

ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΚΑΛΥΨΕΩΝ/ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΔΟΙΚΗΣΗ ΓΑΙΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΜΟΣΧΟΣ ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ  
του Αθανασίου

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΥΠΟΒΛΗΘΕΙΣΑ ΣΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΝΟΜΗ ΤΟΥ ΤΙΤΛΟΥ ΔΙΔΑΚΤΟΡΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

2022

© 2022 ΜΟΣΧΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ  
Η ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΚΠΟΝΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΙΔΙΟ. ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΕΙ ΤΙΣ  
ΠΡΟΣΩΠΙΚΕΣ ΤΟΥ ΑΠΟΨΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΑΦΕΡΕΙ ΠΛΗΡΩΣ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΠΗΓΕΣ ΣΤΙΣ  
ΟΠΟΙΕΣ ΑΝΕΤΡΕΞΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΤΗΣ.

### **Συμβουλευτική Επιτροπή**

**Κωνσταντίνος Περάκης**  
Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,  
Επιβλέπων της Διδακτορικής Διατριβής

**Δημήτριος Γούσιος**  
Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Απόστολος Αρβανίτης**  
Καθηγητής, Αριστοτέλειο  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

### **Εξεταστική Επιτροπή**

**Δημήτριος Σταθάκης**  
Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Όλγα Χριστοπούλου**  
Καθηγήτρια, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Γεώργιος Μαλλίνης**  
Αναπληρωτής Καθηγητής, Αριστοτέλειο  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

**Πέτρος Γκανάτσας**  
Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλονίκης

Στη μνήμη των γονιών μου και του καθηγητή μου στο University of Florida των Η.Π.Α. Λουκά  
Αρβανίτη.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Κωνσταντίνο Περάκη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να εμβαθύνω τις γνώσεις μου στο γνωστικό αντικείμενο της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, και για την αμέριστη συμπαράσταση και καθοδήγηση στην εκπόνηση της έρευνάς μου.

Επίσης, τα υπόλοιπα μέλη της 7-μελούς Επιτροπής για τις πολύτιμες συμβουλές τους και την υποστήριξή τους.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον συνεργάτη και από ετών επιστήθιο φίλο μου Ιωάννη Ελευθεριάδη για την πολύτιμη βοήθειά του στην επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων.

Το ν.π.δ.δ. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ και άλλους φορείς για τη διάθεση γεωχωρικών δεδομένων και δορυφορικών δεδομένων, που χρησιμοποιήθηκαν στην εκπόνηση της έρευνάς μου.

Τέλος, είμαι ευγνώμων στη σύζυγο και τα παιδιά μου για την κατανόηση και υποστήριξή τους.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

σελίδα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	16
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΑ	
1 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΣ ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....	18
1.1 Εισαγωγή .....	18
1.2 Ερευνητικός Σκοπός .....	19
1.3 Δομή Διατριβής.....	21
2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΓΕΩΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	24
2.1 Γεωγραφική Θέση, Διοικητική και Πληθυσμιακή Διάρθρωση .....	24
2.1.1 Γεωγραφική θέση .....	24
2.1.2 Διοικητική διαίρεση.....	28
2.1.3 Θεσμοθετημένοι οικισμοί.....	28
2.1.4 Πληθυσμός .....	28
2.2 Φυσικό Περιβάλλον .....	30
2.2.1 Κλίμα και βιοκλίμα .....	30
2.2.2 Γεωλογία και γεωμορφολογία .....	30
2.2.3 Έδαφος.....	31
2.2.4 Υδρολογία και υδρογεωλογία.....	32
2.2.5 Τοπίο.....	33
2.2.6 Χλωρίδα.....	37
2.2.7 Οικοσυστήματα και ζώνες βλάστησης.....	39
2.2.8 Τύποι οικοτόπων.....	42
2.2.9 Πανίδα .....	45
2.3 Μορφές Κάλυψης/Χρήσεις Γης και Μεταβολές .....	47
2.3.1 Καταγραφές μορφών κάλυψης/χρήσεων γης .....	47
2.3.2 Δάση και δασικές εν γένει εκτάσεις .....	52
2.3.3 Αγροτικές εκτάσεις.....	55
2.3.4 Υδάτινες επιφάνειες.....	57
2.3.5 Υγροτοπικές περιοχές.....	59

2.3.6	Βοσκήσιμες γαίες-λιβάδια .....	61
2.3.7	Τεχνητές επιφάνειες.....	63
2.4	Διοίκηση και Διαχείριση Γης.....	65
2.4.1	Νομικό καθεστώς .....	65
2.4.2	Ιδιοκτησιακό καθεστώς .....	69
2.4.3	Διαχείριση Δασών .....	72
2.4.4	Διοίκηση και διαχείριση προστατευόμενης περιοχής .....	74
2.5	Συμπεράσματα .....	75
3	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ .....	77
3.1	Καταγραφή και Παρακολούθηση Μορφών Κάλυψης/Χρήσεων Γης .....	77
3.2	Ο Ρόλος της Τηλεπισκόπησης .....	79
3.2.1	Δορυφορικά δεδομένα Landsat .....	83
3.2.2	Το πρόγραμμα NLCD.....	86
3.2.3	Το πρόγραμμα Copernicus GMES .....	88
3.2.4	Δορυφορικά δεδομένα Sentinel .....	90
3.3	Συστήματα Ταξινόμησης Μορφών Κάλυψης/Χρήσεων Γης .....	93
3.3.1	Σύστημα ταξινόμησης NLCD .....	95
3.3.2	Σύστημα ταξινόμησης Corine Land Cover (CLC) .....	95
3.3.3	Σύστημα ταξινόμησης FAO .....	98
3.3.4	Σύστημα ταξινόμησης τύπων οικοτόπων .....	100
3.3.5	Σύστημα κωδικοποίησης χρήσεων γης Ελληνικού Κτηματολογίου .....	102
3.4	Θεσμικά Γεωχωρικά Δεδομένα στον Ελληνικό Χώρο .....	103
3.4.1	Χαρτογραφικά υπόβαθρα .....	104
3.4.2	Δασικοί χάρτες .....	105
3.4.3	LPIS .....	110
3.4.4	Δεδομένα προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura2000 .....	112
3.4.5	Διανομές και αναδασμοί γαιών .....	113
3.4.6	Κτηματολογικά δεδομένα.....	115
3.5	Ανασκόπηση Μεθόδων Ανίχνευσης Μεταβολών Γης από Δορυφορικά Δεδομένα..	116
3.5.1	Ανάλυση δορυφορικών δεδομένων .....	116
3.5.1.1	Ανάλυση δι-χρονικών δεδομένων .....	117
3.5.1.2	Ανάλυση χρονικών σειρών δεδομένων .....	117
3.5.2	Μονάδα ανάλυσης .....	121
3.5.3	Στάδια ανίχνευσης μεταβολών .....	121
3.5.4	Ανασκόπηση τεχνικών εξαγωγής μεταβολών από δορυφορικά δεδομένα ....	122
3.5.4.1	Φωτοερμηνεία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών .....	125
3.5.4.2	Άλγεβρα εικόνων.....	127
3.5.4.3	Καθορισμός ορίων.....	129
3.5.4.4	Ταξινόμηση.....	131
3.5.4.5	Κατάτμηση .....	135
3.5.4.6	Στατιστικό όριο.....	136
3.5.4.7	Ανάλυση τροχιάς .....	137
3.6	Ανασκόπηση Αλγόριθμων Ταξινόμησης Δορυφορικών Εικόνων.....	137
3.6.1	Μέγιστη πιθανοφάνεια .....	139
3.6.2	Κ-πλησιέστερης γειτνίασης.....	140

3.6.3	Μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης .....	141
3.6.4	Τυχαίο δάσος .....	142
3.6.5	Θεματική ακρίβεια.....	143
3.7	Συμπεράσματα .....	148
4	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	151
4.1	Εισαγωγή .....	151
4.2	Προτεινόμενα Υλικά και Μέθοδοι .....	151
4.2.1	Ανάπτυξη θεωρητικού μοντέλου.....	151
4.2.2	Δορυφορικά δεδομένα .....	153
4.2.3	Γεωχωρικά δεδομένα.....	155
4.2.4	Προτεινόμενη μεθοδολογία .....	155
4.3	Επισημάνσεις επί της Προτεινόμενης Μεθοδολογίας .....	159
5	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΣΕ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΕΙΡΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ LANDSAT .....	161
5.1	Εισαγωγή .....	161
5.2	Υλικά και Μέθοδοι .....	161
5.2.1	Δορυφορικά δεδομένα Landsat .....	162
5.2.2	Φασματικοί μετασχηματισμοί .....	162
5.2.3	Παρατήρηση και ερμηνεία .....	167
5.3	Αποτελέσματα.....	169
5.3.1	Εποχιακές διακυμάνσεις.....	169
5.3.1.1	Δάση .....	172
5.3.1.2	Υγρότοποι.....	178
5.3.1.3	Γεωργία.....	180
5.3.1.4	Τεχνητές επιφάνειες.....	187
5.3.2	Διαχρονικές μεταβολές.....	188
5.3.2.1	Κυκλικές μεταβολές .....	189
5.3.2.2	Απότομες μεταβολές κατάστασης .....	190
5.3.2.3	Διατάραξη και αποκατάσταση.....	194
5.3.2.4	Σταδιακές μεταβολές .....	196
5.4	Συμπεράσματα .....	198
6	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΜΟΡΦΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ LANDSAT ΚΑΙ SENTINEL .....	200
6.1	Εισαγωγή .....	200
6.2	Υλικά και Μέθοδοι .....	202
6.2.1	Περιοχή έρευνας.....	202
6.2.2	Δορυφορικά δεδομένα .....	204
6.2.3	Δεδομένα αναφοράς .....	207
6.2.4	Μεθοδολογία επικαιροποίησης μελετών διαχείρισης δασών.....	209
6.2.5	Στατιστικός σχεδιασμός .....	212
6.2.6	Κατάτμηση .....	214



6.2.7	Ταξινόμηση μορφών κάλυψης/χρήσεων γης με εικόνες Landsat .....	216
6.2.7.1	Ταξινόμηση μορφών κάλυψης/χρήσεων γης στο σύνολο της περιοχής..	217
6.2.7.2	Ταξινόμηση μορφών κάλυψης/χρήσεων γης ανά υποπεριοχή .....	220
6.2.8	Ταξινόμηση μορφών/κάλυψης χρήσεων γης με εικόνες Sentinel.....	221
6.2.9	Ακρίβεια ταξινόμησης.....	222
6.3	Αποτελέσματα.....	224
6.4	Συμπεράσματα .....	229
7	ΤΕΛΙΚΕΣ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ .....	232
7.1	Ευρήματα .....	232
7.2	Επισημάνσεις για το μέλλον .....	233
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ		
A	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ .....	235
B	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ NLCD 2016.....	238
Γ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΟΡΦΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ CLC.....	241
Δ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑ FAO (2016) .....	243
Ε	ΤΥΠΟΙ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ Ι ΟΔΗΓΙΑΣ 92/41/ΕΟΚ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΤΥΠΩΝ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ .....	244
ΣΤ	ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΤΥΠΩΝ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ CLC.....	247
Ζ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΕΚ.....	251
Η	ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΟΡΦΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΕΙΝΙΑΙΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΥΠΟΠΑΘΡΑ ΤΟΥ ΕΚ.....	253
Θ	ΑΚΡΙΒΕΙΕΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΟΡΦΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ/ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ.....	255
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....		288
ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ .....		303

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<u>Πίνακας</u>	<u>σελ.</u>
Πίνακας 2-1. Γεωγραφικές συντεταγμένες κέντρου περιοχής έρευνας.....	25
Πίνακας 2-2. Κατανομή πληθυσμού ανά κατηγορία οικισμών.....	29
Πίνακας 2-3. Κατάλογος δασικών ειδών.....	38
Πίνακας 2-4. Καταγεγραμμένοι τύποι οικοτόπων εντός περιοχής μελέτης (Πηγή: ΕΚΧΑ, 2015). ....	43
Πίνακας 2-5. Κατάλογος κύριων (συγκυρίαρχων) ειδών που καταγράφηκαν στο πλαίσιο της επικαιροποίησης των χερσαίων τύπων των οικοτόπων (ΕΚΧΑ, 2015). ....	46
Πίνακας 2-6. Μορφές κάλυψης/χρήσεων γης (ΕΑΔ, 1992). ....	49
Πίνακας 2-7. Κατηγορίες μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σύμφωνα με το πρόγραμμα «GMES/Copernicus Initial Operations (GIO) Land monitoring 2011-2013». ....	51
Πίνακας 2-8. Μεταβολή των δασών και δασικών εκτάσεων 1945-2017. ....	55
Πίνακας 2-9. Κατηγορίες γεωργικών εκτάσεων (LPIS-GIS), 2017. ....	57
Πίνακας 2-10. Μεταβολή της υδάτινης επιφάνειας των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης κατά την περίοδο 1945-2015. ....	59
Πίνακας 2-11. Μεταβολές τύπων οικοτόπων (1999/2000-2015). ....	62
Πίνακας 2-12. Κατανομή βοσκήσιμων γαιών, 2017. ....	63
Πίνακας 2-13. Βοσκόμενοι τύποι οικοτόπων ανά προστατευόμενη περιοχή.....	64
Πίνακας 2-14. Στοιχεία ιδιοκτησιακού καθεστώτος δασικών συμπλεγμάτων περιοχής έρευνας.....	70
Πίνακας 2-15. Κατάσταση διαχειριζόμενων δασών περιοχής μελέτης. ....	72
Πίνακας 3-1. Εξέλιξη του προγράμματος Corine Land Cover 1990-2018 (Büttner and Kosztra, 2017). ....	91
Πίνακας 4-1. Υφιστάμενα γεωχωρικά δεδομένα. ....	155
Πίνακας 5-1. Δείγμα σταθερών μορφών κάλυψης γης διαχρονικά. ....	168
Πίνακας 6-1. Εικόνες Landsat TM SR ανά εποχή (2008-2009). ....	205
Πίνακας 6-2. Εικόνες Landsat 8 OLI SR ανά εποχή (2018-2019). ....	205

