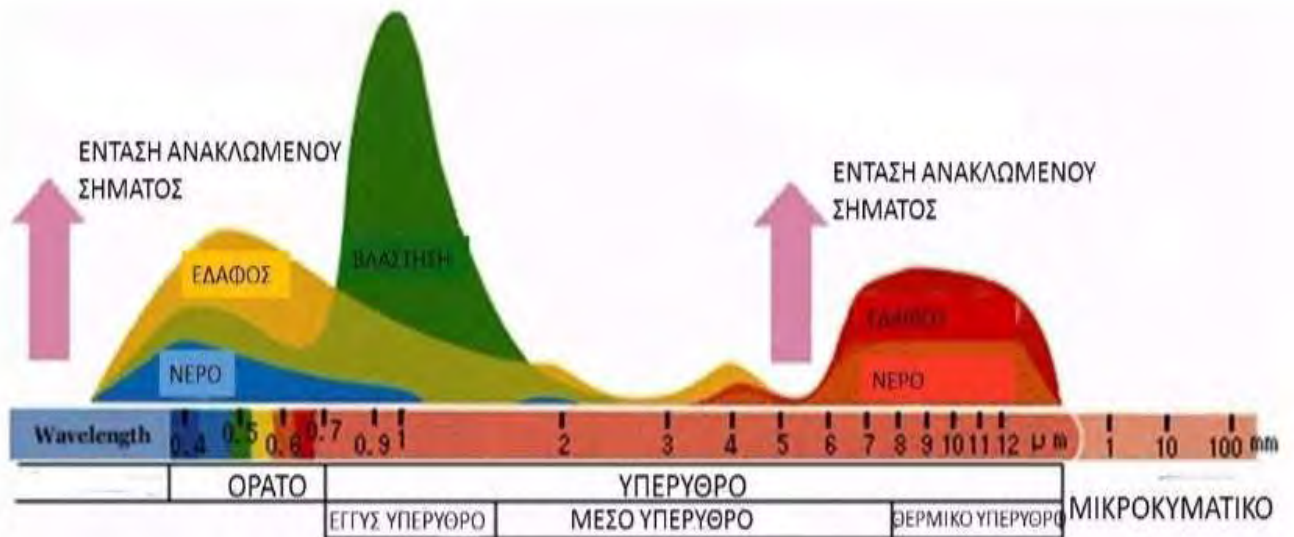
Τα λάθη αυτά σχετίζονται με τις κλάσεις εκείνες που η πληροφόρησή τους κατανέμεται σε μεγάλο φασματικό εύρος και συνεπώς είναι δύσκολο να ταξινομηθούν σωστά (Ψωμιάδης 2000). Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια των ταξινομήσεων, είναι η μέθοδος της δειγματοληψίας και η ακριβής χωρική τοποθέτηση των δειγμάτων (Plourde and Congalton 1992).

Τα σφάλματα ταξινόμησης χωρίζονται στα σφάλματα αποκλεισμού και τα σφάλματα ένταξης. Τα σφάλματα αποκλεισμού αφορούν περιοχές που εξαιρούνται από την κατηγορία την οποία ανήκουν, ενώ τα σφάλματα ένταξης αφορούν περιοχές που συμπεριλαμβάνονται σε λάθος κατηγορία ταξινόμησης.

## **2.8 ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ -- SPECTRAL SIGNATURES**

Η ποσότητα και η φασματική κατανομή της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από ένα αντικείμενο χρησιμοποιούνται ως μέσα αναγνώρισης του αντικειμένου αυτού, αναφερόμενα ως φασματική ταυτότητα (spectral signature) ή φασματική απόκριση (spectral response) του αντικειμένου και καταγράφονται από τους δέκτες (sensors) των δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά παρατήρησης της Γης (Campbell 1996, Mather 1999, Παρχαρίδης 2015 ). Στην ουσία

όπως φαίνεται και στην εικόνα 11, κάθε διαφορετικός τύπος επιφάνειας αντανακλά την ακτινοβολία με διαφορετικό τρόπο, με αποτέλεσμα την διαφοροποίηση στις τιμές αισθητήρων κατά την καταγραφή. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται δυνατή η ταξινόμηση κατηγοριών όπως το νερό, η βλάστηση, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες κ.α.



Εικόνα 11. Τυπικές καμπύλες φασματικής απόκρισης για διάφορα υλικά της γήινης επιφάνειας σε εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 0,3 έως 12 περίπου  $\mu m$  (Παρχαρίδης, 2015)



### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

#### **3.1 ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

Για τις ανάγκες τις εργασίες αποκτήθηκαν δεδομένα διαφόρων τύπων σχετικά με την περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα αποκτήθηκε ο χάρτης κάλυψης γης για το 2000 (Corine 2000) που βασίζεται σε οπτική φωτοερμηνεία εικόνων LANDSAT 7 ETM+ από εθνικές ομάδες εργασίας. Τα δεδομένα του Corine αποκτήθηκαν από την ιστοσελίδα <http://geodata.gov.gr/dataset/corine-2000> και αφορούν την κάλυψη γης για την Ελλάδα και το έτος 2000, σύμφωνα με τα παραδοτέα του προγράμματος CORINE της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επίσης από τον ίδιο ιστότοπο αποκτήθηκαν το οδικό δίκτυο της χώρας, καθώς και τα όρια των δήμων. Με την βοήθεια εργαλείων του προγράμματος QGIS 2.14.15 προέκυψε ο πίνακας που δείχνει αναλυτικά το μήκος (χιλιόμετρα) και τις κατηγορίες του οδικού δικτύου στα όρια της περιοχής μελέτης.

#### **3.2 ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Οι δορυφορικές εικόνες είναι αρχεία καννάβου (raster), που αποτελούνται από εικονοστοιχεία (pixel) με εύρος τιμών 0-255. Το συγκεκριμένο εύρος αντιπροσωπεύει τις ραδιομετρικές τιμές της εικόνας και εκφράζεται μόνο με ακέραιους αριθμούς.

Οι δορυφορικές εικόνες για την ανάγκη της εργασίας αποκτήθηκαν από τον ιστότοπο <http://earthexplorer.usgs.gov/> δωρεάν με την προϋπόθεση να χρησιμοποιηθούν για ακαδημαϊκούς σκοπούς. Το αρχείο κάθε δορυφορικής εικόνας αποτελείται από τα κανάλια της και ένα αρχείο μεταδεδομένων (metadata) που περιέχει επιπρόσθετα στοιχεία για κάθε κανάλι, τα οποία είναι απαραίτητα στην περαιτέρω επεξεργασία τους. Σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια και με γνώμονα τα βέλτιστα τελικά αποτελέσματα για την διαχρονική μελέτη του Βερμίου, επιλέχθηκαν δορυφορικές εικόνες του 1987 και του 2016.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής :

1. Περιοχή μελέτης. Το αποτύπωμα κάθε εικόνας (footprint) καθώς και οι συντεταγμένες αυτής να ταυτίζονται.

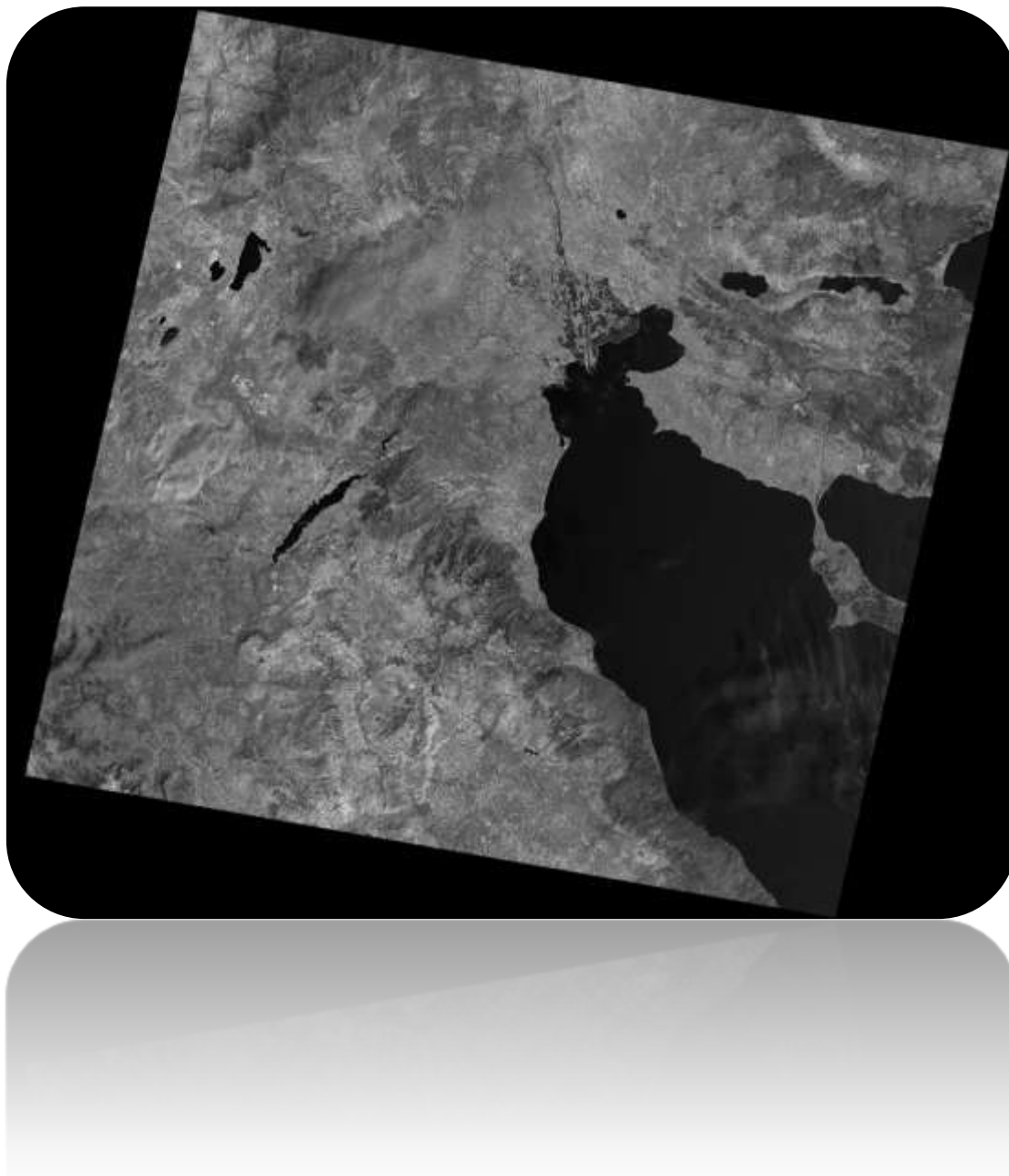
2. Η εποχή λήψης. Η ταύτιση τόσο της φυσικής όσο και της εποχικής βλάστησης είναι εφικτή και συγκρίσιμη, μόνο εάν οι δορυφορικές εικόνες έχουν ληφθεί τον ίδιο μήνα του έτους.
3. Αριθμός φασματικών καναλιών. Για να είναι συγκρίσιμες οι πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες θα πρέπει να έχουν τον ίδιο αριθμό φασματικών καναλιών.
4. Ποσοστό νεφοκάλυψης μικρότερο του 10%. Αυξημένα ποσοστά νεφοκάλυψης είναι ικανά να αλλοιώσουν την ποιότητα και την ορθότητα των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας, καθιστώντας αυτές αναξιόπιστες σύγκρισης.

Στον πίνακα 1 αναφέρονται τα στοιχεία για τις δορυφορικές εικόνες που επιλέχθηκαν για την διαχρονική μελέτη. Αναλυτικά, δίνεται η ημερομηνία λήψης της εικόνας, ο δορυφόρος προέλευσης και το ποσοστό νεφοκάλυψης.

Έτος	Ημερομηνία	Ωρα	Δορυφόρος	Ποσοστό νεφοκάλυψης
1987	19 Ιουλίου	08:35:45	Landsat 5 TM	6.00
2016	16 Ιουλίου	09:10:12	Landsat OLI/TIRS 8	2.63

Πίνακας 7 : Χαρακτηριστικά δορυφορικών εικόνων για διαχρονική ανάλυση

Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει ένα τυχαίο κανάλι μιας εκ των δύο δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση και διαχρονική μελέτη της εργασίας πριν υποστεί την οποιαδήποτε γεωμετρική ή ατμοσφαιρική επεξεργασία.