Πίνακας 6-3. Εικόνες Sentinel-2 ανά εποχή (2018-2019).....	207
Πίνακας 6-4. Γεωχωρικά δεδομένα αναφοράς.....	208
Πίνακας 6-5. Κατανομή δείγματος ανά κατηγορία μορφής κάλυψης/χρήσεων γης κατά CLC2018.....	214
Πίνακας 6-6. Μέγεθος και κατανομή δεδομένων εκπαίδευσης και επιβεβαίωσης ανά κατηγορία κάλυψης γης (Landsat 5 και 8).....	219
Πίνακας 6-7. Μέγεθος και κατανομή δεδομένων εκπαίδευσης και επιβεβαίωσης ανά κατηγορία κάλυψης γης (Sentinel-2, θέρος 2018).....	222
Πίνακας 6-8. Ολική ακρίβεια ταξινόμησης 2018 ανά δορυφορικό ανιχνευτή και σενάριο σε επίπεδο συνολικής περιοχής.....	224
Πίνακας 6-9. Ολική ακρίβεια ταξινόμησης 2008 ανά σενάριο σε επίπεδο συνολικής περιοχής.....	226
Πίνακας 6-10. Ακρίβεια ταξινόμησης ανά υποπεριοχή.....	229

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<u>Εικόνα</u>	<u>σελ.</u>
Εικόνα 2-1. Χάρτης προσανατολισμού. ....	25
Εικόνα 2-2. Όρια των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura2000 της περιοχής μελέτης, εφαρμοσμένων επί των ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων (LSO) του ΕΚ. ....	27
Εικόνα 2-3. Υφιστάμενοι οικισμοί. ....	29
Εικόνα 2-4. Εδαφολογικός χάρτης περιοχής μελέτης. ....	31
Εικόνα 2-5. Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. ....	34
Εικόνα 2-6. Χάρτης ζωνών βλάστησης. ....	40
Εικόνα 2-7. Κατανομή δειγματοληπτικών μονάδων εντός προστατευόμενων περιοχών GR1220001 και GR122003, 2015. ....	45
Εικόνα 2-8. Ιστορικός Χάρτης Μορφών Κάλυψης/Χρήσεων Γης (1960). ....	48
Εικόνα 2-9. Χάρτης μορφών κάλυψης/χρήσεων γης της περιοχής μελέτης, 2012. ....	50
Εικόνα 2-10. Δασικός Χάρτης περιοχής μελέτης (Πηγή: Ελληνικό Κτηματολόγιο). ....	53
Εικόνα 2-11. Δασικές και χορτολιβαδικές εκτάσεις το 1945 (Πηγή: Ελληνικό Κτηματολόγιο). ....	54
Εικόνα 2-12. Κάλυψη διανομών και αναδασμών γαιών. ....	56
Εικόνα 2-13. Διαχρονική κατάσταση της λίμνης Κορώνειας. Α) Ορθοεικόνα, 1μ. 1945, Β) Ορθοεικόνα LSO, 1μ, TrueColorRGB, 2007, Γ) Ψευδέγχρωμη δορυφορική εικόνα Rapideye, 5μ., 2011, και Δ) Ορθοεικόνα LSO25, 0,25μ. 2015. ....	58
Εικόνα 2-14. Χάρτης δασικών συμπλεγμάτων λεκάνης απορροής. ....	73
Εικόνα 3-1. Landsat TM: Μέση σχετική φασματική ανταπόκριση διαύλων (τελευταία ενημέρωση 09/09/2019, πηγή: <a href="https://landsat.usgs.gov/spectral-characteristics-viewer">https://landsat.usgs.gov/spectral-characteristics-viewer</a> ). ....	85
Εικόνα 3-2. Σύγκριση φασματικών διαύλων Sentinel-2 και Landsat 7 και 8 (πηγή: <a href="https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat">https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat</a> , τελευταία ενημέρωση 11/05/2019). ....	93
Εικόνα 3-3. Απόσπασμα Δασικού Χάρτη σε υπόβαθρο LSO25. ....	106
Εικόνα 3-4. Απόσπασμα Ορθοφωτοχάρτη έτους 1945. ....	108

Εικόνα 3-5. Εφαρμογή τύπων αγροτεμαχίων αναφοράς επί ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων (LSO).....	111
Εικόνα 3-6. Στοιχεία κυρωμένου αναδασμού: Α) Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος σε υπόβαθρο LSO25, Β) Το αντίστοιχο απόσπασμα κτηματολογικού πίνακα για το υπ' αριθμ. 98 αγροτεμάχιο.....	114
Εικόνα 3-7. Χωρική επισκόπηση κτηματολογικής βάσης μέσω ΣΠΕΚ.....	116
Εικόνα 3-8. Ταξινόμηση μεθόδων ανίχνευσης μεταβολών γης.....	125
Εικόνα 4.1. Θεωρητικό μοντέλο καταγραφής και παρακολούθησης μορφών κάλυψης/χρήσεων γης. ....	152
Εικόνα 4-2. Κάλυψη περιοχής έρευνας από εικόνες Landsat TM.....	153
Εικόνα 4-3. Μωσαϊκό εικόνων Landsat TM (διάυλοι 4,3,2).....	154
Εικόνα 4-4. Κάλυψη περιοχής μελέτης από εικόνες Sentinel-2.....	154
Εικόνα 4-5. Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας. ....	160
Εικόνα 5-1. Διάκριση μόνιμων (μπλε) και εποχιακών (κυανούν) λιμναίων υδάτων με βάση το όριο τιμών δείκτη MNDWI = 0,05 (184/032 Landsat TM C2L2 SR, 05/07/2008).....	166
Εικόνα 5-2. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών αντανάκλασης (BOA) ειδών βλάστησης ανά κανάλι εικόνας Landsat TM (183/032) έτους 2008.....	170
Εικόνα 5-3. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη NDVI ανά δασικό είδος.....	173
Εικόνα 5-4. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη EVI ανά δασικό είδος.....	174
Εικόνα 5-5. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη SAVI ανά δασικό είδος. ....	175
Εικόνα 5-6. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη MSAVI ανά δασικό είδος.....	176
Εικόνα 5-7. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη NDMI ανά δασικό είδος.....	177
Εικόνα 5-8. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη NDVI ανά τύπο οικοτόπου.....	179
Εικόνα 5-9. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη EVI ανά τύπο οικοτόπου. ....	179
Εικόνα 5-10. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών NDMI ανά τύπο οικοτόπου.....	180
Εικόνα 5-11. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών NDVI ανά αγροτική καλλιέργεια.....	182
Εικόνα 5-12. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών EVI ανά αγροτική καλλιέργεια. ....	183

Εικόνα 5-13. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών SAVI ανά αγροτική καλλιέργεια. ....	184
Εικόνα 5-14. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών MSAVI ανά αγροτική καλλιέργεια. ....	185
Εικόνα 5-15. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών NDMI ανά αγροτική καλλιέργεια. ....	186
Εικόνα 5-16. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών NDVI ανά είδος τεχνητής επιφάνειας. ....	187
Εικόνα 5-17. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών EVI ανά είδος τεχνητής επιφάνειας. ....	188
Εικόνα 5-18. Κυκλική μεταβολή λόγω τροφοδοσίας της λίμνης Κορώνειας με νερό. Α) Διαχρονική διακύμανση τιμών MNDWI, Β) Αποσπάσματα ορθοεικόνων ΕΚ 2008 και 2015 και εικόνας Google Earth 2018 για την αποτύπωση της κατάστασης στα αντίστοιχα έτη. ....	190
Εικόνα 5-19. Απότομη μεταβολή λόγω εκχέρσωσης. Α) Διαχρονική διακύμανση τιμών NDVI, Β) Διαχρονική διακύμανση τιμών EVI, Γ) Αποσπάσματα ορθοεικόνων ΕΚ 2008 και 2014 και εικόνας Google Earth 2018 για την αποτύπωση της κατάστασης στα αντίστοιχα έτη. ....	192
Εικόνα 5-20. Απότομη μεταβολή αγρών που μετατράπηκαν σε ελαιώνες. Α) Διαχρονική διακύμανση τιμών NDVI, Β) Διαχρονική διακύμανση τιμών EVI, Γ) Αποσπάσματα ορθοεικόνων ΕΚ 2009 και 2016 και εικόνας Google Earth 2018 για την αποτύπωση της κατάστασης στα αντίστοιχα έτη. ....	193
Εικόνα 5-21. Διατάραξη και αποκατάσταση τμήματος δάσους λόγω υλοτομίας. Α) Διαχρονική διακύμανση τιμών NDVI, Β) Διαχρονική διακύμανση τιμών EVI, Γ) Αποσπάσματα ορθοεικόνων ΕΚ 2008 και 2015 και εικόνας Google Earth 2017 για την αποτύπωση της κατάστασης στα αντίστοιχα έτη. ....	195
Εικόνα 5-22. Σταδιακή μεταβολή λόγω οικολογικής διαδοχής. Α) Διαχρονική διακύμανση τιμών MNDWI, Β) Διαχρονική διακύμανση τιμών EVI, Γ) Αποσπάσματα ορθοεικόνων ΕΚ 2008 και 2015 και εικόνας Google Earth 2017 για την αποτύπωση της κατάστασης στα αντίστοιχα έτη. ....	197
Εικόνα 6-1. Καταγραφή μορφών κάλυψης/χρήσεων γης κατά CLC2018. ....	203
Εικόνα 6-2. Κάλυψη περιοχής έρευνας από εικόνες Landsat. ....	204
Εικόνα 6-3. Κάλυψη περιοχής έρευνας από εικόνες Sentinel-2. ....	206
Εικόνα 6-5. Προβολή του ψηφιακού δασοπονικού χάρτη επί των ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων (LSO) του ΕΚ για την οριοθέτηση των εξωτερικών ορίων του διαχειριζόμενου δάσους. ....	210
Εικόνα 6-6. Αναμόρφωση συστάδας και οριοθέτηση άλλων μορφών κάλυψης γης. Τμήματα της συστάδας 20β οριοθετούνται κατ' εφαρμογή των κριτηρίων. ....	211

Εικόνα 6-7. Χάρτης κατανομής και πλήθος δειγματοληπτικών μονάδων στο χώρο. ....	213
Εικόνα 6-8. Χάρτης κατάτμησης περιοχής έρευνας σε τρεις (3) υποπεριοχές - ζώνες. ....	215
Εικόνα 6-9. Μορφές κάλυψης/χρήσεων γης 2018 (K-NN, Landsat-8 OLI). ....	225
Εικόνα 6-10. Μορφές κάλυψης/χρήσεων γης 2008 (ML, Landsat-5 TM). ....	227
Εικόνα 6-11. Μορφές κάλυψης/χρήσεων γης 2018 (RF, Sentinel-2).....	228

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

BOA	Bottom-of-Atmosphere
DOY	Day-of-Year
EEA	European Environmental Agency
EK	ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ
ESA	European Space Agency
EVI	Enhanced Vegetation Index
K-NN	K-Nearest Neighborhood
LPIS	Land Parcel Identification System
LSO	Large Scale Orthophotos 2007-09
LSO25	Large Scale Orthophotos 25cm 2014-16
ML	Maximum Likelihood
MNDWI	Modified Normalized Difference Water Index
MSAVI	Modified Soil Adjusted Vegetation Index
NDMI	Normalized Difference Moisture Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
RF	Random Forest
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SVM	Support Vector Machine
TOA	Top-of-Atmosphere
USGS	United States Geological Survey



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

της Διατριβής υποβληθείσας στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης για την απονομή του τίτλου Διδάκτορα

ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΚΑΛΥΨΕΩΝ/ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΔΟΙΚΗΣΗ ΓΑΙΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Μόσχος Βογιατζής

Δεκέμβριος 2022

Η γεωχωρική καταγραφή και παρακολούθηση των μορφών κάλυψη γης/χρήσεων γης μέσω χρονικών σειρών δορυφορικών δεδομένων αποτελεί πρόκληση για την επιστημονική κοινότητα. Η διατριβή αυτή εστιάζει στην αξιολόγηση μεθόδων για την γεωχωρική αναγνώριση και καταγραφή των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και την ανίχνευση μεταβολών τους σε βάθος δεκαετίας. Με βάση την προτεινόμενη μεθοδολογία, ερευνήθηκε σε βάθος η διαχρονική αναγνώριση και καταγραφή των μορφών κάλυψης γης και οικοσυστημάτων της λεκάνης απορροής με την επεξεργασία και αντιπαραβολή διαθέσιμων γεωχωρικών δεδομένων από διάφορες πηγές (δορυφορικά δεδομένα, χαρτογραφικά υπόβαθρα ΕΚ, LPIS, δεδομένα κτηματογράφησης, δασικών χαρτών και τύπων οικοτόπων του δικτύου «Natura2000»). Διαπιστώθηκε μεγάλη ετερογένεια τοπίου και χωρική εναλλαγή των οικοσυστημάτων. Με βάση χρονικές σειρές εικόνων Landsat-5 TM και 8 OLI εξετάστηκαν οι διεποχιακές και διαχρονικές διακυμάνσεις της αντανάκλασης των υφιστάμενων μορφών κάλυψης γης μέσω φασματικών μετασχηματισμών (NDVI, EVI, MNDWI, NDMI, SAVI και MSAVI). Τα παραδείγματα που παρουσιάζονται είτε αφορούν αμετάβλητα στο χρόνο χαρακτηριστικά είτε μεταβολές αυτών, τεκμηριώνουν τη συσχέτισή τους με τις καταγραμμένες τιμές αντανάκλασής τους σε εικόνες Landsat ανά εποχή και σε βάθος χρόνου. Αναπτύχθηκαν και αξιολογήθηκαν διάφορα σενάρια ταξινόμησης μορφών κάλυψης γης με διαφορετικούς αλγόριθμους (RF, ML και K-NN) σε επίπεδο περιοχής έρευνας αλλά και ανά υποπεριοχή (δάση, υγρότοποι, λοιπές περιοχές) για τη διερεύνηση της ετερογένειας τοπίου. Ως προς την ταξινόμηση εικόνων Landsat, αναγνωρίστηκαν 8 κατηγορίες γης και η μεγαλύτερη ολική ακρίβεια (93,02%) επιτεύχθηκε με τον αλγόριθμο K-NN, με βάση διεποχιακές εικόνες Landsat 8 OLI (κανάλια 12: 2-7, EVI και NDMI). Σε επίπεδο ταξινόμησης ανά υποπεριοχή, αναγνωρίστηκαν περισσότερες κατηγορίες γης ενώ η ολική ακρίβεια αυξήθηκε σημαντικά στα δάση (RF: 95,58%) και στους υγροτόπους (RF: 98,94%). Συγκριτικά, στην ταξινόμηση εικόνων Sentinel-2a MSI λήψης θέρους (κανάλια 10: 2-8, 8A, 11 και 12) αναγνωρίστηκαν περισσότερες κατηγορίες γης (12) και η ολική ακρίβεια ανήλθε σε 90,91% (RF). Συνολικά, σε επίπεδο λεκάνης απορροής, ανιχνεύθηκαν διάσπαρτες μεταβολές μικρής επιφάνειας, κυρίως λόγω αλλαγής καλλιέργειών. Οι μεγαλύτερες μεταβολές στο χρόνο παρατηρήθηκαν στις υγροτοπική περιοχή, με τη διαδοχική εναλλαγή τύπων οικοτόπων, οι οποίες οφείλονται στις μετακινήσεις των υδάτων της λίμνης Κορώνειας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΣ ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

### 1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία, ερευνά την κατάσταση των φυσικών οικοσυστημάτων και τις μορφές κάλυψης/χρήσεων γης εντός των ορίων υδρολογικής λεκάνης απορροής με βάση δορυφορικά δεδομένα και διαθέσιμα θεσμικά γεωχωρικά δεδομένα υψηλής ακρίβειας.

Το αντικείμενο της διαχείρισης μιας λεκάνης απορροής περιλαμβάνει ένα εύρος θεμάτων, μεταξύ των οποίων είναι η παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και των φυσικών πόρων, η διαχείριση και προστασία του περιβάλλοντος, η διαχείριση των υδατικών πόρων, ο τοπικός πληθυσμός, η οικονομική ανάπτυξη, το ιδιοκτησιακό καθεστώς, κ.λπ. Η φύση του θέματος, είναι πολυδιάστατη. Όμως, για το σκοπό της διατριβής αυτής, το πεδίο έρευνας πρέπει να περιοριστεί. Η έρευνα επικεντρώνεται στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός ενιαίου πολυ-επίπεδου συστήματος καταγραφής και παρακολούθησης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σε επίπεδο λεκάνης απορροής, βασιζόμενο σε διαφορετικές πηγές, διαφορετικής χωρικής κλίμακας, στην ανάπτυξη μεθοδολογιών με βάση πολυφασματικά δορυφορικά και από αέρος δεδομένα σε συνδυασμό με επίγεια δεδομένα, προκειμένου να προσδιοριστούν διαχρονικά, χωρικά και ποσοτικά οι μορφές κάλυψης/χρήσεων γης στο σύνολο της λεκάνης απορροής, και να ανιχνευθούν οι μεταβολές τους.

Στην συγκεκριμένη περιοχή συναντάται η έλλειψη μέτρων διαχείρισης, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ελληνικής και ευρωπαϊκής νομοθεσίας αλλά και της κοινωνίας για την αποκατάσταση της υποβαθμισμένης προστατευόμενης περιοχής. Η χωρική καταγραφή των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σε μια ευρύτερη ζώνη της προστατευόμενης, όπως ενδείκνυται η λεκάνη απορροής, είναι αναγκαία και πλέον κατάλληλη για να χυθεί περισσότερο φως στο υποκείμενο πρόβλημα. Το νερό, τα θρεπτικά συστατικά, τα ιζήματα, τα φυτοφάρμακα και τα

απόβλητα, που αποτίθενται στον τελικό αποδέκτη (λίμνες Κορώνειας-Βόλβης) βρίσκονται σε συνάρτηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης απορροής. Η ποσότητα και η συχνότητα των ως άνω εισερχόμενων στοιχείων στον υγρότοπο έχουν συνέπειες στην κατάσταση του υγροτόπου, ακόμη και στην επιβίωση της χλωρίδας και πανίδας του υγροτόπου. Επειδή, οι μορφές κάλυψης/χρήσεις γης μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου λόγω ανθρωπογενών επιδράσεων ή/και φυσικών φαινομένων, απαιτείται η καταγραφή και η περιοδική παρακολούθησή τους

Σε επίπεδο λεκάνης απορροής, διερευνώνται η χωρική κατανομή των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και των φυσικών οικοσυστημάτων με βάση δορυφορικά και από αέρος δεδομένα και πεδίου σε βάθος 10-ετίας (2008-2018). Η αφετηρία της περιόδου αυτής δεν είναι τυχαία αλλά αποτελεί την έναρξη εμφανούς μείωσης των υδάτων της. Κατά αυτόν τον τρόπο, δύναται να αποκτηθεί ολοκληρωμένη εικόνα για την χωρική διάταξη του τοπίου και την κατάσταση των φυσικών οικοσυστημάτων, τότε και σήμερα, και να ανιχνευθούν οι τυχόν μεταβολές από το 2008 και εφεξής.

## **1.2 Ερευνητικός Σκοπός**

Ο κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση και αξιολόγηση της αναγνώρισης και καταγραφής των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης μέσω τηλεπισκόπησης σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης απορροής, με σκοπό αφενός την καταγραφή και παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/ χρήσεων γης, την κατάσταση των φυσικών οικοσυστημάτων και αφετέρου τη διερεύνηση των θεμάτων που προκύπτουν από άποψη διαχείρισης και διοίκησης τους.

Μέχρι σήμερα, η επιστημονική έρευνα στην καταγραφή και παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης μέσω της τηλεπισκόπησης περιορίζεται είτε ως προς ένα

μεμονωμένο θεματικό αντικείμενο (πυρκαγιές δασών, αγροτικές καλλιέργειες, δάση, δόμηση, υγρότοποι, κ.λπ.) είτε από την χωρική και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα των διαθέσιμων δορυφορικών εικόνων. Στην παρούσα έρευνα διερευνώνται αλγόριθμοι ταξινόμησης, με την υλοποίηση διαφορετικών σεναρίων, για την αναγνώριση, καταγραφή και παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης στο σύνολό τους, ως ενιαίο αντικείμενο έρευνας.

Η κύρια επιστημονική υπόθεση είναι ότι για την ολοκληρωμένη και βέλτιστη διάκριση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και η ανίχνευση μεταβολών σε μεγάλες σε έκταση περιοχές με υψηλή ποικιλότητα τοπίου, απαιτείται άλλη στρατηγική πέραν των πρακτικών βασιζόμενων αποκλειστικώς σε φασματικά δεδομένα. Η βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και ανίχνευσης των μεταβολών τους μέσω τηλεπισκόπησης συνίσταται στη πλήρη αξιοποίηση του συνόλου των διαθέσιμων γεωχωρικών δεδομένων, που υπάρχουν για την περιοχή μελέτης, όσον αφορά στο τοπίο, το φυσικό περιβάλλον και τις χρήσεις γης. Οι ειδικότεροι αντικειμενικοί στόχοι της προτεινόμενης έρευνας για την επίτευξη του ως άνω στόχου είναι:

α) Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πλαισίου καταγραφής και παρακολούθησης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, με βάση δεδομένα τηλεπισκόπησης και γεωχωρικά δεδομένα διαφορετικών πηγών και ανάλυσης,

β) Η ανάλυση χρονικών σειρών πολυφασματικών δεδομένων Landsat 5 TM και 8 OLI και η ερμηνεία κατάλληλων φασματικών δεικτών για την διαχρονική καταγραφή και ανίχνευση μεταβολών των υφιστάμενων μορφών κάλυψης/χρήσεων γης στο σύνολό τους, και

γ) Η διερεύνηση της ακρίβειας διαφορετικών αλγόριθμων ταξινόμησης πολυφασματικών δεδομένων Landsat και Sentinel-2 σε συνδυασμό με γεωχωρικά δεδομένα

διαφορετικών πηγών και ανάλυσης, για την αναγνώριση και καταγραφή μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, και της επίδρασης της ετερογένειας τοπίου στην ακρίβεια αυτών.

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας, θα είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε τις μορφές κάλυψης γης που αναγνωρίζονται φασματικά από διαφορετικούς δορυφορικούς ανιχνευτές, και την ακρίβεια χαρτογράφησής τους. Στη συνέχεια θα είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την κατάσταση και τη χωροταξική κατανομή των φυσικών και μη οικοσυστημάτων σε σχέση με το παρελθόν, τα θέματα που προκύπτουν στη προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, στη διοίκηση και διαχείριση γαιών.

### **1.3 Δομή Διατριβής**

Η διατριβή περιλαμβάνει επτά κεφάλαια, κάθε ένα από τα οποία εξυπηρετεί διαφορετικούς σκοπούς ως προς το τελικό αποτέλεσμα.

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται αναλυτικά η περιοχή έρευνας, στην οποία θα εφαρμοστεί η προτεινόμενη μεθοδολογία. Η κατάσταση της περιοχής έρευνας αναλύεται λεπτομερώς και παρέχονται όλες οι πληροφορίες ως προς το φυσικό περιβάλλον, την βιοποικιλότητα, τις μορφές κάλυψης/χρήσεων γης, το διοικητικό, διαχειριστικό και ιδιοκτησιακό τους καθεστώς. Επιπλέον, περιλαμβάνεται ποσοτική και χωρική ανάλυση των υφιστάμενων γεωχωρικών δεδομένων, προκειμένου να δοθεί ολοκληρωμένη εικόνα για την διαχρονική κατάσταση της περιοχής και την γεωγραφική απεικόνιση των οικοσυστημάτων και γαιών που περιλαμβάνει.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται διεξοδικά η ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας ως προς τα δεδομένα και τη μεθοδολογία που ακολουθείται στην καταγραφή και παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και φυσικών οικοσυστημάτων μέσω της τηλεπισκόπησης.

Ειδικότερα, επισημαίνεται ο ρόλος της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και των δεδομένων που παράγονται σε διεθνές επίπεδο, μέσω διαφόρων αποστολών και προγραμμάτων, αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους, περιγράφονται τα συστήματα ταξινόμησης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης

που χρησιμοποιούνται διεθνώς, καθώς και τα θεσμικά γεωχωρικά σύνολα δεδομένων που υπάρχουν στην Ελλάδα και χρησιμοποιούνται στην παρούσα έρευνα. Ιδιαίτερο βάρος δίνεται στην ανασκόπηση των μεθόδων ανίχνευσης μεταβολών και καταγραφής κάλυψης γης μέσω δορυφορικών δεδομένων και παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

Στο Κεφάλαιο 4 διατυπώνεται η μεθοδολογική πρόταση της παρούσας διατριβής. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας, περιγράφονται τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν, ενώ τέλος, καταγράφονται οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και οι λόγοι για τους οποίους αυτές επιλέχθηκαν.

Το Κεφάλαιο 5 αποτελεί το πρώτο στάδιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Σε αυτό διερευνάται η διασύνδεση ή σχέση των χαρακτηριστικών των μορφών κάλυψης γης και οικοσυστημάτων, όπως αποτυπώθηκαν στο Κεφάλαιο 2, με χρονικές σειρές εικόνων Landsat σε βάθος δεκαετίας (2008-2020). Με βάση επιλεγθέντα σύνολα εικονοστοιχείων διαφορετικών εποχών και ετών, τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές μορφές κάλυψης γης, συγκρίνονται και αξιολογούνται διάφοροι φασματικοί δείκτες (NDVI, EVI, MNDWI, NDMI, SAVI και MSAVI). Οι εποχιακές και διαχρονικές διακυμάνσεις αναγνωρισμένων μορφών κάλυψης/χρήσεων γης διερευνώνται ανά δείκτη και τα αποτελέσματά τους τεκμηριώνονται μέσω παραδειγμάτων και διαγραμμάτων. Τα αποτελέσματα του κεφαλαίου αυτού, χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας του επόμενου κεφαλαίου.

Το Κεφάλαιο 6 αποτελεί το δεύτερο στάδιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Σε αυτό συγκρίνονται και αξιολογούνται διάφορα σενάρια ταξινόμησης δορυφορικών δεδομένων Landsat και Sentinel-2 για την αναγνώριση και καταγραφή των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης. Τα σενάρια αφορούν στην διερεύνηση και αξιολόγηση διαφόρων αλγόριθμων ταξινόμησης (Random Forest, Maximum Likelihood και K-NN) τόσο σε χωρικό επίπεδο (για την διερεύνηση της επίδρασης της ετερογένειας τοπίου στην ακρίβειά τους) όσο και σε διαφορετικούς

συνδυασμούς φασματικών δεδομένων εισαγωγής (πολυφασματικά δεδομένα μιας συγκεκριμένης εποχής, διεποχιακά πολυφασματικά δεδομένα, προσθήκη κατάλληλων φασματικών δεικτών). Η ακρίβεια και αποτελεσματικότητα του κάθε αλγόριθμου ταξινόμησης ανά σενάριο ελέγχεται και αξιολογείται με βάση τα στατιστικά μεγέθη της μήτρας σφαλμάτων (confusion matrix).

Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα κύρια ευρήματα της παρούσας έρευνας και επισημαίνεται η συμβολή της στην περαιτέρω επιστημονική διερεύνηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σε μεγαλύτερο επίπεδο ταξινόμησης αλλά και των φυσικών διαθεσίμων, ήτοι στην καταγραφή των φυσικών πόρων και της βιοποικιλότητας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΓΕΩΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή βρίσκεται ΒΑ του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και τελευταία έχει υποστεί ισχυρό πλήγμα με την υποβάθμιση της λίμνης Κορώνειας λόγω της ρύπανσης και της μη εφαρμογής κατάλληλων περιβαλλοντικών μέτρων διαχείρισης και προστασίας. Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται αναλυτικά το σύνολο των πληροφοριών που έχουν συλλεχθεί για την περιοχή μελέτης. Οι πληροφορίες αυτές υπό τη μορφή κειμένου, εικόνων και πινάκων αναλύονται σε τέσσερα (4) επίπεδα, ήτοι:

1ο Επίπεδο: Γεωγραφική Θέση, Διοικητική και Πληθυσμιακή Διάρθρωση,

2ο Επίπεδο: Φυσικό Περιβάλλον,

3ο Επίπεδο: Μορφές κάλυψης/χρήσεων γης και μεταβολές αυτών, και

4ο Επίπεδο: Διοίκηση και Διαχείριση Γης.

Με βάση τις συλλεχθείσες ως άνω πληροφορίες και κατόπιν χωρικής τους επεξεργασίας και ανάλυσης σε ArcGIS 10.2.2 παρέχεται τεκμηριωμένα ολοκληρωμένη εικόνα για την κατάσταση της περιοχής μελέτης σε βάθος δεκαετίας.