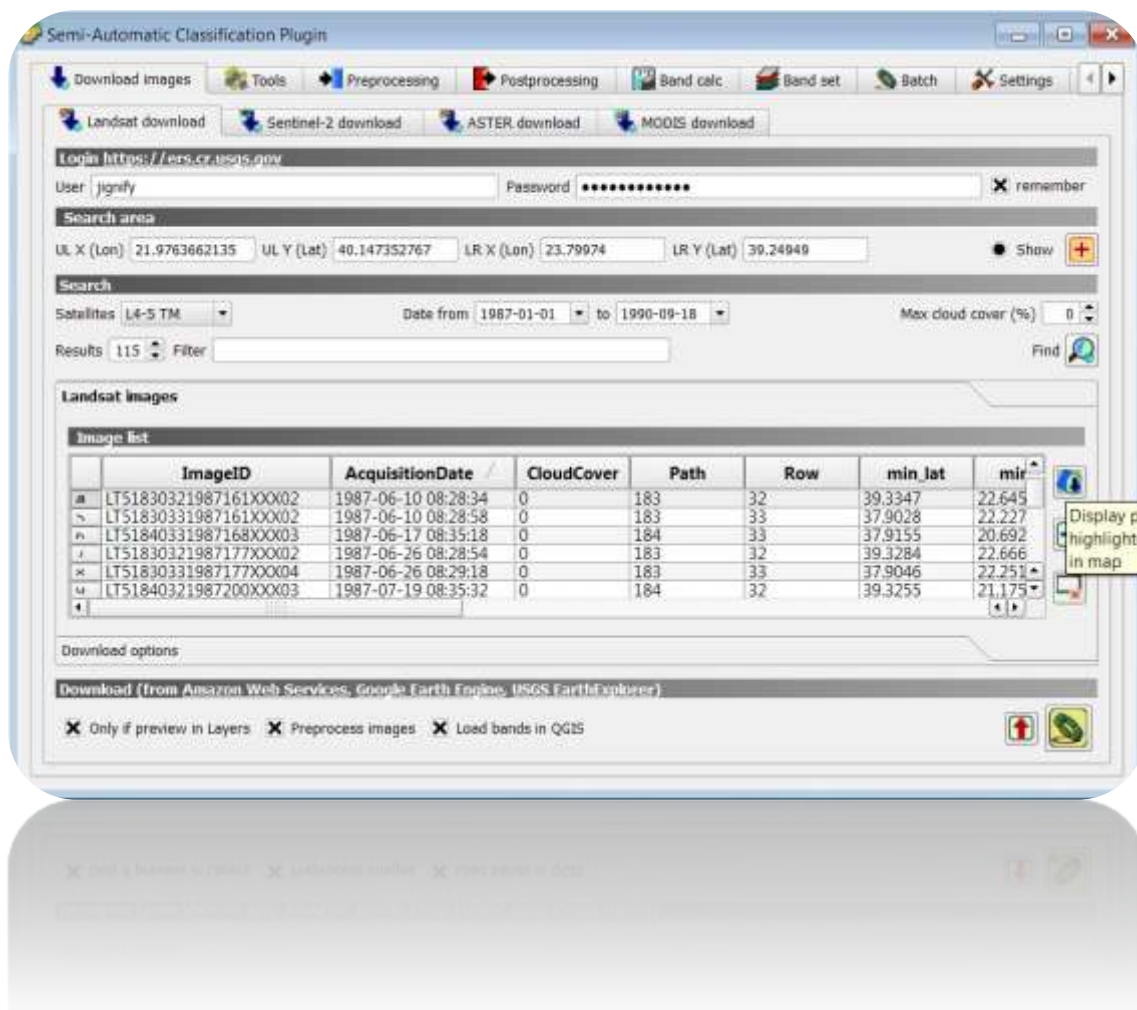


*Εικόνα 12. Το κανάλι 5 της δορυφορικής εικόνας του 1987.*

Για να είναι οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα της μελέτης αξιόπιστα, πρέπει να εφαρμοστούν τεχνικές επεξεργασίας τόσο για την ανάλυση της δορυφορικής εικόνας όσο και για την γεωμετρική διόρθωση της και την μείωση του όγκου της πληροφορίας που περιέχεται στην ανακλώμενη περιοχή του φάσματος αλλά και την ταυτόχρονη συσχέτιση των διαφορετικής διακριτικότητας εικόνων ( Tomlin, 1991).

### 3.3 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ - DOS1 CORRECTION

Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, για να πραγματοποιήσει η τηλεπισκόπηση τον κύριο σκοπό της – την αναγνώριση και ταξινόμηση των επιφανειών γης – θα πρέπει προηγουμένως με κάποιο τρόπο να περιορίσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο την επίδραση της ατμόσφαιρας. Μέσω του προγράμματος QGIS Desktop 2.14.15 και συγκεκριμένα του Semi-Automatic Classification Plugin (SACP) είναι δυνατή η εφαρμογή της μεθόδου DOS1 Correction (βλ. Κεφάλαιο 2).

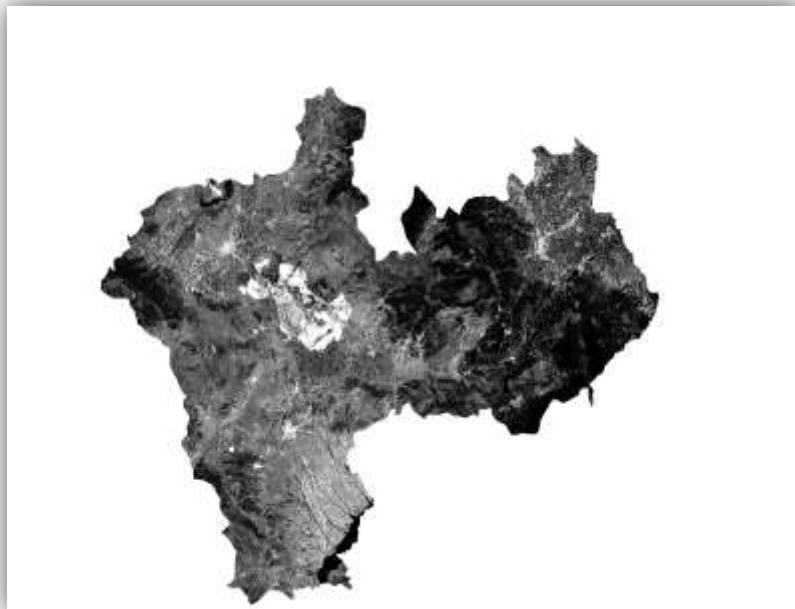


Εικόνα 13. Το κύριο μενού του προγράμματος (SACP) που χρησιμοποιήθηκε για την απόκτηση και ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων.

**3.4 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΚΟΨΙΜΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ.**

Η δορυφορική εικόνα στο στάδιο παραγωγής της εμφανίζει γεωμετρικές παραμορφώσεις οι οποίες οφείλονται σε διάφορους παράγοντες. Η προοπτική απεικόνιση του συστήματος καταγραφής, η κίνηση του συστήματος του δορυφόρου, η σταθερότητα του δορυφόρου, το ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας, η καμπυλότητα και η περιστροφή της Γης κ.α. είναι μερικοί από τους λόγους γεωμετρικών παραμορφώσεων (Mather, 1999).

Οι εικόνες που αποκτήθηκαν έχουν ως σύστημα αναφοράς το παγκόσμιο WGS '84. Γι' αυτό το λόγο κρίθηκε αναγκαία η γεωμετρική διόρθωση της εικόνας στο ελληνικό σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87. Το προβολικό σύστημα που επιλέχθηκε είναι η εγκάρσια μερκατορική προβολή (σύμμορφη προβολή) με συντελεστή κλίμακας 0,9996. Όλη η χώρα θεωρείται μια ενιαία ζώνη με κεντρικό μεσημβρινό  $\lambda=24^{\circ}$  ανατολικά του Greenwich. Αρχή των τεταγμένων είναι ο ισημερινός  $\varphi=0^{\circ}$  και για να αποφευχθούν οι αρνητικές τιμές ο κεντρικός μεσημβρινός έχει ως τετμημένη 500000 μέτρα. Το σύστημα χρησιμοποιείται για τη σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου (Βέης 1987). Η γεωαναφορά πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος QGIS Desktop 2.14.15.



*Εικόνα 14. Το κανάλι 5 της δορυφορικής εικόνας του 1987, στα όρια της μελέτης περιοχής*

Όπως προαναφέρθηκε και στα κριτήρια επιλογής η περιοχή κάλυψης των δορυφορικών εικόνων (footprint) είναι η ίδια για όλες τις χρονολογίες. Παρόλα αυτά η περιοχή μελέτης είναι αισθητά μικρότερη από την αποτυπωμένη συνολική κάλυψη της πολυφασματικής εικόνας Landsat. Για την μείωση του όγκου της πληροφορίας, κρίθηκε αναγκαία η διαδικασία κοπής (Clip) των εικόνων στα όρια της περιοχής ενδιαφέροντος μέσω του προγράμματος QGIS Desktop 2.14.15 (εικόνα 14).

### **3.5 ΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ**

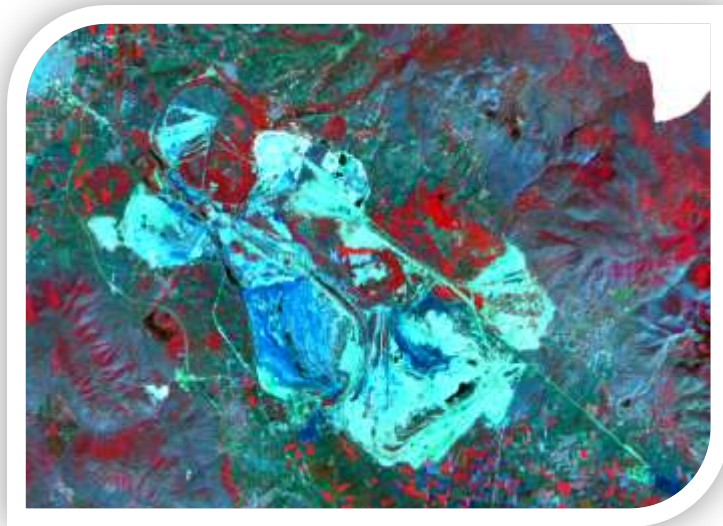
Οι χρωματικές συνθέσεις (color composite) είναι ένας συνδυασμός τριών μεμονωμένων καναλιών της δορυφορικής εικόνας χρωματισμένη στα τρία βασικά χρώματα, το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε (RGB). Σε ορισμένες χρωματικές συνθέσεις χρησιμοποιούνται κανάλια πέρα των 3 βασικών, όπως του υπέρυθρου. Αυτές οι χρωματικές συνθέσεις ονομάζονται ψευδοχρωματικές (false color composite) καθώς χρωματίζονται περιοχές του φάσματος που είναι αόρατες στον ανθρώπινο μάτι.

Η εφαρμογή των χρωματικών συνθέσεων στα κανάλια μιας δορυφορικής εικόνας, έχει ως αποτέλεσμα την διευκόλυνση του χρήστη ως προς την ταξινόμηση. Αναλυτικότερα ένας συνδυασμός 4-3-2 (δηλαδή το 4<sup>ο</sup> κανάλι στην θέση R, το 3<sup>ο</sup> στην θέση G και το 2<sup>ο</sup> στη θέση B) βοηθά στην ανίχνευση της βλάστησης, καθώς αυτή εμφανίζεται με τόνους του κόκκινου(εικ.17). Όσο πιο πυκνή και υγιής βλάστηση τόσο πιο έντονος χρωματισμός. Στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε και η χρωματική σύνθεση 3-4-6 που βοηθά στην ανίχνευση αστικού ιστού και βιομηχανικών περιοχών(εικ.16). Ο συνδυασμός 3-2-1 χρωματίζει την εικόνα στα φυσικά χρώματα της (εικ. 15).