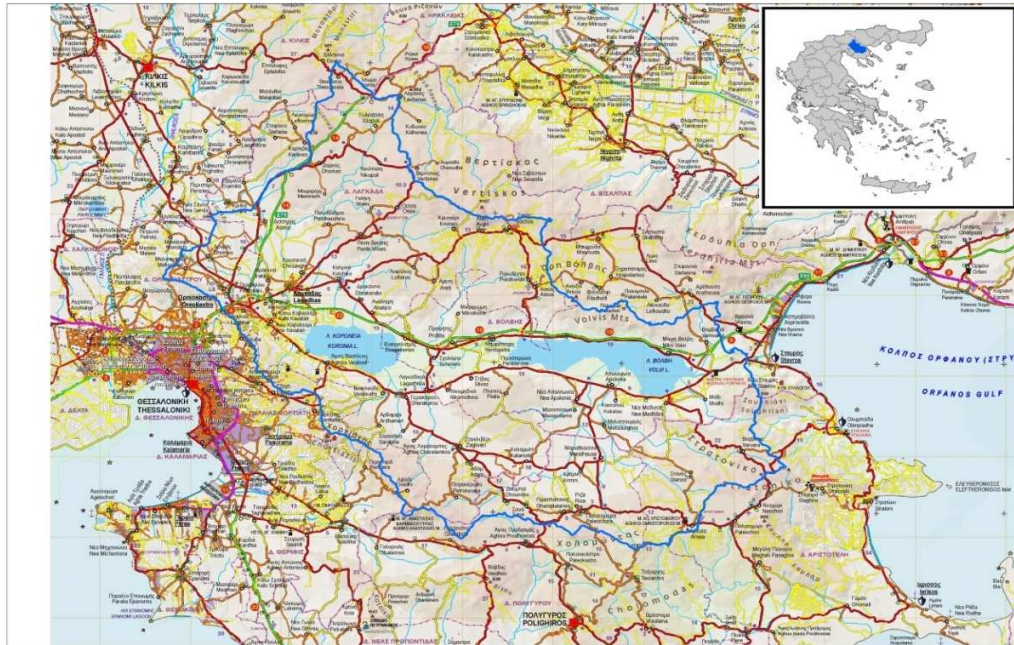
#### **2.1 Γεωγραφική Θέση, Διοικητική και Πληθυσμιακή Διάρθρωση**

##### **2.1.1 Γεωγραφική θέση**

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται ΒΑ του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης, σε απόσταση περίπου δέκα (10) χλμ., έχει έκταση 190.285,00Ha και καταλαμβάνει το σύνολο της υδρολογικής λεκάνης της Μυγδονίας. Περιλαμβάνει σχεδόν ολόκληρη την Επαρχία Λαγκαδά, τμήμα της βόρειο-ανατολικής πλευράς της Επαρχίας Θεσσαλονίκης της Περιφερειακής Ενότητας Θεσσαλονίκης και τμήμα της βόρειας πλευράς της Επαρχίας Αρναίας και της Επαρχίας Χαλκιδικής της Περιφερειακής Ενότητας Χαλκιδικής. Βόρεια και Νότια περιβάλλεται από όρη (Κρούσια και Χολομώντας αντίστοιχα) με ύψος από 600μ. έως 1200μ. Δυτικά από



λόφους με ύψος 550μ. και το όρος Χορτιάτη ενώ Ανατολικά οριοθετείται από την ακτογραμμή των εκβολών του Ρήχιου ποταμού στον Στρυμονικό Κόλπο (Εικόνα 2-1).



Εικόνα 2-1. Χάρτης προσανατολισμού.

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του κέντρου της περιοχής μελέτης ανά γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-1.

Πίνακας 2-1. Γεωγραφικές συντεταγμένες κέντρου περιοχής έρευνας.

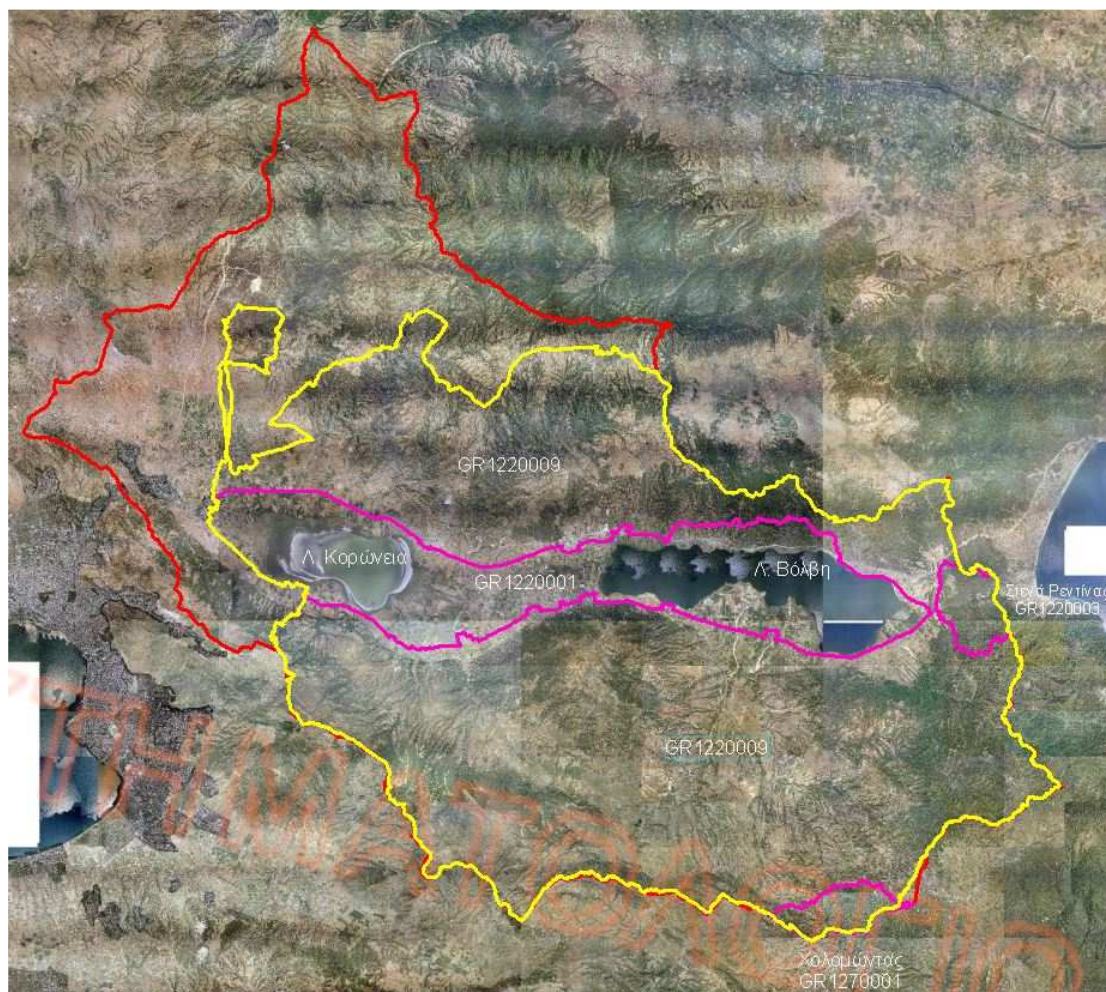
Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς		
ΕΓΣΑ87 (X,Y)	441193,594	4503442,042
WGS84 (φ, λ)	40° 40' 56,49	23° 18' 21,10

Στο κέντρο της βρίσκονται οι προστατευόμενες περιοχές (sites) του Δικτύου Natura2000, των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά (GR1220001) και τμήμα των Στενών Ρεντίνας (GR1220003), οι οποίες χαρακτηρίζονται ως «Τόποι Κοινοτικής Σημασίας» (ΤΚΣ), σύμφωνα με την Οδηγία 92/43/ΕΟΚ και καλύπτουν συνολική (χερσαίας και υδάτινης) επιφάνεια 28.734,90 Ha. Σύμφωνα με το Ν. 3937/2011, οι «Τόποι Κοινοτικής Σημασίας» μετονομάστηκαν σε Ειδικές

Ζώνες Διατήρησης (ΕΖΔ), (ΦΕΚ 60Α, 2011). Οι δύο αυτές περιοχές περιβάλλονται από μια τρίτη ευρύτερη περιοχή του δικτύου Natura2000, με κωδικό GR1220009, η οποία χαρακτηρίζεται ως «Ζώνη Ειδικής Προστασίας» (ΖΕΠ) με βάση την Οδηγία 79/409/ΕΟΚ και καλύπτει συνολική επιφάνεια 160.628,72Ha, σχεδόν τα 2/3 της υδρολογικής λεκάνης. Τα επιφανειακά νερά της υδρολογικής λεκάνης στραγγίζουν σε χείμαρρους, οι οποίοι στη συνέχεια εκβάλλουν στις δύο αυτές λίμνες. Η προστατευόμενη περιοχή στο σύνολό της ως ΕΣΔ, αποτελεί ένα σπάνιο σύμπλεγμα οικοσυστημάτων με λίμνες, χείμαρρους, παρόχθια δάση (παραλίμνιο δάσος Απολλωνίας, δάσος Ρεντίνας), θαμνώνες, καλαμώνες, υγρολίβαδα, και γεωργικές εκτάσεις, που συγκροτούν έναν σημαντικό υγρότοπο διεθνούς σημασίας, καθώς προστατεύεται και από τη σύμβαση «Ramsar» (Εικόνα 2-2).

Στο νοτιότερο άκρο της λεκάνης απορροής, που εκτείνεται στην Π.Ε. Χαλκιδικής, υπάρχει και άλλο τμήμα προστατευόμενης περιοχής του δικτύου Natura2000, με την ονομασία «Όρος Χολομώντα» (GR1270001), που έχει χαρακτηριστεί «Τόπος Κοινοτικής Σημασίας». Η έκταση του τμήματος αυτού ανέρχεται σε 15.651,14Ha. Πρόκειται για κυρίως δασοσκεπή έκταση, η οποία κυριαρχείται από φυλλοβόλα δάση οξυάς και πλατύφυλλης δρυός και αείφυλλων πλατύφυλλων ενώ τεχνητά έχουν εγκατασταθεί με αναδασώσεις διάφορα είδη πεύκης.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης περιγράφονται στις ακόλουθες παραγράφους, όπως αντλήθηκαν από διάφορες πηγές και κυρίως από το εγκεκριμένο Σχέδιο Διαχείρισης του Εθνικού Πάρκου των Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης και των Μακεδονικών Τεμπών (ΦΕΚ 3159Β/27.11.2012).



Εικόνα 2-2. Όρια των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura2000 της περιοχής μελέτης, εφαρμοσμένων επί των ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων (LSO) του ΕΚ.

Κύρια πηγή των γεωχωρικών δεδομένων, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή πληροφοριών προκειμένου να αποτυπωθεί η παρελθούσα κατάσταση της περιοχής μελέτης είναι το ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ (ΕΚ). Για την επεξεργασία των διαθέσιμων γεωχωρικών δεδομένων και τη χαρτογραφική απεικόνιση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ArcGIS 10.2 της ESRI.

### **2.1.2 Διοικητική διαίρεση**

Σύμφωνα με το Πρόγραμμα Καλλικράτης, το οποίο αποτελεί την «Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης» (Ν. 3852/2010, ΦΕΚ 87Α/7.6.2010), με τον οποίο μεταρρυθμίστηκε η διοικητική διαίρεση της Ελλάδας, η περιοχή μελέτης εκτείνεται σε ογδόντα (80) ΟΤΑ είτε στο σύνολό τους είτε σε τμήμα αυτών. Η βασική πηγή άντλησης των στοιχείων των κατωτέρω πινάκων είναι ο δικτυακός τόπος του Υπουργείου Εσωτερικών (<http://www.ypes.gr/el/Regions/programma>) και η ΕΛΣΤΑΤ (τελευταία ημερομηνία ενημέρωσης: 18-12-2017).

### **2.1.3 Θεσμοθετημένοι οικισμοί**

Εντός της περιοχής μελέτης υπάρχουν σήμερα συνολικά 73 ενεργοί οικισμοί εκ των οποίων οι περισσότεροι, ήτοι εξήντα ένας (61), βρίσκονται στην Π.Ε. Θεσσαλονίκης, έντεκα (11) στην Π.Ε. Χαλκιδικής και μόλις ένας (1) στην Π.Ε. Κιλκίς. Η συνολική επιφάνεια αυτών καλύπτει έκταση ίσης με 42,86 τ. χλμ., ήτοι μόλις 2,25% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Η γεωγραφική διασπορά των ως άνω πόλεων και οικισμών σε συνδυασμό με τα διοικητικά όρια των ΟΤΑ της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 2-3.

### **2.1.4 Πληθυσμός**

Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή πληθυσμού, ο συνολικός μόνιμος πληθυσμός ανέρχεται μόλις σε 65.839 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2010). Η πλειοψηφία των κατοίκων καταγράφεται σε οικισμούς (με περισσότερους από 2.000 κατοίκους, οι οποίες όμως δεν ξεπερνούν τους 10.000 κατοίκους) στις οποίες συγκεντρώνεται το 44,3% του πληθυσμού ενώ σε μικρά χωριά με πληθυσμό από 500-2.000 κατοίκους συγκεντρώνεται το 39,9% του πληθυσμού. Υπάρχουν βέβαια διάσπαρτοι και αρκετοί οικισμοί με μέγεθος πληθυσμού μικρότερο των 500 κατοίκων, στους οποίους συγκεντρώνεται το υπόλοιπο 15,8% του πληθυσμού (Πίνακας 2-5).



Πίνακας 2-2. Κατανομή πληθυσμού ανά κατηγορία οικισμών.

[illegible]

29

## **2.2 Φυσικό Περιβάλλον**

### **2.2.1 Κλίμα και βιοκλίμα**

Σύμφωνα με τα υφιστάμενα μετεωρολογικά δεδομένα των ως άνω σταθμών, σχετικά με τις μέσες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, παρατηρείται ότι στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, οι θερμότεροι και ξηρότεροι μήνες του έτους είναι ο Μάιος, ο Ιούνιος, ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Η περίοδος των βροχών παρουσιάζεται ακανόνιστη κατά τη διάρκεια του έτους με το μέγιστο ύψος βροχής να καταγράφεται κατά τους χειμερινούς μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Σύμφωνα με την κλιματική κατάταξη κατά Köppen, το κλίμα ανήκει στον κλιματικό τύπο «Csa – Μεσογειακό Ενδοχώρας». Τα χαρακτηριστικά του τύπου αυτού είναι εύκρατο βροχερό κλίμα με μέση θερμοκρασία, του θερμότερου μήνα του έτους πάνω από 22 °C και του ψυχρότερου μεταξύ 0 και 18 °C. Το κλίμα είναι θερμό από το Μάιο μέχρι το Σεπτέμβριο με τη μέγιστη θερμοκρασία να κυμαίνεται μεταξύ 23 και 25 °C και ψυχρό από το Δεκέμβριο μέχρι το Φεβρουάριο, με την ελάχιστη θερμοκρασία να κυμαίνεται μεταξύ 1 και 6 °C.

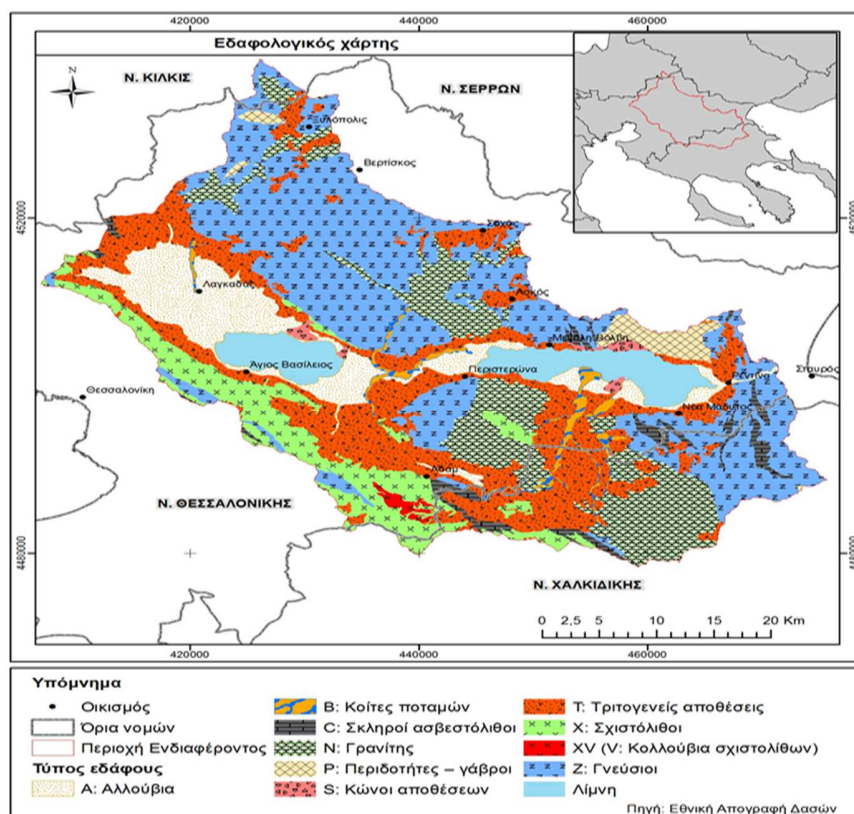
### **2.2.2 Γεωλογία και γεωμορφολογία**

Η περιοχή δομείται από κρυσταλλοσχιστώδες υποβάθρο με έντονες ρηγματώσεις, που τεκτονικά εντάσσεται στη Σερβομακεδονική μάζα, με εξαίρεση το δυτικό τμήμα της λεκάνης (υπολεκάνη Λαγκαδά) που αποτελεί το όριο μεταξύ Σερβομακεδονικής μάζας και ζώνης Αξιού. Σημαντική είναι η εξάπλωση των πλειο-πλειστοκαινικών ιζημάτων, όπως προκύπτει από τους γεωλογικούς χάρτες της περιοχής. Στο γεωλογικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής είναι σαφής η κατανομή του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου της ευρύτερης λεκάνης, καθώς επίσης και η σημαντική εξάπλωση των μετα-νεογενών ιζημάτων που έχουν πληρώσει το τεκτονικό βύθισμα της λεκάνης Μυγδονίας και επομένως και το τμήμα αυτής που αποτελεί η υπολεκάνη Κορώνειας. Οι σχηματισμοί του προνεογενούς υποβάθρου της Σερβομακεδονικής μάζας είναι

γενευσιακά πετρώματα εντός των οποίων συναντώνται ορίζοντες μαρμάρων, αμφιβολίτες, πετρώματα της φυλλιτικής σειράς, περιορισμένης έκτασης και σημασίας ασβεστόλιθοι, χαλαζίτες και γρανίτες.

### 2.2.3 Έδαφος

Τα στοιχεία για τα εδάφη της περιοχής προέρχονται από το έργο της Εθνικής Απογραφής Δασών, στο πλαίσιο του οποίου συντάχθηκαν και εδαφολογικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 (ΕΑΔ, 1992). Αναλυτική χωρική κατανομή των τύπων εδαφών εντός της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στον ακόλουθο χάρτη της Εθνικής Απογραφής Δασών (Εικόνα 2-4).



Εικόνα 2-4. Εδαφολογικός χάρτης περιοχής μελέτης.

Από την κατανομή των εδαφών στον εδαφολογικό χάρτη, προκύπτει ότι η μεγαλύτερη επιφάνεια καταλαμβάνεται από γνεύσιο στο ανατολικό ήμισυ της λεκάνης απορροής, στην κατεύθυνση NA-BA και αφορά κυρίως ημιορεινές δασικού χαρακτήρα περιοχές. Τα

αλλουβιακά εδάφη, τα οποία περιβάλλονται περιμετρικά από μία ζώνη κολλουβιακών εδαφών καλύπτουν τις περιοχές γύρω από τις δύο λίμνες, τις περιοχές μεταξύ αυτών καθώς και την πεδιάδα Λαγκαδά στα ΒΔ και αφορούν καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Η ΝΔ πλευρά της λεκάνης καλύπτεται κυρίως από γρανίτη που εναλλάσσεται με κολλουβιακά εδάφη προς το κέντρο της λεκάνης ενώ κατά μήκος της δυτικής πλευράς της λεκάνης υπάρχει μια ζώνη από σχιστόλιθους.

## **2.2.4 Υδρολογία και υδρογεωλογία**

Η λεκάνη Μυγδονίας υπάγεται στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας (Υδατικό Διαμέρισμα 10) και συγκροτείται από δύο τμήματα: ένα δυτικό, το οποίο συνιστά την υπολεκάνη της Κορώνειας και ένα ανατολικό, το οποίο συνιστά την υπολεκάνη της Βόλβης. Το όριο μεταξύ των δύο αυτών υπολεκανών δεν είναι σαφές, ορίζεται όμως από τον άξονα Στίβου – Σχολαρίου, με ένα σύστημα ραχών, λόφων και αναβαθμίδων, διαμέσου των οποίων διέρχεται το ρέμα Δερβένι, στην κεντρική περιοχή της Μυγδονίας. Εντός των υπολεκανών βρίσκονται οι λίμνες Κορώνεια (ή Λαγκαδά ή Αγίου Βασιλείου) με επιφάνεια υδάτων 2.778,17Ha και Βόλβη 6.906,96Ha αντίστοιχα το 2007. Η λίμνη Κορώνεια βρίσκεται ψηλότερα από τη Βόλβη κατά 38μ. και σε απόσταση 11χλμ. από αυτήν. Η επιφανειακή επικοινωνία μεταξύ των δύο λιμνών επετεύχθη με τη διάνοιξη τεχνητής τάφρου (Ενωτική Τάφρος) κατά τη δεκαετία του '20. Η επικοινωνία αυτή, μετά τη σημαντική πτώση της στάθμης της λίμνης Κορώνειας, έχει διακοπεί.

Η υπολεκάνη απορροής της λίμνης Κορώνειας είναι ο φυσικός αποδέκτης μιας σειράς χειμάρρων και ρεμάτων με υδρογραφικό συγκρότημα συνολικής επιφάνειας 788,40τ.χλμ. Πλήθος υδατορευμάτων καταλήγουν στη λίμνη, με πιο σημαντικό το ρέμα Μπογδάνας, του Κολχικού, της Ανάληψης, του Χολομώντα, που πηγάζει βόρεια του όρους Χολομώντα και εκβάλλει στο μέσο του νοτίου τμήματος της λίμνης Κορώνειας, τα ρέματα Δρακόντειου, Ευαγγελισμού, Πλατανόρεμα και Γερακαρούς, όπως επίσης και η τάφρος Καβαλαρίου που αποστραγγίζει όλη την περιοχή δυτικά της λίμνης.



Η υπολεκάνη απορροής της λίμνης Βόλβης έχει έκταση 1.278 τ. χλμ. και στην οποία εισρέουν επίσης μια σειρά από χείμαρροι και ρεμάτων, ήτοι: ο Ποταμιάς που ενώνεται με τον ποταμό Δερβένι, ο Βαμβακιάς (ή Κρύας Βρύσης), το Μεγάλο Ρέμα (Παζαρούδα) που εκβάλλει στο νότιο τμήμα της λίμνης, το Μικρό Ρέμα (Χολομώντα ή Ατσαλιώτικο ή Απολλωνιάς) που εκβάλλει στο νοτιοανατολικό τμήμα της λίμνης, ο Κερασιάς και ο ποταμός Ρήχιος που εκφορτίζει τα πλεονάζοντα νερά της λεκάνης Μυγδονίας, μέσω των στενών της Ρεντίνας, στη θάλασσα (Στρυμονικός κόλπος). Η γεωγραφική κατανομή των λιμνών και των υδατορευμάτων παρουσιάζεται στον ακόλουθο χάρτη με υπόβαθρο τις ορθοεικόνες υψηλής ανάλυσης (LSO) του ΕΚ και λήψης 2008 (Εικόνα 2-5).

#### **2.2.5 Τοπίο**

Στην περιοχή, εκτός των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura2000, που αποτελούν ταυτόχρονα σημαντικά στοιχεία του τοπίου και παρέχουν πολλές δυνατότητες παρατήρησης των στοιχείων της βιοποικιλότητας και των φυσικών σχηματισμών, υπάρχουν και τα ακόλουθα άλλα σημαντικά στοιχεία:

- **Παραλίμνιο Δάσος Απολλωνιάς:** Βρίσκεται στη νότια όχθη της λίμνης Βόλβης. Τα δάσος αυτό έχει μοναδική οικολογική αξία για δύο κυρίως λόγους. Πρώτον, τα φυτικά είδη που το συγκροτούν δύσκολα βρίσκονται σήμερα συνενωμένα σε δάσος. Τα είδη αυτά περιλαμβάνουν σκλήθρα, πλατάνια, ασημόλευκες, ιτιές και λυγαριές. Τέτοιες φυτοκοινωνίες (*Alnoporopuletum*) που άλλοτε υπήρχαν σε πολλά ποτάμια της χώρας, σήμερα θεωρούνται πολύ σπάνιες. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι το δάσος της Απολλωνιάς είναι η μοναδική περιοχή στην Ελλάδα που φιλοξενεί μεικτές αποικίες γκρίζων ερωδιών και πελαργών. Ο θεμελιώδης ανώροφος του δάσους κυριαρχείται από χαρακτηριστικά υγρόφιλα δέντρα όπως είναι τα *Alnus glutinosa* (σκλήθρο), *Platanus orientalis* (πλάτανος) και *Populus alba* (λεύκα).



Εικόνα 2-5. Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης.

Ένας χαμηλότερου ύψους όροφος σχηματίζεται στον υπόροφο με είδη όπως είναι τα *Salix alba*, *Salix fragilis*, *Populus nigra*, *Ulmus minor*, *Pyrus amygdaliformis*, και *Juglans regia*. Στον υπόροφο συμμετέχουν και θαμνώδη είδη όπως είναι τα *Rubus canescens*, *Hedera helix*, *Humulus lupulus*, *Rubus hirtus*, *Solanum dulcamara*. Η ποώδης υποδασική βλάστηση απαρτίζεται από δύο μορφές, την υψηλή που ανέρχεται έως τα δύο μέτρα και τη χαμηλή που αναπτύσσεται σε ύψος μικρότερου του μέτρου. Στην περίμετρο του δάσους συχνά αναπτύσσεται νιτρόφιλη βλάστηση ανάμικτη με θαμνώδη στοιχεία που κάποιες φορές σχηματίζουν αδιαπέραστες συστάδες. Η ορνιθολογική αξία του δάσους

αυτού είναι μοναδική καθώς στα κλαδιά των δέντρων του βρίσκουν ασφαλές καταφύγιο πουλιά του υγροτόπου όπως οι Σταχτοτσικνιάδες και οι λευκοπελαργοί. Αυτά τα δύο είδη αποτελούν μία κοινωνία που δεν είναι γνωστή αλλού στην Ελλάδα. Κατά το παρελθόν, το δάσος εκτεινόταν σε έκταση 3.000 στρεμμάτων, αλλά υλοτομήθηκε και αποδόθηκε προς γεωργική καλλιέργεια. Έτσι σήμερα έχουν παραμείνει μόλις 150 στρέμματα δάσους.

- Παραποτάμιο Δάσος νέας Ρεντίνας (Μακεδονικά Τέμνη): Το δάσος αυτό σχηματίζεται στην κοιλάδα που σχηματίζει ο Ρήχιος ποταμός, ο οποίος συνδέει τη λίμνη Βόλβη με το Στρυμονικό κόλπο. Έχει ιδιαίτερη σημασία από ορνιθολογική άποψη κυρίως όσον αφορά την τροφοληψία και τη φωλεοποίηση κάποιων ειδών. Η βλάστηση του δάσους περιλαμβάνει μεγάλα πλατάνια τα οποία συνοδεύονται από ιτιές, φτελιές, φράξους (*Fraxinus ornus*), κρानιές (*Cornus mas*), θάμνους με πικροδάφνες (*Nerium oleander*) και λυγαριές (*Vitex agnus – castus*), αναρριχώμενα και άλλα ποώδη είδη. Η ιδιαίτερη ορνιθολογική αξία του δάσους τεκμηριώνεται από το γεγονός ότι αποτελεί ένα σύνθετο σύστημα κυρίως σκληρόξυλων ειδών και πλατάνου, σε συνδυασμό με το ποταμό και τους γύρω ορεινούς όγκους. Εδώ βρίσκουν τροφή αρκετά είδη πουλιών, μεταναστευτικά και μη. Επίσης, εδώ χτίζουν τις φωλιές τους μικρά αρπακτικά (από τις γύρω περιοχές) και ένας σημαντικός αριθμός συκοφάγων. Την κοιλάδα διασχίζει η Εγνατία Οδός. Στις εκβολές του Ρήχιου ποταμού στο Στρυμονικό κόλπο κάποιες περιοχές έχουν εκχερσωθεί και έχουν διατεθεί είτε για καλλιέργεια είτε για τουριστικές εγκαταστάσεις. Αυτές οι ενέργειες έχουν οδηγήσει σε σημαντική υποβάθμιση της περιοχής.
- Πλάτανοι Σχολαρίου: Στην περιοχή Σχολαρίου που βρίσκεται μεταξύ των δύο λιμνών υπάρχουν δύο υπεραιωνόβιοι πλάτανοι, απομεινάρια ενός άλλοτε παραλίμνιου δάσους.