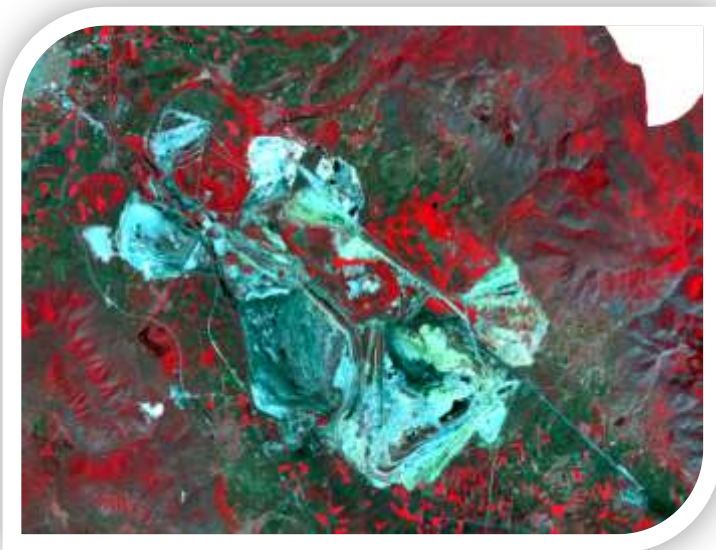




*Εικόνα 15. Ο χώρος  
των ορυχίων σε  
χρωματική σύνθεση  
φυσικών χρωμάτων 3-  
2-1.*



*Εικόνα 16. Ο χώρος των  
ορυχίων σε  
ψευδοχρωματική σύνθεση  
3-4-6.*



*Εικόνα 17. Ο χώρος των  
ορυχίων σε ψευδοχρωματική  
σύνθεση 4-3-2.*

### **3.6 ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ**

Για την δημιουργία των κατηγοριών καλύψεων γης χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακά δεδομένα και επιτόπιος έλεγχος. Αναλυτικότερα χρησιμοποιήθηκαν οι δορυφορικές εικόνες Landsat του 1987 και 2016, καθώς και στοιχεία της ευρωπαϊκής κάλυψης γης με βάση το Corine (COoRdination of Information on the Environment). Επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood).

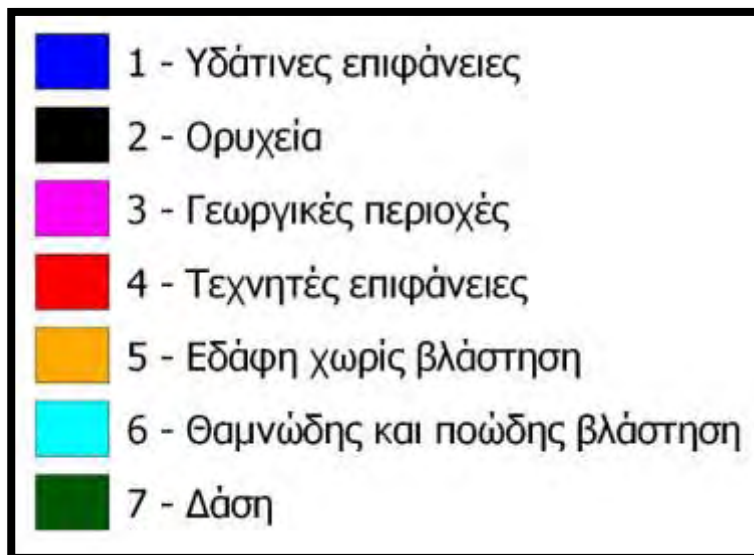
Ο επιτόπιος έλεγχος στην περιοχή μελέτης, για διερεύνηση των υπάρχουσων καλύψεων γης σε συνδιασμό με την φωτοερμηνία των δορυφορικών εικόνων, είχε ως αποτέλεσμα την επιλογή των παρακάτω (7) επτά κατηγοριών.

1. Υδάτινες επιφάνειες. Η λίμνη Πολυφύτου και η λίμνη Σφηκιά αποτέλεσαν τις κύριες υδάτινες επιφάνειες. Επίσης καταγραφή υδάτινων επιφανειών έγιναν στον ευρύτερο χώρο των ορυχείων λιγνίτη.
2. Ορυχεία. Όπως προαναφέρθηκε και στην περιγραφή της περιοχής μελέτης η ύπαρξη και σημασία των ορυχείων λιγνίτη καθιστά αναγκαία την μεμονωμένη εξέταση τους στην διαχρονική μελέτη.
3. Γεωργικές περιοχές. Το σύνολο των γεωργικών περιοχών απαρτίζεται από αρκετά είδη καλλιέργειας. Οπωροφόρα δένδρα στο δήμο Βέροιας, ετήσιες καλλιέργειες σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης ακόμα και αμπελώνες στον νομό Βέροιας συνθέτουν την κατηγορία. Η ύπαρξη τόσο μόνιμης αρδευόμενης γης αλλά και μη αρδευόμενης αρόσιμης γης, κατέστησαν της συγκεκριμένη κατηγορία ως την πιο δύσκολη για ταξινόμηση. Ιδιαίτερα δυσκολία παρουσιάστηκε λόγω της εποχής, στο διαχωρισμό των οπωροφόρων δένδρων στις παρυφές του Βέρμιου στο δήμο Βέροιας .
4. Τεχνητές επιφάνειες. Κατηγορία που περιλαμβάνει όλες σχεδόν τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Αστικός ιστός (συνεχής και ασυνεχής), βιομηχανικές περιοχές καθώς και το οδικό δίκτυο, συνθέτουν το μεγαλύτερο ποσοστό έκτασης της κατηγορίας.
5. Εδάφη χωρίς βλάστηση. Ανοιχτοί χώροι με ελάχιστη ή καθόλου βλάστηση. Στα πεδινά του δήμου Κοζάνης υπάρχουν αρκετοί απογυμνωμένοι βράχοι, ενώ πάνω από τα δασοόρια στο δήμο Βέροιας περιοχές με ελάχιστη έως καθόλου



βλάστηση. Θα πρέπει να σημειωθεί πως στα εδάφη χωρίς βλάστηση εμπεριέχονται και οι περιοχές περιμετρικά των πυρήνων εξορύξεως.

6. Θαμνώδης και ποώδης βλάστηση. Η συγκεκριμένη κάλυψη καταλαμβάνει την μισή έκταση της περιοχής μελέτης. Σε αυτή συμπεριλαμβάνονται τόσο οι φυσικοί βοσκότοποι, όσο και οι χερσότοποι αλλά και το σύνολο της σκληροφυλλικής βλάστησης της περιοχής. Επίσης οι συγκεκριμένες περιοχές υπάρχουν πάντα περιμετρικά των δασικών εκτάσεων εκφράζοντας την αδυναμία ανάπτυξης δάσους λόγω μητρικού πετρώματος ή την ύπαρξη εγκαταλελειμμένων αγρών.
7. Δάση. Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν δάση κωνοφόρων, δάση πλατύφυλλων και μεικτό δάσος.



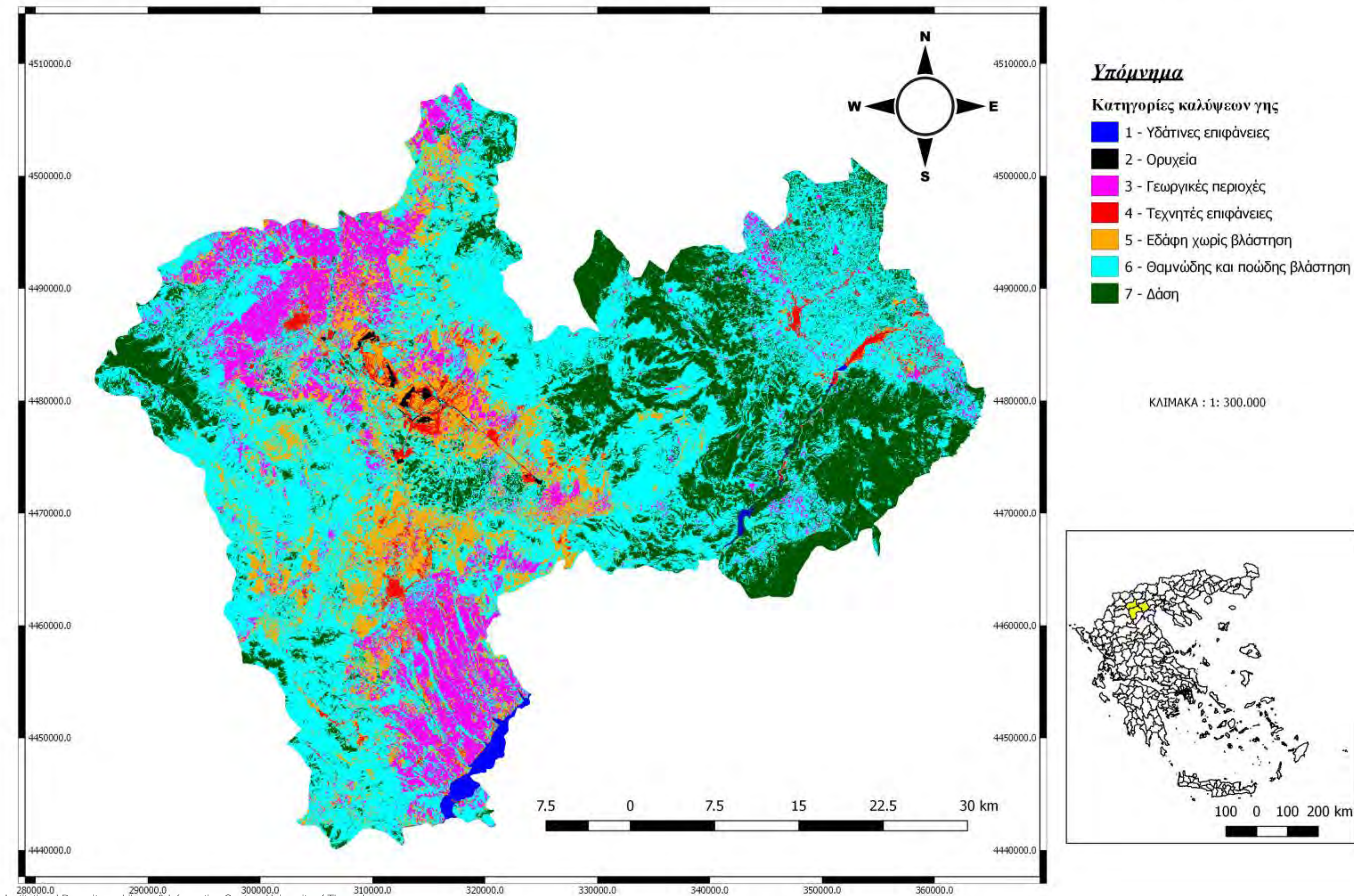
Εικόνα 18. Οι βασικές κατηγορίες καλύψεων γης και τα χρώματά τους στην ταξινόμηση.

#### **4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση που πραγματοποιήθηκε για τις 2 ημερομηνίες είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία δύο χαρτών, έναν για κάθε ταξινόμηση και συγκεκριμένα του χάρτη 2 (σελ. 59) για 19/07/1987 και του χάρτη 3 για 16/07/2016 (σελ. 60). Σε αυτούς αποτυπώνεται σε κλίμακα 1:300000 η περιοχή μελέτης, ενώ στον χάρτη οδηγό παρουσιάζεται η θέση της περιοχής μελέτης στην ελληνική επικράτεια. Τέλος, οι κατηγορίες των καλύψεων γης χρωματίστηκαν με διαφορετικά αντιπροσωπευτικά χρώματα όπως αυτά αναφέρονται στο υπόμνημα.

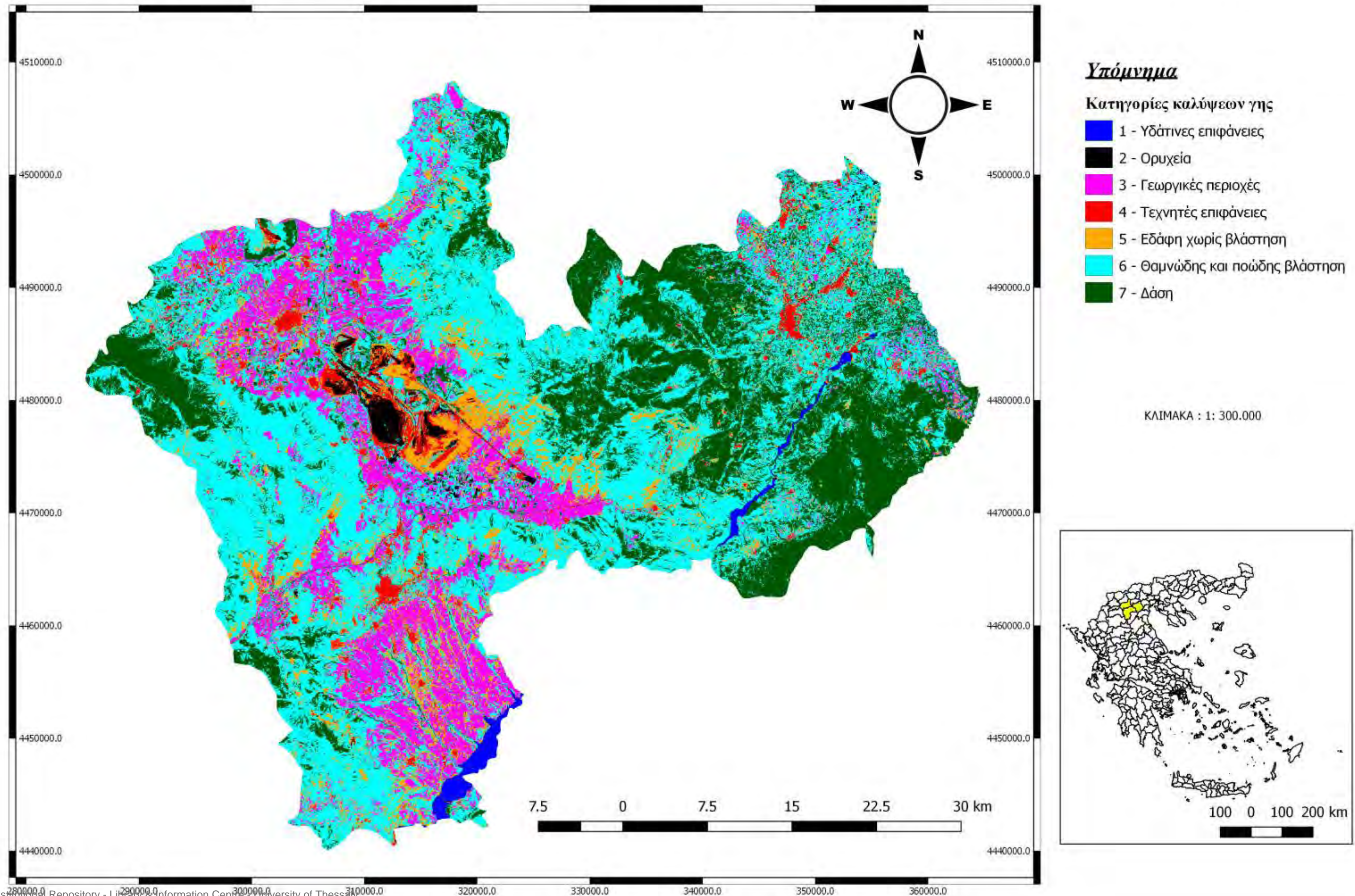


## Χάρτης 2: Χάρτης ταξινόμησης καλύψεων γης 19/07/1987. Δήμοι Εορδαίας, Κοζάνης και Βέροιας





### Χάρτης 3: Χάρτης ταξινόμησης καλύψεων γης 16/07/2016. Δήμοι Εορδαίας, Κοζάνης και Βέροιας





#### **4.1 ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ**

##### **4.1.1 Φασματικές υπογραφές και αναλυτικά στοιχεία για 19/07/1987**

Στην συνέχεια παρουσιάζονται πίνακες με τις αναλυτικές πληροφορίες για τις φασματικές υπογραφές της ταξινόμησης της ημερομηνίας 19/07/1987. Αναλυτικά οι πίνακες περιέχουν τα εξής χαρακτηριστικά :

- Το MC\_ID σημαίνει Macroclass ID ή αλλιώς η κατηγορία κάλυψης γης.
- Το MC\_Info σημαίνει Macroclass Information ή αλλιώς οι πληροφορίες της κατηγορίας κάλυψης γης.
- Το C\_ID σημαίνει Class ID ή αλλιώς υποκατηγορία κάλυψης γης.
- Το C\_Info σημαίνει Class Information ή αλλιώς πληροφορίες της υποκατηγορίας κάλυψης γης.
- Το Wavelength αντιπροσωπεύει το εύρος μήκος κύματος κάθε καναλιού. Φυσικά είναι διαφορετικό για τον Landsat 8 και τον Landsat 5.
- Το Values είναι οι διαφορετικές τιμές που έχει στο κάθε κανάλι η κατηγορία κάλυψης γης.
- Το standard deviation είναι η τυπική απόκλιση για κάθε κανάλι.
- Το ROI\_size είναι το σύνολο των εικοστοιχείων της κατηγορίας.

	MC_ID = 1 MC_info = Water C_ID = 1 C_info = Water ROI_size = 1165 pixels					
Wavelength [E-6m]	0.485	0.56	0.66	0.83	1.65	2.215
Values	0.05659	0.05284	0.03796	0.03036	0.02957	0.02434
Standard deviation	0.00303	0.00422	0.00306	0.00391	0.00411	0.00307

Πίνακας 8 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Υδάτινες επιφάνειες» για 19/07/1987.

	MC_ID = 2 MC_info = Mining C_ID = 2 C_info = Mining ROI_size = 176 pixels					
Wavelength [E-6m]	0.485	0.56	0.66	0.83	1.65	2.215
Values	0.04947	0.04658	0.06169	0.07832	0.16632	0.17024
Standard deviation	0.00399	0.00491	0.00583	0.00773	0.00974	0.00953

Πίνακας 9 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Ορυχεία» για 19/07/1987.

	MC_ID = 3 MC_info = Agriculture C_ID = 3 C_info = Agriculture ROI_size = 2604 pixels					
Wavelength [E-6m]	0.485	0.56	0.66	0.83	1.65	2.215
Values	0.07788	0.11408	0.17139	0.27707	0.36379	0.26614
Standard deviation	0.00466	0.00742	0.01125	0.01428	0.01259	0.01299

Πίνακας 10 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Γεωργικές περιοχές» για 19/07/1987.

	MC_ID = 4 MC_info = Urban C_ID = 4 C_info = Urban ROI_size = 255 pixels					
Wavelength [E-6m]	0.485	0.56	0.66	0.83	1.65	2.215
Values	0.10145	0.12411	0.16186	0.20861	0.24439	0.22403
Standard deviation	0.00858	0.01029	0.01087	0.00961	0.0124	0.01274

Πίνακας 11 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Τεχνητές επιφάνειες» για 19/07/1987.

	MC_ID = 5 MC_info = merged_Bare land C_ID = 5 C_info = merged_Bare land ROI_size = 474 pixels					
Wavelength [E-6m]	0.485	0.56	0.66	0.83	1.65	2.215
Values	0.08167	0.0998	0.12757	0.20721	0.27361	0.22084
Standard deviation	0.01777	0.02175	0.02801	0.01896	0.02512	0.03777

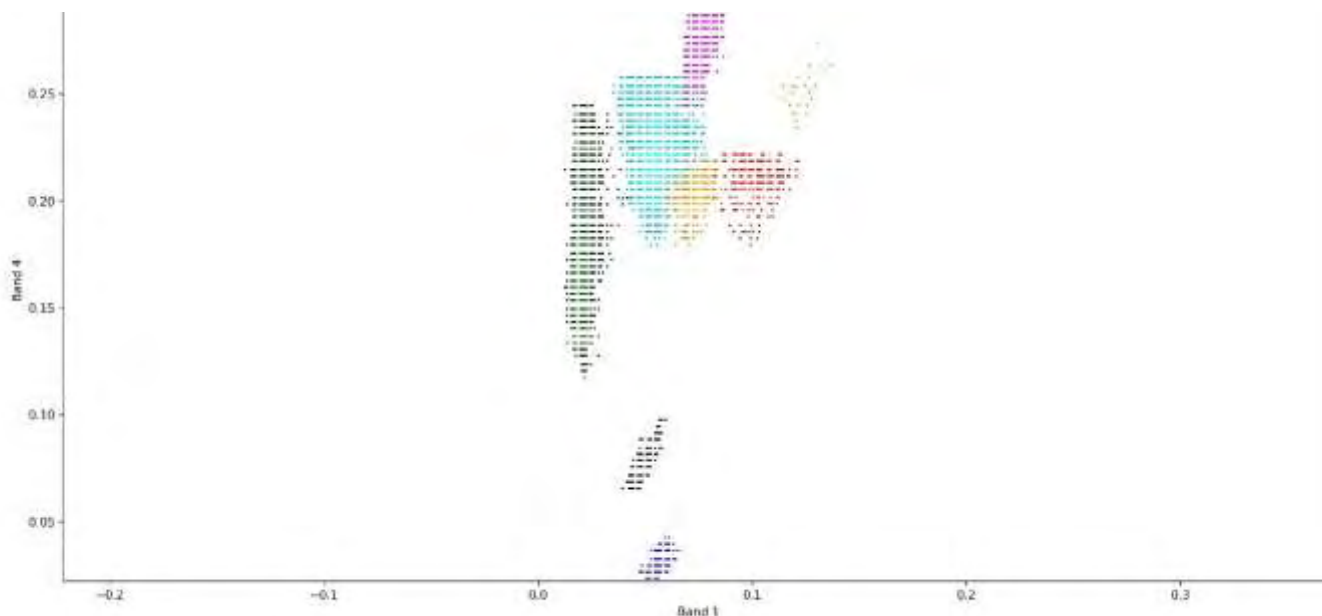
Πίνακας 12 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Εδάφη χωρίς βλάστηση» για 19/07/1987.

	MC_ID = 6 MC_info = Pasture C_ID = 6 C_info = Pasture ROI_size = 3846 pixels					
Wavelength [E-6m]	0.485	0.56	0.66	0.83	1.65	2.215
Values	0.05603	0.07338	0.09491	0.22177	0.26456	0.18566
Standard deviation	0.00717	0.00845	0.01063	0.01537	0.01678	0.01595

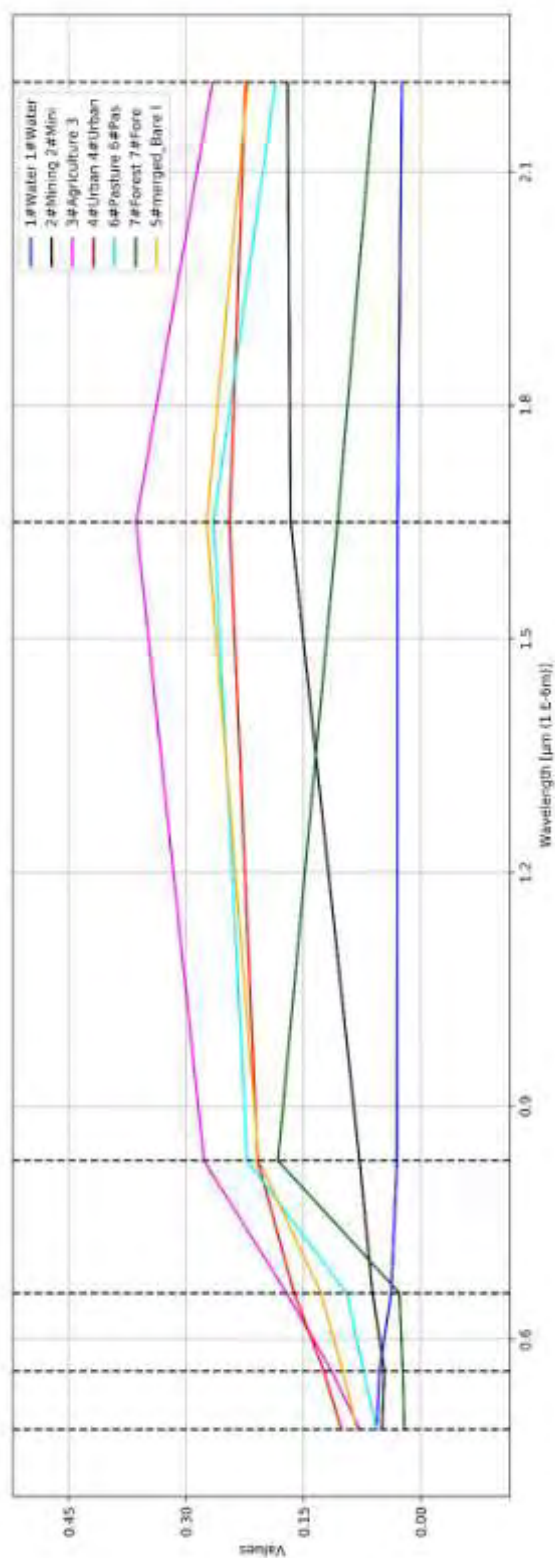
Πίνακας 13 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Θαμνώδης και ποώδης βλάστηση» για 19/07/1987.