Οι πλάτανοι αυτοί έχουν κηρυχθεί με υπουργική απόφαση «Μνημείο της Φύσης» (ΦΕΚ 281Β/1975). Οι πλάτανοι του Σχολαρίου είναι το πρώτο Μνημείο της Φύσης που ιδρύθηκε στη χώρα το 1975. Στα δέντρα αυτά φωλιάζουν ερωδιοί και συγκεκριμένα Σταχτοτσικνιάδες (*Ardea cinerea*). Το είδος βρίσκεται σε μεγάλους πληθυσμούς στην ευρύτερη περιοχή των λιμνών (5-10% του συνολικού πληθυσμού της Ελλάδας) και οι συγκεκριμένες αποικίες αποτελούν ένα σημαντικό τόπο για την αναπαραγωγή του. Ο Σταχτοτσικνιάς είναι ο μεγαλύτερος ερωδιός της Ευρώπης και αποτελεί μόνιμο κάτοικο της χώρας. Βέβαια δεν είναι λίγοι και οι Σταχτοτσικνιάδες που επισκέπτονται την Ελλάδα το χειμώνα ή διέρχονται από τον συγκεκριμένο τόπο κατά το ταξίδι της μετανάστευσής τους.

- Πλάτανος Γεροπλάτανου Χαλκιδικής: Στην περιοχή του Γεροπλάτανου Χαλκιδικής υπάρχει ένας αιωνόβιος πλάτανος, ο οποίος περιλαμβάνεται στα υφιστάμενα 51 ανακηρυγμένα «Μνημεία της Φύσης» (ΦΕΚ 738Β/1976).
- Δάσος Βασιλουδίου: Πρόκειται για ένα μικρό όμορφο υγρόφιλο δάσος στην περιμετρική ζώνη της Κορώνειας. Αποτελείται από συστάδες ιτιάς και λεύκης και αποτελεί το μοναδικό υπόλειμμα των φυσικών παρόχθιων δασών της λίμνης Κορώνειας. Η έκτασή του έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια.
- Πλατανόδασος Μελισουργού: Εκτεταμένο δάσος από μεγάλα πλατάνια ιδιαίτερης ομορφιάς, το οποίο διασχίζεται από ρέμα.
- Βυζαντινός ελαιώνας: Μεταξύ της Μικρής και της Μεγάλης Βόλβης υπάρχει μία έκταση όπου κυριαρχεί η παρουσία της ελιάς (*Olea europaea*). Πρόκειται για το Βυζαντινό ελαιώνα και η αξία του έγκειται στο ότι είναι ιδιαίτερα μεγάλης ηλικίας. Φημολογείται πως στον ελαιώνα αυτό υπάρχουν ρίζες που χρονολογούνται από τη Βυζαντινή εποχή.

Στην περιοχή του Βυζαντινού ελαιώνα υπάρχει και αρχαιολογικό κτίσμα, ο Βυζαντινός Λαδόμυλος.

- Πλατάνια Νυχτερίδων στη Ρεντίνα: Κοντά στο χωριό Ρεντίνα και μέσα στο στρατόπεδο υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πλατάνων με κουφάλες, οι οποίες φιλοξενούν σημαντικούς αριθμούς (σε ευρωπαϊκό επίπεδο) από μεταναστευτικές νυχτερίδες, οι οποίες έρχονται από πολύ μακριά (Ρωσία, Ουκρανία) για αναπαραγωγή. Τα περισσότερα είδη των θηλαστικών αυτών απειλούνται σε σημαντικό βαθμό αφού οι πληθυσμοί τους μειώνονται δραστικά. Τα αίτια βρίσκονται στην κατάσταση των βιοτόπων τους και στην έλλειψη της τροφής τους, που αποτελείται από έντομα, εξαιτίας της υπερβολικής χρήσης φυτοφαρμάκων.
- Νυμφόπετρες: Οι «Νυμφόπετρες» βρίσκονται έξω από το χωριό Νυμφόπετρα και είναι ένας ιδιόμορφος γεωλογικός σχηματισμός από ιστάμενους ασβεστολιθικούς βράχους. Σύμφωνα με την παράδοση, οι βράχοι αυτοί αποτελούν μέλη μιας απολιθωμένης γαμήλιας πομπής. Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί είναι αποτέλεσμα απόθεσης ασβεστίου από θερμές πηγές που υπήρχαν στην περιοχή και πήραν τη σημερινή τους μορφή λόγω της διάβρωσης.

#### **2.2.6 Χλωρίδα**

Στην περιοχή δεν απαντώνται φυτικά είδη που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα II της οδηγίας 92/43/ΕΟΚ σύμφωνα με την Εθνική Βάση Δεδομένων του δικτύου Natura2000.

Ωστόσο περιλαμβάνονται 3 είδη φυτών (*Mentha suaveolens*, *Salvinia natans* (Σαλβίνια) και *Trapa natans* (Νεροκάστανο), τα οποία προστατεύονται από άλλες διεθνείς συμβάσεις.

Από την επεξεργασία των στοιχείων των διαθέσιμων μελετών διαχείρισης δασών για τον προσδιορισμό των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, των φυτοκοινωνιών και των δασοπονικών

μορφών στο σύνολο της υδρολογικής λεκάνης, προσδιορίστηκαν 24 είδη δένδρων και 13 είδη θάμνων (Πίνακας 2-3).

Πίνακας 2-3. Κατάλογος δασικών ειδών.

α/α	Κονοφόρα	Δένδρα	Θάμνοι
		Πλατύφυλλα	Αείφυλλα πλατύφυλλα
1	<i>Abies borissi regis</i> Ελάτη υβριδογενής	<i>Carpinus orientalis</i> Mill Ανατολ. Γαύρος	<i>Arbutus adrachne</i> L. Γλυστροκουμαριά
2	<i>Cupressus sempervirens</i> L. Κυπαρίσσι	<i>Castanea sativa</i> Mill. Καστανιά	<i>Arbutus unedo</i> L. Κουμαριά
3	<i>Pinus brutia</i> Ten Τραχεία πεύκη	<i>Ceratonia siliqua</i> L Χαρουπιά	<i>Carpinus orientalis</i> Mill Ανατολ. Γαύρος
4	<i>Pinus maritima</i> Θαλασσία πεύκη	<i>Fagus moesiaca</i> (Maly Domin) Gz. Μοϊσιακή οξυά	<i>Erica arborea</i> L. Ρείκι
6	<i>Pinus nigra</i> Arn. Μαύρη πεύκη	<i>Fagus orientalis</i> Lipsky Ανατολική οξυά	<i>Erica carnea</i> L. Ερείκη σαρκόχρους
7	<i>Pinus sylvestris</i> L. Δασική πεύκη	<i>Fraxinus ornus</i> L. Μέλιος	<i>Erica verticillata</i> Forsk. Χαμορείκι – Σουσσούρα
8		<i>Ostrya carpinifolia</i> Scop. Οστρά	<i>Evonimus europaeus</i> L. Ευώνυμος (Ευρωπαϊκός)
9		<i>Platanus orientalis</i> L. Πλάτανος ανατολικός	<i>Plex aquifolium</i> L. Αρκουδοπούρναρο
10		<i>Populus nigra</i> L. Μαύρη λεύκη (Καβάκι)	<i>Juniperus oxycedrus</i> L. Άρκευθος οξύκεδρος
11		<i>Populus tremula</i> L. (Τρέμουσα λεύκη) Αγριολεύκα	<i>Olea europaea</i> var. <i>oleaster</i> Hoffm. – Αγριελιά
12		<i>Prunus mahaleb</i> (Αγριοκερασιά)	<i>Phillyrea media</i> L. Φυλίκι
13		<i>Quercus conferta</i> Kitt ( <i>Quercus frainetto</i> Ten.) Πλατύφυλλος δρυς	<i>Quercus ilex</i> L. Αριά
14		<i>Quercus dalehampii</i> Δρυς δαλεχαμπίου	
15		<i>Quercus pubescens</i> Willd Χνοώδης δρυς	
16		<i>Quercus sessiliflora</i> Salisb. ( <i>Quercus petraea</i> Liebl)	
17		Απόδισκος δρυς – γρανίτσα <i>Tilia tomentosa</i> Moench ( <i>Tilia argentea</i> Desf.) Φλαμουριά - φυλύρα	

### 2.2.7 Οικοσυστήματα και ζώνες βλάστησης

Η υδρολογική λεκάνη εκτείνεται σε ένα πολυσχιδές ανάγλυφο που περιλαμβάνει πεδινά, λοφώδη, ορεινά και ημιορεινά τμήματα μέχρι τους ορεινούς όγκους του Χορτιάτη, Βερτίσκου, Χολομώντα και των Κερδυλλίων. Στις περιοχές αυτές αναπτύσσεται ποικιλία οικοσυστημάτων που φιλοξενεί ενδιαφέρουσα χλωρίδα και πανίδα.

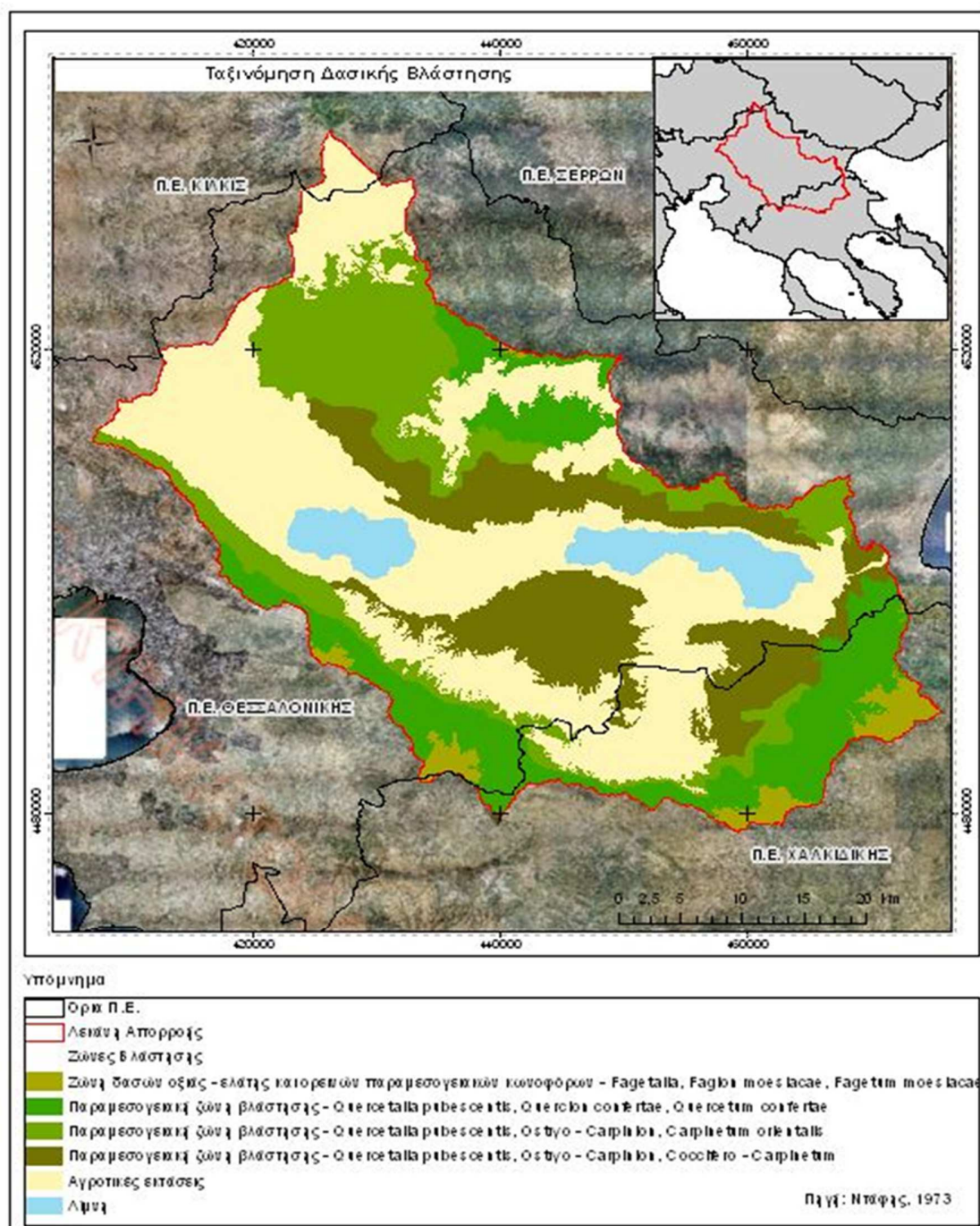
Οι κατηγορίες οικοσυστημάτων που υπάρχουν στη λεκάνη απορροής είναι: α) υδάτινα (λιμναία), τα οποία περιλαμβάνουν τις λίμνες Κορώνεια και Βόλβη, β) υγροτοπικά, τα οποία καλύπτουν τη μεταβατική ζώνη ανάμεσα στα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα (οικοτόνος) και περιλαμβάνουν την περιμετρική ζώνη γύρω από τις λίμνες Κορώνεια και Βόλβη (πλάτους 300-500μ.) που δέχεται άμεσες επιδράσεις από την παρουσία νερού και περιλαμβάνει τη βλάστηση που αναπτύσσεται σε παραλίμνια τέλματα, υδατοσυλλογές, κανάλια και χειμάρρους, καθώς και δενδρώδεις συστάδες που αποτελούν υπολείμματα των παραλίμνιων υγρόφιλων δασών αυτοφυούς προέλευσης (Απολλωνία-Ρεντίνα) και που η παρουσία τους σχετίζεται άμεσα με το συγκεκριμένο υδάτινο (λιμναίο) οικοσύστημα και γ) χερσαία οικοσυστήματα τα οποία περιλαμβάνουν τις εκτάσεις που περιβάλλουν το υγροτοπικό οικοσύστημα μέχρι τα όρια της λεκάνης.

Αντιπροσωπευτικοί τύποι οικοσυστημάτων που περιλαμβάνονται εντός του σύνθετου χερσαίου οικοσυστήματος της υδρολογικής λεκάνης είναι:

α) Φυσικά και ημι-φυσικά οικοσυστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν δάση κυρίως φυλλοβόλων ειδών, αείφυλλα πλατύφυλλα και φυλλοβόλους θάμνους. Οι ζώνες βλάστησης που διακρίνονται στην περιοχή, είναι (Εικόνα 2-6):

- Αυξητικός χώρος Orno-Quercetum ilicis της Υποζώνης Quercion ilicis της Ευμεσογειακής ζώνης βλάστησης (Quercetalia ilicis) ή σύμφωνα με νεότερες απογραφές, μεσογειακή υγρόθερμη αειθαλής βλάστηση μακκί – Quercion ilicis.





Εικόνα 2-6. Χάρτης ζωνών βλάστησης.

Η βλάστηση αυτή αντιπροσωπεύει τις σκληρόφυλλες αείφυλλες θαμνώδεις διαπλάσεις του μεσογειακού χώρου. Καλύπτει κυρίως τις νότιες πλαγιές των



ορέων βόρεια της Βόλβης και εκτείνεται από τα παρόχθια τμήματα μέχρι υψόμετρο 350μ.