	MC_ID = 7 MC_info = Forest C_ID = 7 C_info = Forest ROI_size = 5411 pixels					
Wavelength [E-6m]	0.485	0.56	0.66	0.83	1.65	2.215
Values	0.02114	0.02323	0.02744	0.1826	0.10636	0.0586
Standard deviation	0.00322	0.00498	0.00631	0.02697	0.02198	0.01323

Πίνακας 14 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Δάση» για 19/07/1987.



Εικόνα 19. Κατανομή εικονοστοιχείων στο κανάλι 4 (band 4) για κάθε κατηγορία της ταξινομημένης δορυφορικής εικόνας για 19/07/1987.





## 4.1.2 Φασματικές υπογραφές και αναλυτικά στοιχεία για 16/07/2016

	MC_ID = 1 MC_info = merged_Water C_ID = 1 C_info = Water ROI_size = 8405 pixels					
<b>Wavelength [E-6m]</b>	0.48	0.56	0.655	0.865	1.61	2.2
<b>Values</b>	0.02867	0.03206	0.02174	0.02579	0.01991	0.01563
<b>Standard deviation</b>	0.00552	0.00837	0.00441	0.0087	0.00712	0.00442

Πίνακας 15 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Υδάτινες επιφάνειες» για 16/07/2016.

	MC_ID = 2 MC_info = Mining C_ID = 2 C_info = Mining ROI_size = 883 pixels					
<b>Wavelength [E-6m]</b>	0.48	0.56	0.655	0.865	1.61	2.2
<b>Values</b>	0.08696	0.10451	0.13389	0.21209	0.29676	0.2757
<b>Standard deviation</b>	0.01073	0.01372	0.01633	0.0226	0.01966	0.02097

Πίνακας 16 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Ορυχεία» για 16/07/2016

	MC_ID = 3 MC_info = Agriculture C_ID = 3 C_info = Agriculture ROI_size = 765 pixels					
<b>Wavelength [E-6m]</b>	0.48	0.56	0.655	0.865	1.61	2.2
<b>Values</b>	0.0437	0.06306	0.09258	0.21244	0.21938	0.14515
<b>Standard deviation</b>	0.0026	0.00441	0.00723	0.01336	0.01183	0.01142

Πίνακας 17 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Γεωργικές περιοχές» για 16/07/2016.

	MC_ID = 4 MC_info = Urban C_ID = 4 C_info = Urban ROI_size = 340 pixels					
<b>Wavelength [E-6m]</b>	0.48	0.56	0.655	0.865	1.61	2.2
<b>Values</b>	0.09836	0.12444	0.16663	0.25813	0.29771	0.25589
<b>Standard deviation</b>	0.0132	0.01545	0.0158	0.01569	0.01983	0.0218

Πίνακας 18 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Τεχνητές επιφάνειες» για 16/07/2016.

	MC_ID = 5 MC_info = merged_Bare Land C_ID = 5					
--	---	--	--	--	--	--

	<b>C_info = Bare Land ROI_size = 1053 pixels</b>					
<b>Wavelength [E-6m]</b>	0.48	0.56	0.655	0.865	1.61	2.2
<b>Values</b>	0.08374	0.11816	0.15481	0.2912	0.32208	0.24243
<b>Standard deviation</b>	0.022	0.03641	0.06421	0.02663	0.02741	0.03747

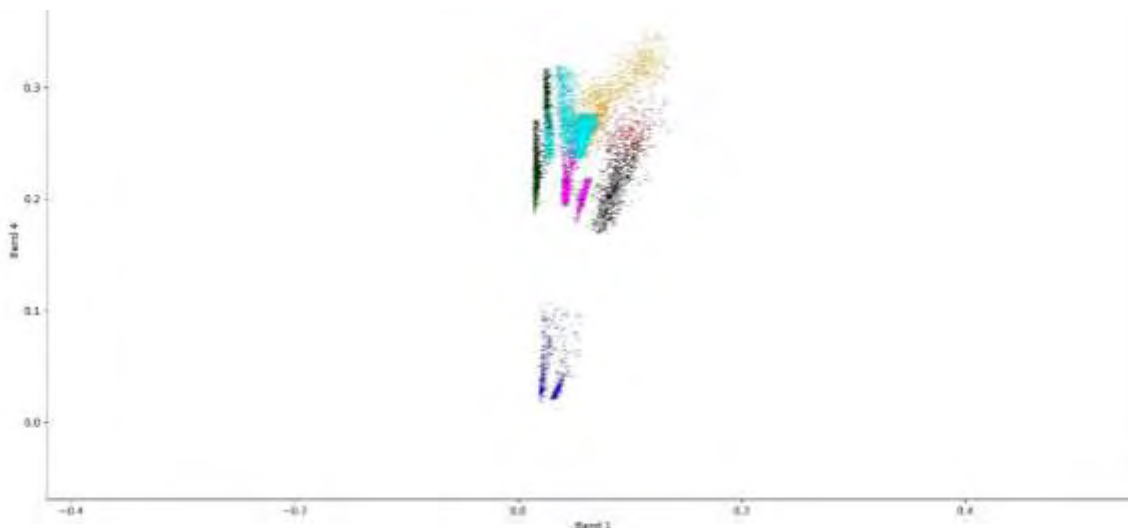
Πίνακας 19 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Εδάφη χωρίς βλάστηση» για 16/07/2016.

	<b>MC_ID = 6 MC_info = merged_Pasture C_ID = 6 C_info = Pasture ROI_size = 3480 pixels</b>					
<b>Wavelength [E-6m]</b>	0.48	0.56	0.655	0.865	1.61	2.2
<b>Values</b>	0.0498	0.07057	0.0818	0.26195	0.25269	0.16258
<b>Standard deviation</b>	0.01227	0.01413	0.0216	0.01786	0.04374	0.03762

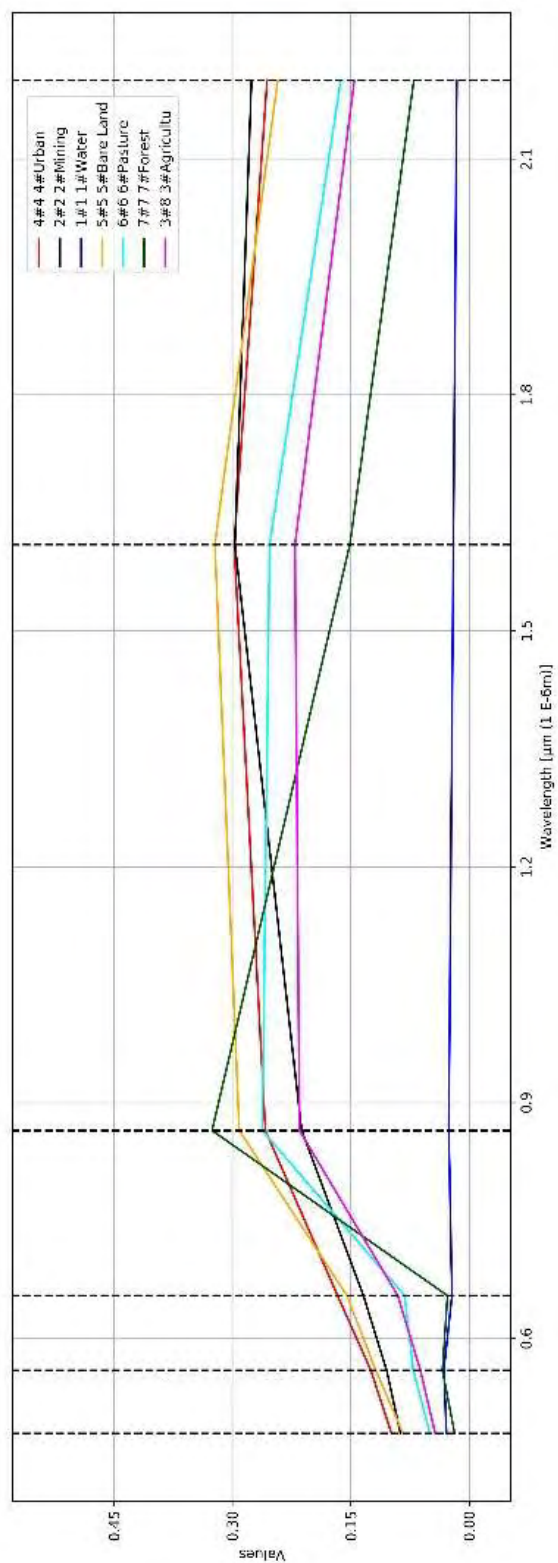
Πίνακας 20 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Θαμνώδης και ποώδης βλάστηση» για 16/07/2016.

	<b>MC_ID = 7 MC_info = merged_Forest C_ID = 7 C_info = Forest ROI_size = 3821 pixels</b>					
<b>Wavelength [E-6m]</b>	0.48	0.56	0.655	0.865	1.61	2.2
<b>Values</b>	0.01835	0.0338	0.02741	0.32569	0.15107	0.07006
<b>Standard deviation</b>	0.00397	0.00716	0.00482	0.10343	0.05016	0.02104

Πίνακας 21 : Αναλυτικά στοιχεία φασματικής υπογραφής της κατηγορίας «Δάση» για 16/07/2016.



Εικόνα 21. Κατανομή εικονοστοιχείων στο κανάλι 4 (band 4) για κάθε κατηγορία της ταξινομημένης δορυφορικής εικόνας για 16/07/2016.



**4.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ**

Η ακρίβεια της ταξινόμησης η οποία επετεύχθη, είναι 98 % για το έτος 1987 και 96% για το έτος 2016 (πίν. 22). Τα συγκεκριμένα νούμερα είναι άκρως ικανοποιητικά σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Congalton & Green, 2009). Συγκεκριμένα οι Story & Congalton (1986), αναφέρουν πως η ελάχιστη αποδεκτή ακρίβεια ταξινόμησης για κάθε κατηγορία ξεχωριστά είναι το 90%.

<b>Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης για 19/07/1987</b>									
Κατηγορίες	1	2	3	4	5	6	7	Σύνολο	PA (%)
1	6378	0	0	0	0	0	0	6378	98,4
2	0	206	0	3	0	0	0	206	100
3	0	0	4118	0	0	1	0	4119	99,2
4	47	0	0	678	4	0	0	729	97,13
5	0	0	10	12	734	44	0	800	95,69
6	43	0	23	8	29	4015	14	4132	98,89
7	8	0	0	0	0	0	5516	5524	99,74
Σύνολο	6476	206	4151	698	767	4060	5530	21888	
UA (%)	100	100	99	93	91,7	97,1	99		
<b>Overall accuracy = 98% , Kappa hat classification = 0.98</b>									
<b>Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης για 16/07/2016</b>									
Κατηγορίες	1	2	3	4	5	6	7	Σύνολο	PA (%)
1	12557	0	0	0	0	0	0	12557	98,6
2	16	869	0	3	0	0	0	888	98,4
3	0	0	5465	0	0	2	0	5467	91,4
4	6	14	0	433	2	1	0	456	99,0
5	0	0	84	1	1212	57	0	1354	83,7
6	0	0	426	0	234	3832	62	4554	95,7
7	152	0	0	0	0	109	3816	4077	98,4
Σύνολο	12731	883	5975	437	1448	4001	3878	29353	
UA (%)	100	97,8	99,9	94,8	89,5	84,1	93,5		
<b>Overall accuracy = 96.0% , Kappa hat classification = 0,94</b>									
1=Υδάτινες επιφάνειες, 2=Ορυχεία, 3=Γεωργικές περιοχές, 4=Τεχνητές επιφάνειες									
5=Εδάφη χωρίς βλάστηση, 6=Θαμνώδεις και ποώδεις βλάστηση, 7= Δάση									
UA = User accuracy, PA = Producer accuracy									

Πίνακας 22 : Πίνακας σφαλμάτων και ακρίβειας ταξινόμησης(error matrix) για 19/07/1987 και 16/07/2016.

Ο δείκτης Producer's accuracy (PA) ή αλλιώς ακρίβεια ένταξης, δείχνει το ποσοστό μιας συγκεκριμένης κατηγορίας εδάφους που είναι σωστά ταξινομημένο. Εκφράζεται σε ποσοστό επι τις εκατό και αφορά ξεχωριστά κάθε μία από τις επτά ταξινομημένες κατηγορίες.

Ο δείκτης User's accuracy (UA) ή αλλιώς ακρίβεια του χρήστη, είναι ένα μέτρο επιτυχίας της ταξινόμησης που πραγματοποιήθηκε. Πρακτικά υποδηλώνει την πιθανότητα ταύτισης πραγματικών και ταξινομημένων κατηγοριών ενός οποιουδήποτε εικονοστοιχείου

Ο δείκτης Overall Accuracy είναι η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης, δηλαδή ο μέσος όρος της ακρίβειας του παραγωγού και του χρήστη. Ο δείκτης Kappa Hat classification (KHAT), ονομάζεται δείκτης ακρίβειας και είναι το μέτρο συμφωνίας μεταξύ αρχικών και ταξινομημένων δεδομένων.