- Υπομεσογειακή θερμόφιλη αειθαλή-φυλλοβόλος ημιδενδρώδης ζώνη *Ostryo-Carpinion*. Ακολουθεί χωροτοξικά τη ζώνη των μακκί στην κατά ύψος εξάπλωση, απομακρυσμένη από το παραθαλάσσιο περιβάλλον. Εξαπλώνεται συνήθως σε χαμηλού υψομέτρου τμήματα της πεδινής και λοφώδους ζώνης καθώς και σε τμήματα της ημιορεινής. Η ζώνη αυτή χωρίζεται σε δύο αυξητικούς χώρους, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους φυσιογνωμικά, ανάλογα με τις επικρατούσες τοπογραφικές συνθήκες και ανθρωπογενείς επεμβάσεις.  
Διακρίνονται:
  - Θαμνώδης βλάστηση πρινώνων (κυρίως στα λοφώδεις περιοχές στο Β-ΒΔ και Ν-ΝΔ τμήμα της λεκάνης),
  - Θαμνώδης βλάστηση πρινώνων κέδρων (*Coccifero-Carpinetum*). Η διάπλαση αυτή είναι αποτέλεσμα της υπερβόσκησης των φυλλοβόλων δασών και
  - Ημιδενδρώδης διάπλαση Πρίνου-Γαύρου. Εμφανίζεται κυρίως στις βόρειες εκθέσεις της λοφώδους περιοχής και στις παρυφές των υψηλών ορέων, όπου αντικαθιστά την *Coccifero-Carpinetum* ή και αποτελεί συνέχεια αυτής.
- Ηπειρωτική ζώνη μικτών φυλλοβόλων δασών δρυός-καστανιάς (*Quercion Frainetto, pubescentis*). Στην κατά ύψος εξάπλωσή της, περιέχεται στη ζώνη όπου επικρατούν τα διάφορα φυλλοβόλα είδη δρυός και σε βόρειες υγρές θέσεις, η καστανιά (Χορτιάτης). Καλύπτει περιφερειακά τη λεκάνη της Μυγδονίας σε ζώνη που σχηματίζεται σε υψόμετρο 400-900μ. Διακρίνεται σε δύο αυξητικές υποενώσεις: Τα δάση της διάπλασης της δρυός *Quercetum frainetto*, που είναι τα

πιο αντιπροσωπευτικά δάση της ζώνης και καλύπτουν μεγάλες περιοχές και τα δάση της διάπλασης της καστανιάς *Castanetum Sativae*.

- Μεσευρωπαϊκή ζώνη δασών οξυάς – *Fagion moesiaca*, αυξητικός χώρος *Fagetum moesiaca*. Στη συνέχεια της ζώνης δρυός-καστανιάς εκτείνονται τα δάση οξυάς κατά νησίδες, στα υψηλότερα τμήματα των ορεινών συγκροτημάτων της λεκάνης σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 800-900μ. Πολλές φορές συναντώνται και σε κατώτερες ζώνες ακολουθώντας κοίτες ρεμάτων ή καλύπτοντας βόρειες και σκιερές πλαγιές.

β) Ανθρωπογενή οικοσυστήματα, όπου περιλαμβάνονται αγροοικοσυστήματα (γεωργικές-κτηνοτροφικές περιοχές) και ημιαστικές περιοχές (οικισμοί και εγκαταστάσεις) και

γ) Μικτό οικοσύστημα που περιλαμβάνει συνδυασμό καλλιεργειών και φυσικής βλάστησης (φυτοφράχτες). Υφίσταται κυρίως περιμετρικά του υδροτοπικού συμπλέγματος των λιμνών Κορώνειας-Βόλβης-Ρήχιου ποταμού.

## **2.2.8 Τύποι οικοτόπων**

Σύμφωνα με την Εθνική Βάση Δεδομένων Natura2000, στην περιοχή απαντούν 12 τύποι οικοτόπων του Παραρτήματος Ι της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ. Επίσης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του έργου της αρχικής καταγραφής των τύπων οικοτόπων, με τίτλο «Αναγνώριση και περιγραφή τύπων οικοτόπων σε περιοχές ενδιαφέροντος για τη διατήρηση της φύσης» αναγνωρίστηκαν πέντε τύποι οικοτόπων που δεν περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Ι της Οδηγίας (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2001).

Στο πλαίσιο του προγράμματος «Ανάπτυξη υποδομής χωρικών δεδομένων μεγάλης κλίμακας (1:5000) για τις χερσαίες προστατευόμενες περιοχές του δικτύου «Natura2000» του ΕΚ επικαιροποιήθηκαν και χαρτογραφήθηκαν εκ νέου τα όρια των χερσαίων προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura2000 καθώς και οι τύποι οικοτόπων εντός αυτών, σε εθνικό

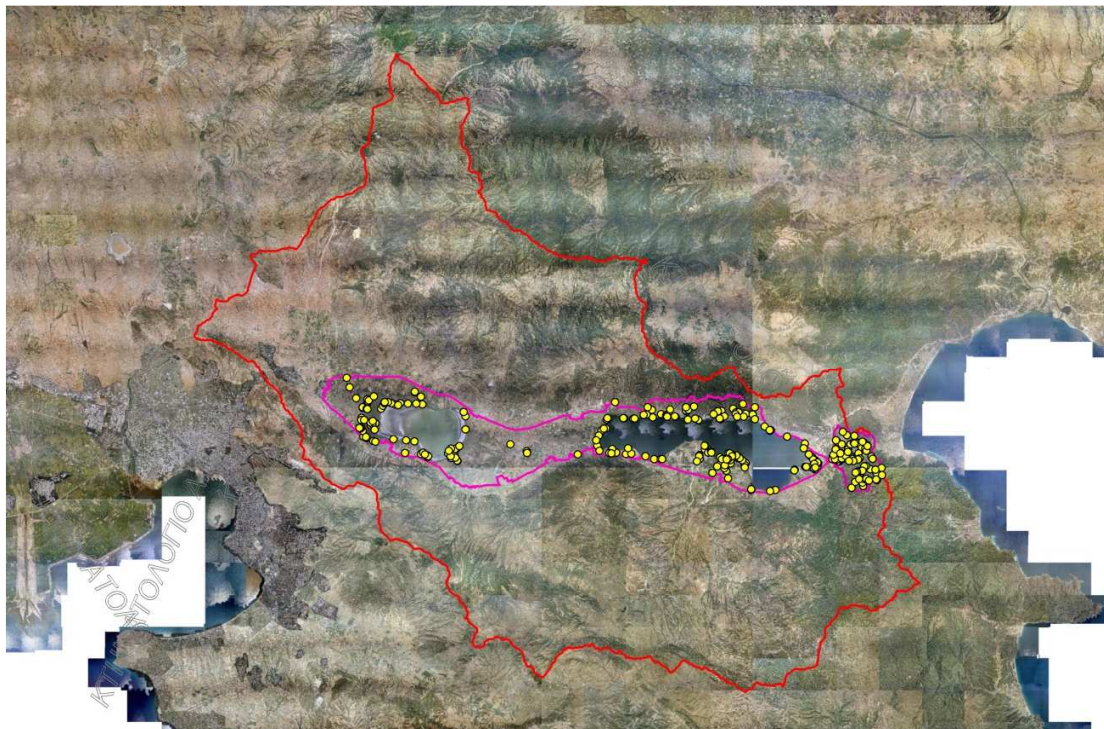
επίπεδο, το 2015. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ως άνω προγράμματος, στην προστατευόμενη περιοχή εντός της υδρολογικής λεκάνης, απαντούν δεκαπέντε (15) φυσικοί τύποι οικοτόπων του Παραρτήματος Ι της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ, τρεις (3) Ελληνικοί φυσικοί τύποι οικοτόπων, οι οποίοι δεν περιλαμβάνονται στο ως άνω Παράρτημα και είκοσι (20) ανθρωπογενείς τύποι οικοτόπων (Πίνακας 2-4).

Πίνακας 2-4. Καταγεγραμμένοι τύποι οικοτόπων εντός περιοχής μελέτης (Πηγή: ΕΚΧΑ, 2015).

α/α	Κωδικός Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ	Τύποι Οικοτόπων του Παραρτήματος Ι της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ
1	1210	Μονοετής βλάστηση μεταξύ των ορίων πλημμυρίδας και αμπότιδας
2	3130	Ολιγοτροφικά ύδατα της Κεντρικής Ευρώπης και του περί τις Άλπεις χώρου με βλάστηση <i>Littorela</i> ή <i>Isoetes</i> ή μονοετή βλάστηση στις αποκαλυπτόμενες από τα ύδατα όχθες ( <i>Nanocypereta</i> )
3	3150	Ευτροφικές φυσικές λίμνες με βλάστηση τύπου <i>Magnopotamion</i> ή <i>Hydrocharition</i>
4	3290	Ποταμοί της Μεσογείου με περιοδική ροή από <i>Paspalo-Agrostidion</i>
5	62A0	Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλοώδεις διαπλάσεις ( <i>Scorzonetalia villosae</i> )
6	6420	Μεσογειακοί λειμώνες με υψηλές πόδες και βούρλα ( <i>Molinio-Holoschoenion</i> )
7	91E0	Υπολειμματικά αλλουβιακά δάση ( <i>Alnion glutinoso-incanae</i> )
8	91F0	Μικτά δάση με <i>Quercus robur</i> , <i>Ulmus laevis</i> , <i>Ulmus minor</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> ή <i>Fraxinus angustifolia</i> κατά μήκος μεγάλων ποταμών ( <i>Ulmion minoris</i> )
9	91M0	Δάση δρυός με <i>Quercus cerris</i> και <i>Quercus petraea</i>
10	9260	Δάση με <i>Castanea sativa</i>
11	92A0	Δάση-στοές με <i>Salix alba</i> και <i>Populus alba</i>
12	92C0	Δάση πλατάνου της Ανατολής ( <i>Platanion orientalis</i> )
13	92D0	Νότια παρόχθια δάση-στοές και λόχμες ( <i>Nerio-Tamaricetea</i> και <i>Securinegion tinctoriae</i> )
14	9320	Δάση με <i>Olea</i> και <i>Ceratonia</i>
15	9340	Δάση με <i>Quercus ilex</i>
Ελληνικοί Τύποι Οικοτόπων (εκτός της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ)		
1	5350	Ψευδομακκί
2	72A0	Καλαμώνες
3	924A	Θερμόφιλα δρυοδάση της Αν. Μεσογείου και της Βαλκανικής

α/α	Κωδικός Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ	Τύποι Οικοτόπων του Παραρτήματος Ι της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ
Ανθρωπογενείς Τύποι Οικοτόπων		
1	1011	Χωριά και οικισμοί
2	1012	Χώροι εξυπηρέτησεων
3	1013	Δευτερεύοντες οικισμοί
4	1020	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες (θεσμοθετημένες)
5	1021	Συγκεντρώσεις αγροτικών / μεταποιητικών μονάδων
6	1022	Αυτοκινητόδρομοι
7	1023	Δρόμοι εθνικοί
8	1024	Δρόμοι επαρχιακοί (ασφαλτοστρωμένοι)
9	1025	Δρόμοι επαρχιακοί
10	1031	Χώροι απόρριψης απορριγμάτων
11	1041	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
12	1051	Μη αρδευόμενη μη-αρόσιμη γη μεικτή
13	1056	Μόνιμα αρδευόμενη γη αμιγής
14	1057	Μόνιμα αρδευόμενη γη μεικτή
15	1062	Εγκαταλελειμμένες καλλιέργειες
16	1063	Ποταμοί μόνιμης ροής χωρίς βλάστηση
17	1064	Ποταμοί περιοδικής ροής χωρίς βλάστηση
18	1065	Φυτείες δασικών ειδών (αναδασώσεις)
19	1068	Ελαιώνες αμιγείς
20	1080	Συλλογές υδάτων

Στο πλαίσιο του ανωτέρω προγράμματος, πραγματοποιήθηκε μεγάλος αριθμός δειγματοληψιών στο πεδίο για τον προσδιορισμό των τύπων οικοτόπων (Εικόνα 2-7). Ειδικότερα, στην προστατευόμενη περιοχή (GR1220001) των δύο λιμνών, λήφθηκαν διακόσιες δεκαοκτώ (218) δειγματοληψίες ενώ στο τμήμα της δεύτερης μικρότερης προστατευόμενης περιοχής (GR1220003) εβδομήντα οκτώ (78).



Εικόνα 2-7. Κατανομή δειγματοληπτικών μονάδων εντός προστατευόμενων περιοχών GR1220001 και GR122003, 2015.

Στις ως άνω δειγματοληψίες προσδιορίσθηκαν σαράντα (40) τουλάχιστον κύρια είδη (συν)κυρίαρχων ειδών (Πίνακας 2-5).

### 2.2.9 Πανίδα

Θηλαστικά: Σύμφωνα με την εθνική βάση δεδομένων Natura2000, στην περιοχή μελέτης παρατηρούνται επτά (7) είδη που περιλαμβάνονται στα Παραρτήματα της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ, άλλα δέκα (10) σημαντικά είδη που περιλαμβάνονται στον Εθνικό κόκκινο κατάλογο δεδομένων και ένα (1) σημαντικό είδος που περιλαμβάνεται στο Παράρτημα ΙΙΙ της διεθνούς σύμβασης της Βέρνης.

Πίνακας 2-5. Κατάλογος κύριων (συγκυρίαρχων ειδών που καταγράφηκαν στο πλαίσιο της επικαιροποίησης των χερσαίων τύπων των οικοτόπων (ΕΚΧΑ, 2015).

α/α	Δένδρα	Θάμνοι	Ποώδη Βλάστηση
1	Platanus orientalis	Tamarix parviflora	Phragmites australis
2	Olea europaea	Quercus coccifera	Cynodon dactylon
3	Populus nigra	Pistacia lentiscus	Vitex agnus-castus
4	Quercus frainetto	Rubus ulmifolius	Schoenoplectus lacustris
5	Carpinus orientalis	Paliurus spina-christi	Paspalum paspalodes
6	Quercus robur	Phillyrea latifolia	Mentha sp
7	Alnus glutinosa	Quercus ilex	Myriophyllum spicatum
8	Quercus petraea	Arbutus unedo	Potamogeton perfoliatum
9	Castanea sativa		Thymus sibthorpii
10			Chrysopogon gryllus
11			Asphodelus ramosus
12			Lamium maculatum
13			Salsola kali
14			Polygonum sp.
15			Chenopodium glaucum
16			Cyperus sp.
17			Chenopodium glaucum
18			Ceratophyllum demersum
19			Lemna minor
20			Pteridium aquilinum
21			Urtica urens
22			Scirpoides holoschoenus
23			Sambucus ebulus

Ορνιθοπανίδα: Μέχρι σήμερα έχουν συνολικά καταγραφεί διακόσια εξήντα έξι (266) είδη, εκ των οποίων τα 126 φωλιάζουν εντός της λεκάνης απορροής, ενώ απαιτείται επιβεβαίωση για άλλα έντεκα (11) είδη. Συνολικά αναφέρονται έντεκα (11) είδη στην λίστα των παγκοσμίως απειλούμενων ειδών της IUCN, ογδόντα πέντε (85) είδη στο Παράρτημα Ι της Οδηγίας 79/409 για τα Άγρια Πουλιά και εκατόν δεκαεπτά (117) είδη είναι Ευρωπαϊκού ενδιαφέροντος για προστασία.