Με την ταξινόμηση έγινε δυνατή η δημιουργία συγκρίσιμων ψηφιακών υποβάθρων για τις δύο χρονολογίες (1987 και 2016), ώστε να καταστεί δυνατή η ποσοτική σύγκριση υφιστάμενων και παρελθοντικών καλύψεων γης (Collins & Woodcock, 1996).

#### **4.2 ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΡΙΑΚΟΝΤΑΕΤΙΑΣ**

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης για τις ημερομηνίες 19/07/1987 και 16/07/2016 συνοψίζονται στον πίνακα 23 στην συνέχεια. Σύμφωνα με τη συγκριτική διαφορά των ταξινομήσεων (πίν. 23), υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στις καλύψεις γης σε όλες τις κατηγορίες εκτός των υδάτινων επιφανειών, οι οποίες θα παρουσιαστούν αναλυτικά στην συνέχεια. Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιήθηκε μετατροπή των ποσοστών εδαφοκάλυψης κάθε κατηγορίας σε ρυθμό μεταβολής, καθώς ο ρυθμός μεταβολής θεωρήθηκε πιο αντιπροσωπευτικός από την μεταβολή σε εκτάρια.

Επίσης παράχθηκε ο πίνακας διαχρονικών μεταβολών (change matrix) (Πιν. 24) με την μέθοδο pixel by pixel, δηλαδή σάρωση της ταξινομημένης δορυφορικής εικόνας του 2017 εικονοστοιχείο προς εικονοστοιχείο ως προς την ταξινομημένη δορυφορική εικόνα του 1987.

Κατηγορία α κάλυψης της	1987		2016		Συγκριτική Διαφορά		Ρυθμός μεταβολή ς
	Έκταση (Εκτάρια )	Ποσοστ ό (%)	Έκταση (Εκτάρια )	Ποσοστ ό (%)	Έκταση (Εκτάρια )	Ποσοστ ό (%)	Ποσοστό (%)
Υδάτινες επιφάνειες	1735	0.7	2251	0.9	516	0.2	129.7
Ορυχεία	550	0.2	3155	1.2	2605	1	573.6
Γεωργικές περιοχές	29393	11.4	34697	13.5	5304	2.1	118
Τεχνητές επιφάνειες	7013	2.7	9900	3.8	2887	1.1	141.2
Εδάφη χωρίς βλάστηση	31220	12.1	24335	9.5	-6885	-2.6	77.9
Θαμνώδης και ποώδης βλάστηση	131909	51.2	119562	46.4	-12347	-4.8	90.6
Δάση	55812	21.7	63596	24.7	7784	3	114

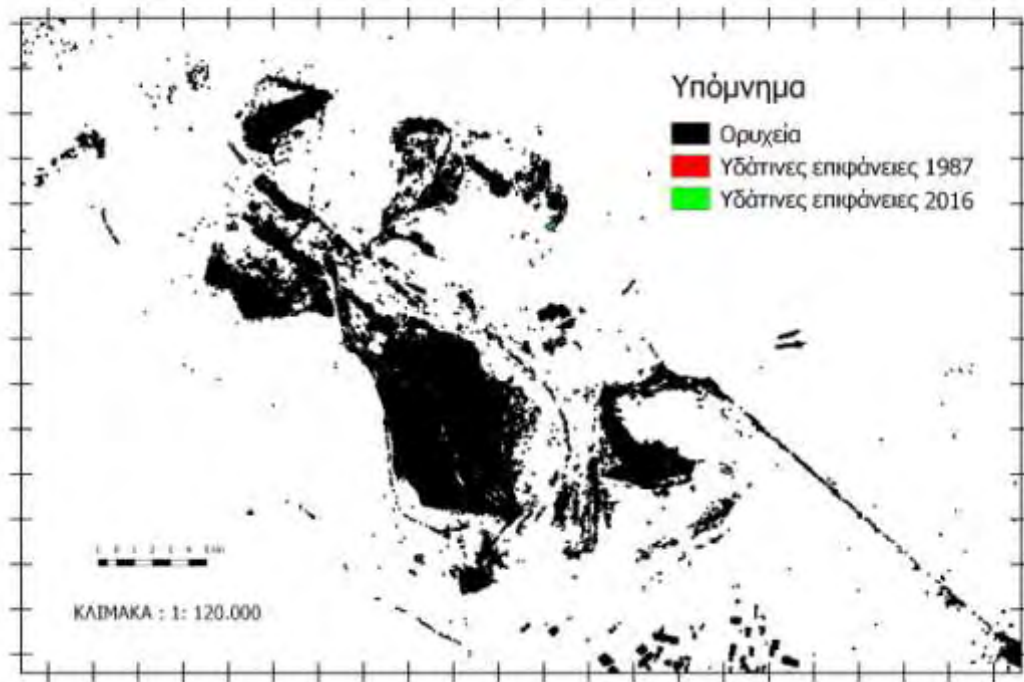
Πίνακας 23 : Αναλυτική παρουσίαση των στατιστικών στοιχείων των ταξινομήσεων της περιοχής μελέτης.

ΕΤΟΣ	1987								
2016	Κατηγορία	1	2	3	4	5	6	7	Σύνολο
	1	1701	1	4	130	31	73	312	2251
	2	1	115	221	461	791	1240	325	3155
	3	0	44	15625	415	6797	10735	1081	34697
	4	3	126	1103	2457	1803	3969	437	9900
	5	0	83	5093	1357	6606	10394	802	24335
	6	3	135	6343	1820	14420	86009	10832	119562
	7	13	45	1002	370	764	19425	41977	63596
	Σύνολο	1735	550	29393	7013	31220	131909	55812	257631
1=Υδάτινες επιφάνειες, 2=Ορυχεία, 3=Γεωργικές περιοχές, 4=Τεχνητές επιφάνειες									
5=Εδάφη χωρίς βλάστηση, 6=Θαμνώδεις και ποώδεις βλάστηση, 7= Δάση									

Πίνακας 24 : Πίνακας διαχρονικών μεταβολών (change matrix) για 19/07/1987 και 16/07/2016.

**Υδάτινες επιφάνειες:** Στην συγκεκριμένη κατηγορία δεν υπάρχουν σημαντικές διαχρονικές μεταβολές και τα νέα εκτάρια που εμφανίζονται από κατηγορία του δάσους, είναι στην ουσία λάθος στην ταξινόμηση του 1987. Συγκεκριμένα, πρόκειται για περιοχή μήκος της τεχνητής λίμνης Σφηκιάς σε σημεία όπου το πλάτος της λίμνης είναι μικρότερο των 30 μέτρων και έχουν ταξινομηθεί τιμές γειτονικών εικονοστοιχείων της κατηγορίας 7. Όσον αφορά τα υπόλοιπα εκτάρια των κατηγοριών 4, 5 και 6, εντοπίζονται όλα εντός του Λιγνιτικού πεδίου Πτολεμαΐδας και είναι όλα απόρροια της εξορυκτικής δραστηριότητας. Αναλυτικά στον χάρτη 4 που ακολουθεί με πράσινο χρώμα οι νέες υδάτινες επιφάνειες εντός του εξορυκτικού χώρου.

**Διαχρονικές μεταβολές τριακονταετίας (1987-2016) Υδάτινων Επιφανειών**



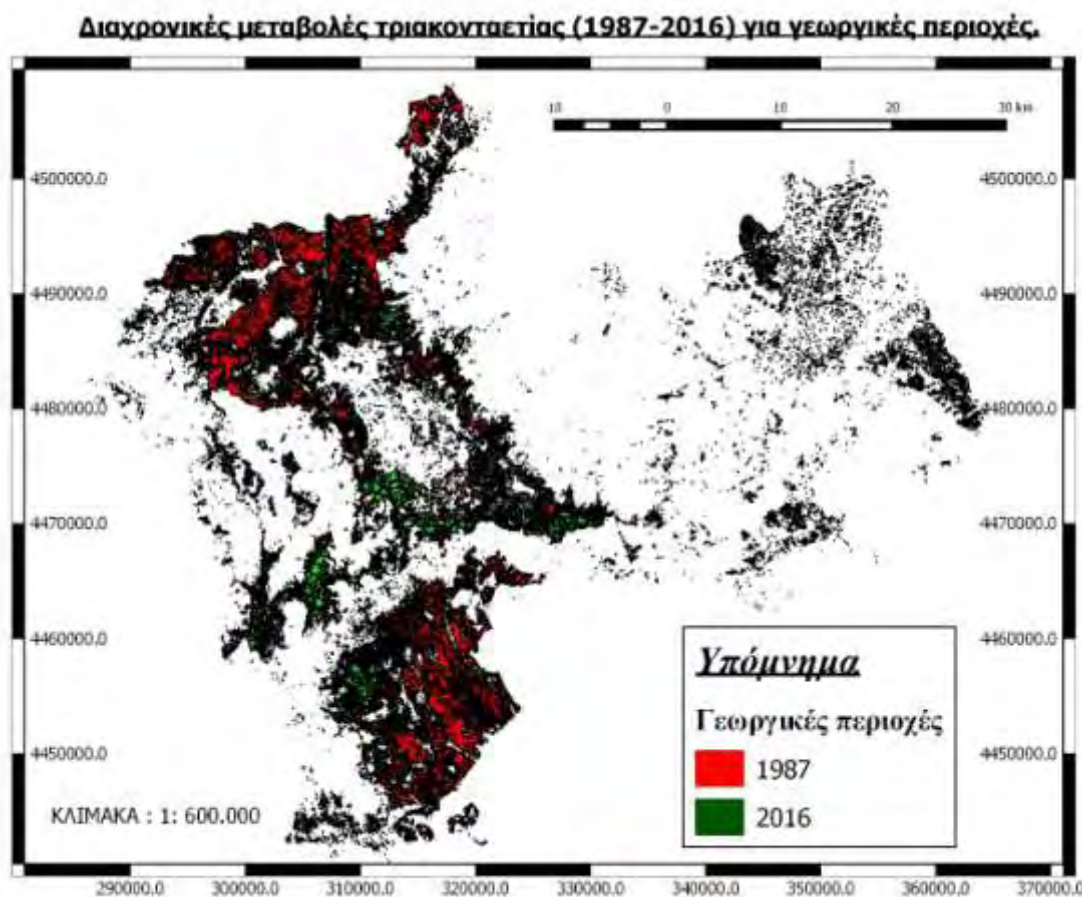
Χάρτης 4. Διαχρονικές μεταβολές υδάτινων επιφανειών.

**Ορυχεία:** Ο μεγαλύτερος ρυθμός μεταβολής εντοπίστηκε στην κατηγορία των ορυχείων. Εντός της τριακονταετίας (1987 – 2016) υπήρξε ραγδαία αύξηση της τάξης του 573%, με 2605 εκτάρια νέας εξορυκτικής δραστηριότητας. Σύμφωνα με τον πίν. 24 τα 1240 από αυτά τα εκτάρια το 1987 ανήκαν σε θαμνώδης και ποώδης βλάστηση. Από την άλλη τα 221 εκτάρια γεωργικών περιοχών και τα 461 εκτάρια τεχνητών επιφανειών μπορούν να εξηγηθούν ως μέρος των διαχρονικών απαλλοτριώσεων που αναφέρονται στο κεφάλαιο της εισαγωγής. Συγκεκριμένα οι οικισμοί Κόμανος, Κλείτος, Μαυροπηγής και Ποντοκόμης είναι αυτοί που μέσα στην τριακονταετία



απαλλοτριώθηκαν. Αξιοσημείωτα και τα 790 εκτάρια εδάφους χωρίς βλάστηση που μετατράπηκαν σε εξορυκτική δραστηριότητα που στην ουσία πρόκειται για έκταση που το 1987 ήταν πλησίον του χώρου της εξορύξεως.

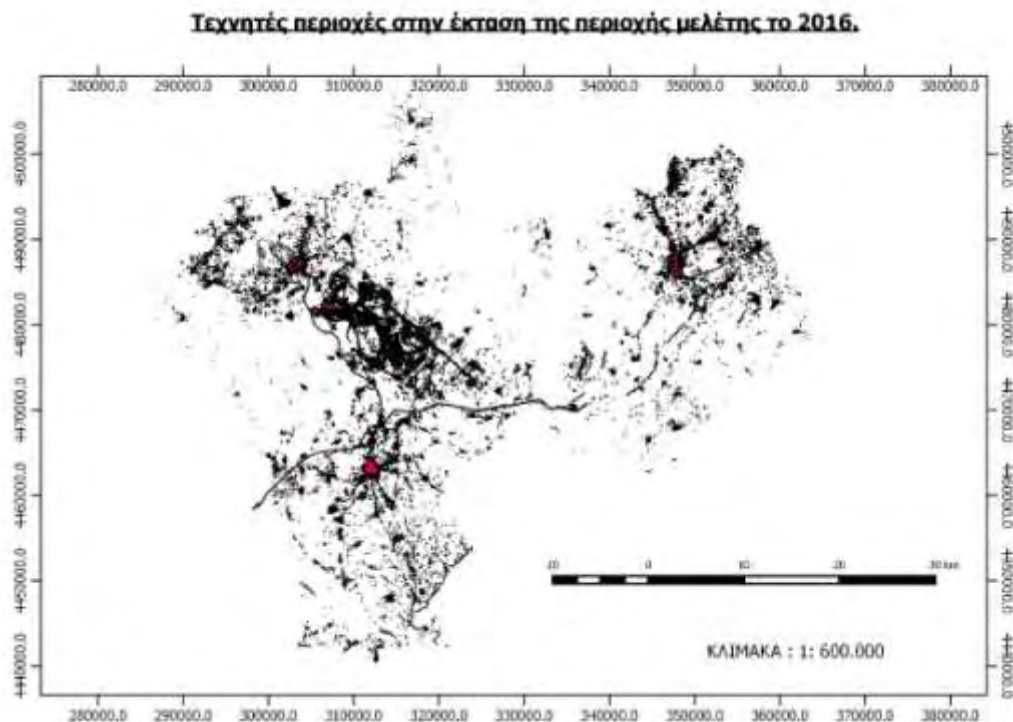
**Γεωργικές περιοχές:** Κατά την τριακονταετία σημειώθηκε αύξηση κατά 2.1% στην περιοχή μελέτης. Η συγκεκριμένη αλλαγή οπτικοποιήθηκε στον χάρτη 5 που ακολουθεί. Έλαβε χώρο κυρίως κατά μήκος της Εγνατίας οδού και κατά δευτερευόντως βόρεια και νότια του Λιγνιτικού πεδίου Πτολεμαΐδας. Όλες οι καλύψεις γης που μετατράπηκαν μέχρι το 2016 σε γεωργικές περιοχές παλαιότερα (1987 και μετέπειτα) ανήκαν είτε στην κατηγορία 5 είτε στην κατηγορία 6.



Χάρτης 5. Διαχρονικές μεταβολές γεωργικών περιοχών για τις χρονολογίες 1987 και 2016.

**Τεχνητές επιφάνειες:** Η συγκεκριμένη κατηγορία είχε το δεύτερο μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης με ποσοστό 141%. Η εκτεταμένη αστικοποίηση στα τρία αστικά κέντρα της

περιοχής μελέτης (Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Βέροια) συνέβαλε αρκετά σε αυτό όπως φαίνεται και από τους χάρτες 3 και 6. Τα 3969 εκτάρια εδάφους που μετατράπηκαν σε τεχνητές επιφάνειες ανήκαν στην κατηγορία της θαμνώδους και ποώδους βλάστησης που συνήθως περιβάλλει τα αστικά κέντρα μαζί με τα 1100 εκτάρια γεωργικών εκτάσεων. Φυσικά η κατασκευή της Εγνατίας οδού την δεκαετία του 2000 διαδράματισε καθοριστικό ρόλο, καθώς όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο το μήκος των τμημάτων της (Α2 και Α-27) ξεπερνά τα 200 χλμ. (πιν. 3) στην περιοχή μελέτης. Για την κατασκευή του οδικού άξονα απαλλοτριώθηκαν δασώδεις εκτάσεις στο ύψος της λίμνης Σφηκιάς και εδάφη χωρίς βλάστηση κυρίως στο δήμο Κοζάνης. Επίσης τόσο θαμνώδης και ποώδης βλάστηση καθώς και γεωργικές εκτάσεις απαλλοτριώθηκαν για την κατασκευή του αυτοκινητόδρομου. Συμμετοχή στην αύξηση της συγκεκριμένης κατηγορίας έχει και η ΔΕΗ καθώς οι εγκαταστάσεις της είναι συνεχώς αναπτυσσόμενες. Συγκεκριμένα στην τριακονταετία 1987 - 2016 έχουν δημιουργηθεί 2 μονάδες επεξεργασίας λιγνίτη. Στον χάρτη 6 απεικονίζονται οι εκτάσεις και τοποθεσίες των τεχνητών περιοχών το 2016, με χαρακτηριστική αυτή της εγνατίας οδού καθώς διατρέχει την περιοχή μελέτης από άκρη σε άκρη. Να σημειωθεί πως το κομμάτι που διακόπτεται η εγνατία οδός στο ύψος της τεχνητής λίμνης σφηκιάς είναι λόγω των σηράγγων που διατρέχουν το όρος.



*Χάρτης 6. Οι τεχνητές περιοχές στην έκταση της περιοχής μελέτης.*

**Εδάφη χωρίς βλάστηση:** Η συγκεκριμένη κατηγορία σύμφωνα με την συγκριτική ανάλυση μειώθηκε εκτατικά κατά σχεδόν 7000 στρ., σημειώνοντας μείωση της τάξης του 2.6% . Οι κατηγορίες που επωφελήθηκαν από την μείωση των εδαφών χωρίς βλάστηση είναι κατά κύριο λόγο είναι οι εκτάσεις θαμνώδους και ποώδους βλάστησης. Η επόμενη κατηγορία που επωφελήθηκε είναι η 3 και πρόκειται στην ουσία για τις εκτάσεις που όπως προαναφέρθηκε πλέον ανήκουν στην κατηγορία των γεωργικών περιοχών.

**Θαμνώδης και ποώδης βλάστηση:** Η συγκεκριμένη κατηγορία παρουσίασε το μεγαλύτερο ποσοστό μείωσης (- 4,8%) αλλά και το μεγαλύτερο αρνητικό ρυθμό μεταβολής της τριακονταετίας (90.6%). Συγκεκριμένα σε περισσότερα από 12000 εκτάρια της κατηγορίας υπήρξε αλλαγή της κάλυψη γης απ το 1987 έως το 2016. Τα περισσότερα από αυτά μετατράπηκαν σε εδάφη χωρίς βλάστηση. Το γεγονός αυτό παρουσιάστηκε σε μεγάλο βαθμό στον χώρο του ορυχείου, καθώς περιοχές που το 1987 ήταν μη εκμεταλλεύσιμες εξορυκτικά το 2016 λόγω εκσκαφής ή απόθεσης υλικών δεν υπάρχει βλάστηση. Όπως προαναφέρθηκε οι εκτάσεις κατά μήκος της Εγνατίας οδού που ανήκαν στην κατηγορία αυτή μετατράπηκαν σε γεωργικές. Αξιοσημείωτες και οι εκτάσεις που μετατράπηκαν σε δασικές, γεγονός που δείχνει πως η μείωση της κτηνοτροφίας και της υπερβόσκησης στον ορεινό όγκο του Βερμίου έχει ως αποτέλεσμα την επέκταση του δασικού συμπλέγματος.

**Δάση:** Παρατηρήθηκε αύξηση των δασικών εκτάσεων της τάξης του 3%. Το συγκεκριμένο ποσοστό εκ' πρώτης όψεως δεν φαίνεται σημαντικό παρόλα αυτά μεταφράζεται σε 7784 νέα εκτάρια δασώδους γης. Σύμφωνα με τον πίνακα τα περισσότερα από αυτά το 1987 ανήκαν στην κατηγορία 6. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί λόγω της μείωσης της υπερβόσκησης στον ορεινό όγκο του Βερμίου. Κατά την διάρκεια της τριακονταετίας και σύμφωνα με μαρτυρίες κατοίκων των ορεινών οικισμών και ιδιαιτέρως των νομαδικών πληθυσμών (Σαρακατσάνοι και Αρβανιτόβλαχοι) που ασχολούνται με την κτηνοτροφία, ο πληθυσμός των κοπαδιών έχει μειωθεί αισθητά. Γενικότερα την περίοδο της συγκεκριμένης τριακονταετίας στην Ελλάδα και μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990 η αστυφιλία γινόταν εντονότερη με παράλληλη σταδιακή απομάκρυνση των νέων γενεών από την κτηνοτροφία. Λιγότερα

κοπάδια στην ουσία σημαίνει λιγότερη πίεση των δασικών και λιβαδικών εκτάσεων, άρα και ευνοϊκότερες συνθήκες ανάπτυξης αυτών.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Με της εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης και κατ'έκταση την διενέργεια της διαχρονικής συγκριτικής μελέτης βγήκαν κάποια ορισμένα συμπεράσματα. Εντοπίστηκαν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα τα οποία αναφέρονται στην συνέχεια:

### Πλεονεκτήματα

- Η πρόσβαση σε δωρεάν χωρικά και δορυφορικά δεδομένα αποτελεί ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα της εφαρμογής διαχρονικών μελετών.
- Η ύπαρξη δωρεάν λογισμικών για την επεξεργασία των ανωτέρω δεδομένων είναι εξίσου σημαντική.
- Η ευκολία οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων κάνει την κατανόηση αυτών ευκολότερη τόσο για τον ταξινομητή όσο και για τον αναγνώστη.
- Το ίδιο ισχύει και για τον εντοπισμό των αλλαγών, την ποσοτικοποίηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων.
- Δεν χρειάστηκε εκτεταμένη και χρονοβόρα έρευνα πεδίου για την ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων.

### Μειονεκτήματα

- Η εφαρμογή της μεθόδου απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις τηλεπισκόπησης και ειδικά φωτοερμηνίας. Υπάρχουν αρκετά τεχνικά σημεία στο κομμάτι της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων, καθώς και στην ταξινόμηση αυτών με αποτέλεσμα να απαιτείται ένα ισχυρό υπόβαθρο επιστημονικών γνώσεων από πολλά αντικείμενα.

- Τα αποτελέσματα έχουν καλύτερη ακρίβεια σε σχετικά μεγάλης κλίμακας επίπεδο. Κατά την άποψη του συγγραφέα ιδανικό μονάδα ταξινόμησης αποτελούν οι περιφέρειες.
- Απαιτείται αρκετός χρόνος και πολλές παράμετροι προκειμένου ο χρήστης να καταλήξει στον ορθό τελικό αριθμό των κατηγοριών ταξινόμησης.
- Ο περιορισμός στις κατηγορίες ταξινόμησης καθώς αν είναι περισσότερες από 8 ο αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας δεν λειτουργεί το ίδιο αποτελεσματικά.
- Το πλήθος δειγμάτων που απαιτούνται ώστε η ταξινόμηση να είναι ορθή και να ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν περισσότερο στην πραγματικότητα. Πιο αναλυτικά για τον διαχωρισμό ορισμένων κατηγοριών ταξινόμησης έπρεπε να ληφθούν πολλαπλά δείγματα καθώς είχαν μεγάλο εύρος καταγραφής από τους δορυφόρους. Χαρακτηριστική κατηγορία αυτή των δασών όπου έπρεπε να συμπεριληφθούν τόσο κωνοφόρα όσο και πλατύφυλλα και φυλλοβόλα διαφορετικών ειδών.
- Η δυσκολία ταξινόμησης στις περιπτώσεις των δενδροπερίβολων στα ημιορεινά του δήμου Βέροιας. Τα είδη των οπωροφότων δένδρων και η εποχή διεξαγωγής της μελέτης είχαν ως αποτέλεσμα τις κοινές τιμές των συγκεκριμένων εικονοστοιχείων με αυτά που ανήκαν στην κατηγορία των δασών.
- Παρόμοια δυσκολία παρουσιάστηκε και σε εκτάσεις καλλιέργειας πατάτας στα προάστια του Πολυμύλου Κοζάνης που τοποθετείται στα πεδινά του δήμου Κοζάνης βόρεια-ανατολικά του λιγνιτικού πεδίου Πτολεμαΐδας. Η συγκεκριμένη καλλιέργεια σε συνδιασμό με την εποχή λήψης της δορυφορικής εικόνας και πιθανόν του προσφάτου ποτίσματος κατέστησε δύσκολη την ένταξη της στην κατηγορία των γεωργικών περιοχών.

Πέραν των συμπερασμάτων επί της μεθόδου, τα αποτελέσματα της διαχρονικής μελέτης αποδείχθηκαν αρκετά ενδιαφέροντα. Τα πιο σημαντικά από αυτά συνοψίζονται παρακάτω:

- έγινε κατανοητό πως μια διαχρονική συγκριτική μελέτη μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικά με τις μεταβολές στην επιφάνεια των βασικών καλύψεων γης που υπό κανονικές συνθήκες είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να συγκεντρωθούν.
- Οι αλλαγές των καλύψεων αλλά και χρήσεων γης στην Ελλάδα και ειδικά στις ορεινές περιοχές είναι ραγδαίες μεταλλασόμενες τις τελευταίες δεκαετίες. Οι διαστάσεις του συγκεκριμένου προβλήματος είναι πολιτικές, κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές ταυτόχρονα. Με λίγα λόγια χρίζουν έντονης λόγω της σημαντικότητάς τους.
- Τα αποτελέσματα της σταδιακής απομάκρυνσης από την κτηνοτροφία που για δεκαετίες πραγματοποιούνταν στα ορεινά του Βερμίου είχαν ως συνέπεια την διεύρυνση των δασικών συμπλεγμάτων, ιδιαίτερα στα μεγάλα υψόμετρα της περιοχής μελέτης.
- Μεγάλα τεχνητά έργα όπως η Εγνατία οδός επηρέασαν άμεσα τις καλύψεις γης. Η αύξηση των πόλεων ως αποτέλεσμα της αστυφιλίας παρατηρήθηκε και στα 3 αστικά κέντρα της περιοχής μελέτης. Όσον αφορά την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου καμία αλλαγή δεν εντοπίστηκε ως προς τις καλύψεις γης.
- Τέλος, ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στα αποτελέσματα που έχουν να κάνουν σχετικά με την εξορυκτική δραστηριότητα. Στην διάρκεια της τριακονταετίας το περιβάλλον στο συγκεκριμένο χώρο έχει μεταβληθεί άρδην. Η αύξηση της έκτασης των ορυχείων είχε το μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης και το αποτέλεσμα στους χάρτες είναι εντυπωσιακό και σίγουρα ανησυχητικό. Φυσικά σε ορισμένες περιοχές όπου παλαιότερα πραγματοποιούνταν εξορυκτικές δραστηριότητες παρατηρήθηκε πως έχουν αποκατασταθεί ή βρίσκονται σε στάδιο αποκατάστασης. Σίγουρα είναι ένα θέμα που θα πρέπει να λάβει υπόψη η πολιτεία καθώς οι περιβαλλοντικοί και κοινωνικοί κίνδυνοι ίσως είναι μεγάλοι.

Εν κατακλείδι, μια διαχρονική συγκριτική μελέτη μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο στον αρχικό εντοπισμό των αλλαγών στο περιβάλλον, στην μετέπειτα



κατανόηση των προβλημάτων που δημιουργούν οι αλλαγές, αλλά και στη πρόβλεψη μελλοντικών και αντιμετώπιση των παρελθοντικών συνεπειών.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ****Ελληνόγλωσση**

Αγαθαγγέλου Μ. (2008), “Σύγκριση παραδοσιακών και αντικειμενοστραφών τεχνικών Τηλεπισκόπησης, κάλυψης – χρήσης γης από τηλεπισκοπικά δεδομένα Quickbird στην επαρχία Πάφου. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Αργιάλας Δ. (2000), “Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Βέης, Γ., 1987. Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, Αθήνα: Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας.

Μερτίκας, Σ., 2006. Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας. Εκδόσεις Ίων.

Σιδηροπούλου Σ.(2013), "Ανάλυση αξιολόγηση του τοπίου των λιμνών του Αλιάκμονα και σχεδιασμός του για την προώθηση εναλλακτικών μορφών τουρισμού", Μεταπτυχιακή διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Γεωπονική σχολή, Θεσσαλονίκη.

Τσακίρη – Στρατή Μ. (2007), “Διαχείριση Τηλεπισκοπικής Παραγωγής – Παραδόσεις μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Γεωπληροφορική», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Φοίτος Δ., Κωνσταντινίδης Θ. & Καμάρη Γ. (εκδ. 2009), “Βιβλίο Ερυθρών Δεδομένων των Σπανίων και Απειλούμενων Φυτών της Ελλάδας, Τόμος Πρώτος Α-D.”, Ελληνική Βοτανική Εταιρεία ISBN: 978-960-9407-09-0, SET: 978-960-9407-12-0.

Χάρου, Ε. Αθ., (2001), “Ανάπτυξη και Εφαρμογή προηγμένων μεθόδων Πληροφορικής, για την αναγνώριση γραμμικών σχηματισμών και την ταξινόμηση τύπων εδαφοκάλυψης από δορυφορικές εικόνες.”, Διδακτορική Διατριβή.

Χοχλιούρος Σ. (2005), "Χλωριδική και φυτοκοινωνιολογική έρευνα του όρους Βερμίου: οικολογική προσέγγιση", Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βιολογίας Φυτών, Εργαστήριο Οικολογίας Φυτών doi: 10.12681/eadd/14357 .

Ψωμιάδης, Εμμ., (2000). “Διερεύνηση και καταγραφή των αλλαγών κάλυψης γης στην ευρύτερη περιοχή της Λαμίας με επεξεργασία δορυφορικών εικόνων Landsat.”, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 168.

**Ξενόγλωσση**

Ball, G. H. and Hall, D. J. (1965), "ISODATA, a novel method of data analysis and pattern classification. Technical Report", Stanford Research Institute, Menlo Park, California.

Berk, A. (1995), "Upgrades to the MODTRAN layer cloud/rain models", Report No. SSI-SR-56, Spectral Sciences, Burlington, MA, 18 pp.

Brogaard S. and Ólafsdóttir R. (1997). "Ground-truths or Ground-lies? Environmental sampling for remote sensing application exemplified by vegetation cover data Lund Electronic Reports in Physical Geography", No. 1, Department of Physical Geography Lund University, Sweden.

Campbell, J. B. (1996), "Introduction to remote sensing", 2nd edition, Taylor and Francis, London, UK.

Chander G. & Markham B., (2003), "Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges Geoscience and Remote Sensing", IEEE Transactions on, 41; 2674 – 2677.

Chavez, P. S. (1996), "Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved Photogrammetric Engineering and Remote Sensing", [Falls Church, Va.] American Society of Photogrammetry, 62; 1025-1036.

Campbell, J. B., & Ran, L. (1993). "CHROM: A C Program to Evaluate the Application of the Dark Object Subtraction Technique to Digital Remote Sensing Data. Computers and Geosciences, Vol. 19.

Collins B. J., Woodcock E. C. (1996), "An Assessment of Several Linear Change Detection Techniques for Mapping Forest Mortality Using Multitemporal Landsat TM Data", Remote Sensing of Environment, 56; 66-77.

Fisher, P. F. and Unwin, D. J., eds. (2005), "Re-presenting GIS", Chichester, England: Wiley.

Gao B., K. Heidebrecht, A.F. Goetz, 1993, "Derivation of scaled surface reflectances from AVIRIS data", Remote Sensing of Environment, 44:165-78.

Georgakellos A. D. (2007), "External cost of air pollution from thermal power plants: case of Greece", International Journal of Energy Sector Management, Vol. 1 Issue: 3, pp.257-272, doi: 10.1108/17506220710821134.

Kneizys, F. X., Shettle, E. P., Abreu, L. W., et al. (1988), Users' Guide to LOWTRAN7, Report No. AFGL-TR-88-0177, Air Force Geophys. Lab., Hanscom AFB, MA, 138 pp.

Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. (1994), "Remote Sensing and Image Interpretation. Third edition, Wiley & Sons, USA.

Liang S.(2004), "Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces", Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 534 pp.

- Mather, .P. (1999), Computer Processing of Remotely-Sensed Images. UK: J. Wiley & Sons, 2nd edition, USA.
- Moran M., Jackson R., Slater P. & Teillet P. (1992), "Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output Remote Sensing of Environment", 41; 169-184.
- Murai, S. (1995), "Remote Sensing Note", Japan Association of Remote Sensing, Tokyo, Japan, pp 219.
- Plourde, L. and Congalton, R.G., 1992. Sampling Method and Sample Placement: How Do They Affect the Accuracy of Remotely Sensed Maps? Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 69 (3), 289- 297.
- Sobrino J., Jiménez-Muñoz J. C. & Paolini L. (2004), "Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5 Remote Sensing of Environment", Elsevier, 90; 434-440.
- Story M., Congalton R. (1986), "Accuracy assessment: a user's perspective, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing", 52; 397 – 399.
- Tomlin D. C., (1991), "Cartographic Modelling" in Maguire J. D. et al (eds.) Geographical Information Systems: Principles and Applications. London, Longman, Vol.1, pp. 361:374.
- Richards J. A. and Jia, X. (2006), "Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction", Berlin, Germany Springer.

### Διαδίκτυο

- Αρκτούρος (2017), Διαθέσιμο στο: [http://www.arcturos.gr/el/index.php?option=ozo\\_content&perform=view&id=5&Itemid=1](http://www.arcturos.gr/el/index.php?option=ozo_content&perform=view&id=5&Itemid=1) [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]
- Congedo L. (2017), "Semi-Automatic Classification Plugin Documentation Release 5.3.2.1". Διαθέσιμο στο <https://media.readthedocs.org/pdf/semiautomaticclassificationmanual-v4/latest/semiautomaticclassificationmanual-v4.pdf> [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]
- ΔΕΗ (2017), Διαθέσιμο στο: <https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/tomeis-drastiriotitas/oruxeia> [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]
- Δήμος Βέροιας (2017), "Ορνιθοπανίδα του Τριποτάμου", Διαθέσιμο στο: <http://discoververia.gr/ornithopanida-tripotamou/> [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]
- Δήμος Εορδαίας (2017), "ΕΟΡΔΑΙΑ, Ο ΤΟΠΟΣ ΠΟΥ ΑΛΛΑΖΕΙ", Διαθέσιμο στο: <http://www.ptolemaida.gr/wp-content/uploads/2016/09/EORDAIA-%CE%9F-%CE%A4%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%A3-%CE%A0%CE%9F%CE%A5-%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%96%CE%95%CE%99.pdf> [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (2017), Διαθέσιμο στο: <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/GEOL130/%CE%A4%CE%91%CE%9E%CE%99%CE%9D%CE%9F%CE%9C%CE%97%CE%A3%CE%97%20%CE%A0%CE%9F%CE%9B%CE%A5%CE%A6%CE%91%CE%A3%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%A9%CE%9D%20%CE%95%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%9D%CE%A9%CE%9D.doc> [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]

Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρία (2017), φωτογραφία Οδυσσέας Τζημούλης, Διαθέσιμο στο: [http://www.ornithologiki.gr/page\\_iba.php?aID=42](http://www.ornithologiki.gr/page_iba.php?aID=42) [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]

Εγνατία Οδός Α.Ε. (2017), “Η Ιστορία της Εγνατίας Οδού”, Διαθέσιμο στο: <http://www.egnatia.eu/page/default.asp?la=1&id=28> [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]

Καλλιστώ (2017), Διαθέσιμο στο: (<http://www.callisto.gr/arkouda.php>) [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]

JARS, 1993. Remote Sensing Note. Japan Association on Remote Sensing. Διαθέσιμο στο: [http://www.jars1974.net/pdf/rsnote\\_e.html](http://www.jars1974.net/pdf/rsnote_e.html) [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]

NASA ed. (2011), “Landsat 7 Science Data Users Handbook”, Landsat Project Science Office, NASA’s Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 186, Διαθέσιμο στο: [http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7\\_Handbook.pdf](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf) [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]

NASA, ed. (2013). Landsat 7 Science Data User’s Handbook. Διαθέσιμο στο: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov> [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]

NATURA 2000 (2017), Διαθέσιμο στο: <http://natura2000.eea.europa.eu/> [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]

Παρχαρίδης, Ι., 2015. *Αρχές δορυφορικής τηλεπισκόπησης*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/3960> [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]

Περάκης, Κ., Μουσιάδης, Α., Φαρασλής, Ι., 2015. *Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/1840> [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]

Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2017), “ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ NATURA 2000”, Διαθέσιμο στο: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=432> [πρόσβαση 5 Απριλίου 2017]

**Λογισμικά εφαρμογής**

QGIS Desktop 2.14.15

Windows 7

Microsoft Office 2013, Word, Excel