## **2.3 Μορφές Κάλυψης/Χρήσεις Γης και Μεταβολές**

### **2.3.1 Καταγραφές μορφών κάλυψης/χρήσεων γης**

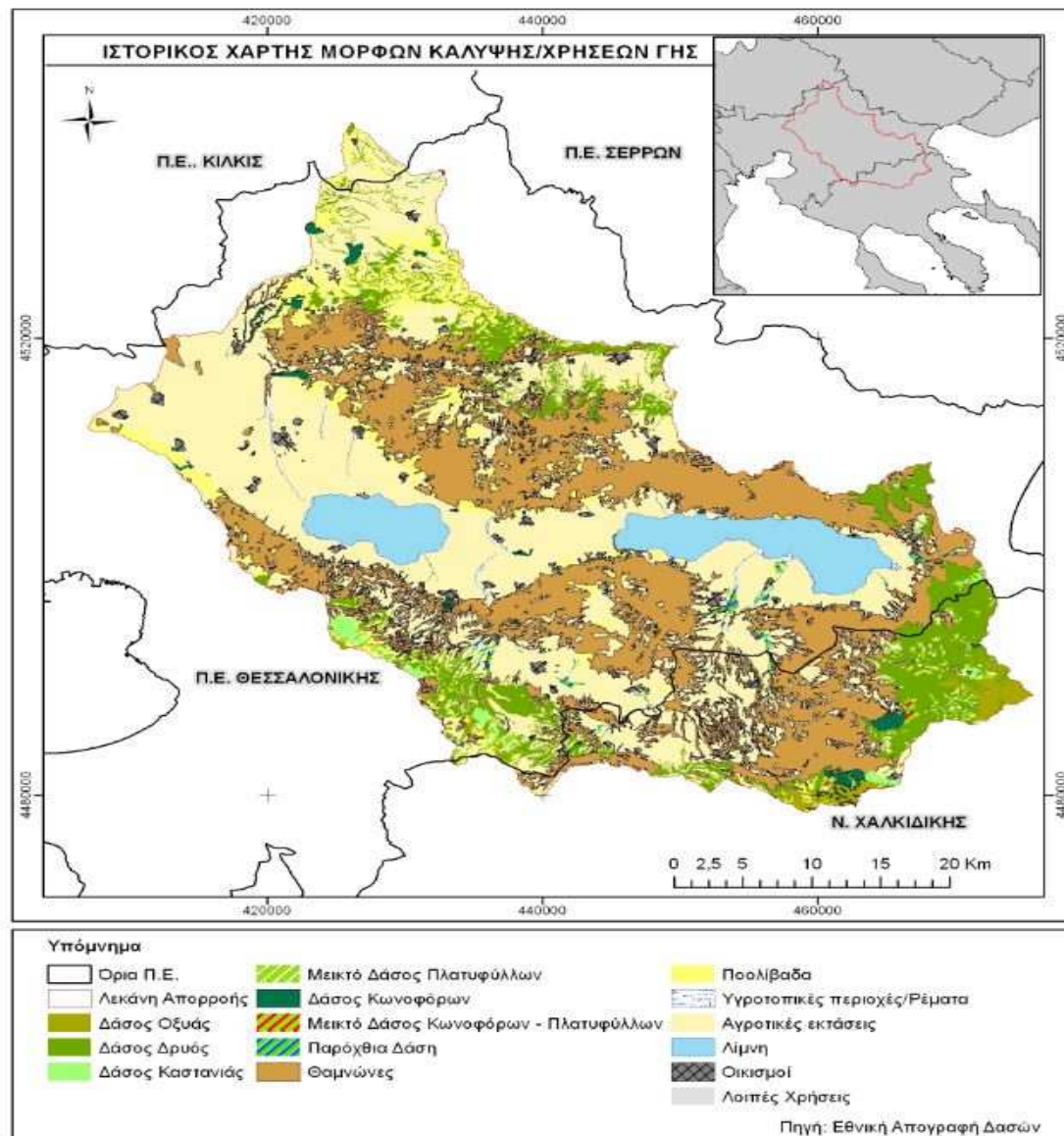
Για την περιοχή έρευνας, όπως και για το σύνολο της Ελλάδος, υφίστανται τρία προγράμματα καταγραφής των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, τα οποία πραγματοποιήθηκαν με διαφορετικές μεθόδους και σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Το πρώτο που έλαβε ποτέ χώρα και πλέον θεωρείται ιστορικό υλικό, αφορά την Εθνική Απογραφή Δασών που στόχευε στην απογραφή των φυσικών πόρων σε εθνικό επίπεδο, ωστόσο στο πλαίσιο αυτής αναγνωρίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν και άλλες κατηγορίες μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, όπως γεωργικές εκτάσεις, υδάτινα σώματα, οικισμοί, κ.λπ. (Εικόνα 2-8).

Η συγκεκριμένη χαρτογράφηση βασίστηκε κυρίως σε αεροφωτογραφίες του 1960 αλλά χρησιμοποιήθηκαν κατά τμήματα και μεταγενέστερες έτους 1978 και 1979. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής, διακρίνονται 13 κατηγορίες μορφής κάλυψης/ χρήσεων γης εντός της λεκάνης απορροής, η περιγραφή και τα ποσοτικά στοιχεία των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-6 (ΕΑΔ, 1992).

Το δεύτερο πρόγραμμα καταγραφής μορφών κάλυψης/χρήσεων γης με τίτλο «GMES/Copernicus Initial Operations (GIO) Land monitoring 2011-2013» ολοκληρώθηκε επιτυχώς από την ΕΚΧΑ Α.Ε. (νυν ν.π.δ.δ. «ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ») το 2015, σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΕΑ, 2012).

Η υλοποίησή του βασίστηκε σε φωτοερμηνεία δορυφορικών εικόνων LANDSAT 7, SPOT και IRS της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας και γεωχωρικά δεδομένα της Ε.Κ.ΧΑ. Α.Ε. όπως τα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα (LSO) μεγάλης κλίμακας 1:5.000, δεδομένα Δασικών Χαρτών, δεδομένα του έργου «Οριοθέτηση δασών και δασικών εκτάσεων» και

ακτογραμμής, καθώς και δεδομένα από άλλες πηγές, όπως οικισμοί, υγράτοποι, οδικό δίκτυο, κ.λπ.



Εικόνα 2-8. Ιστορικός Χάρτης Μορφών Κάλυψης/Χρήσεων Γης (1960).

Η γεωγραφική κατανομή των μορφών κάλυψης/ χρήσεων γης στο πλαίσιο του προγράμματος αυτού παρουσιάζεται στην Εικόνα 2-9. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα και για την περιοχή μελέτης καταγράφηκαν 21 κατηγορίες μορφής κάλυψης/χρήσεων γης, δεδομένου



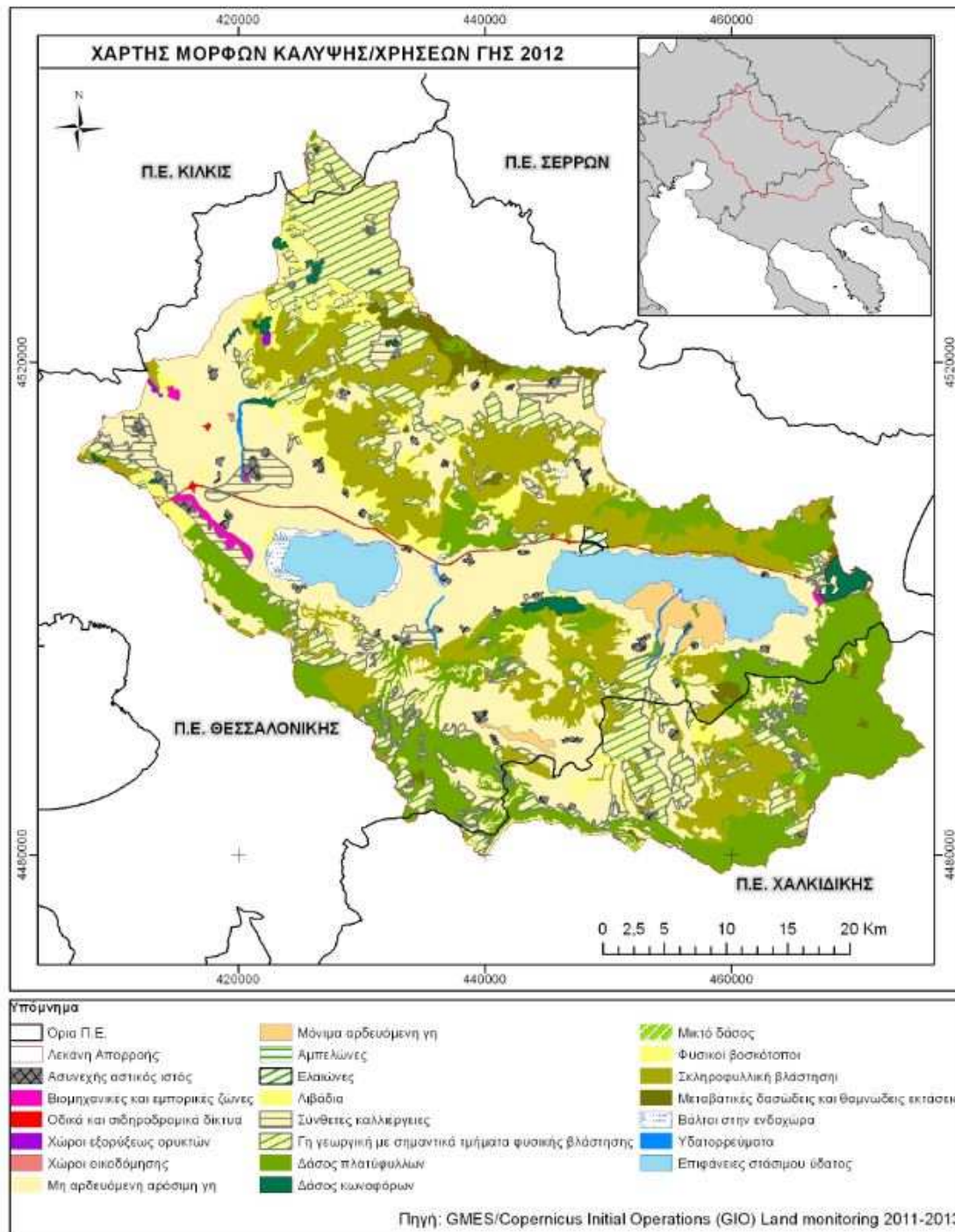
ότι παρέχεται μεγαλύτερη ανάλυση σε όλα τις κύριες κατηγορίες, ήτοι δομημένες επιφάνειες, γεωργία, δάση, υγρότοποι και υδάτινες επιφάνειες (Πίνακας 2-7).

Πίνακας 2-6. Μορφές κάλυψης/χρήσεων γης (ΕΑΔ, 1992).

α/α	Μορφές Κάλυψης/Χρήσεις Γης	Έκταση (Ha)
1	Δάση Δρυός	19.361,96
2	Δάση Καστανιάς	937,94
3	Δάση Κωνοφόρων	1.529,46
4	Δάση Οξυάς	2.254,22
5	Μικτά Δάση Πλατυφύλλων	1.186,06
6	Μικτά Δάση Κωνοφόρων-Πλατυφύλλων	178,59
7	Παρόχθια Δάση	1.173,39
8	Θαμνώνες	58.282,40
9	Ποολίβαδα	13.789,11
10	Αγροτικές Εκτάσεις	77.130,66
11	Άγονα εδάφη	1.068,87
12	Λίμνες	10.941,08
13	Οικισμοί	2.451,35
	Σύνολο	190.285,09

Από τα αποτελέσματα του προγράμματος αυτού και τη χαρτογράφηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, προκύπτουν νέες πληροφορίες για τις υπάρχουσες μορφές κάλυψης/χρήσεων γης της περιοχής μελέτης το 2012, όπως για τη γεωργική γη, τα δάση και τη φυσική βλάστηση, τα δίκτυα, τις βιομηχανικές και υγροτοπικές περιοχές. Είναι εμφανής πλέον η χάραξη της Εγνατίας Οδού που διατρέχει οριζόντια τη λεκάνη απορροής από άκρη σε άκρη με κατεύθυνση Δ-Α. Διαπιστώνεται όμως ότι παρέχονται και εσφαλμένες εκτιμήσεις, όπως για παράδειγμα είναι η έκταση της αρδευόμενης γης, η οποία στην πραγματικότητα είναι πολύ μεγαλύτερη αφού καταλαμβάνει εξ' ολοκλήρου την ενδιάμεση περιοχή μεταξύ των δύο λιμνών καθώς και αγροτικές εκτάσεις που περιβάλλουν αυτές αλλά και πέραν αυτών δυτικά προς την πεδιάδα του Λαγκαδά. Σφάλματα, όπως το συγκεκριμένο, οφείλονται στην έλλειψη αντίστοιχων διαθέσιμων θεσμικών δεδομένων από τρίτες πηγές καθώς και ελέγχων στο πεδίο για την

εξακρίβωση της ακρίβειας της χαρτογράφησης, οι οποίοι βέβαια δεν απαιτούνταν στο πλαίσιο του συγκεκριμένου προγράμματος.



Εικόνα 2-9. Χάρτης μορφών κάλυψης/χρήσεων γης της περιοχής μελέτης, 2012.

Πίνακας 2-7. Κατηγορίες μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σύμφωνα με το πρόγραμμα «GMES/Copernicus Initial Operations (GIO) Land monitoring 2011-2013».

α/α	Κωδικός	Μορφές Κάλυψης/Χρήσεις Γης	Έκταση (Ha)
1	112	Ασυνεχής αστικός ιστός	2.531,16
2	121	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	720,43
3	122	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα	713,63
4	131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	129,11
5	133	Χώροι οικοδόμησης	34,25
6	211	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	55.780,09
7	212	Μόνιμα αρδευόμενη γη	2.671,65
8	221	Αμπελώνες	64,89
9	223	Ελαιώνες	350,41
10	231	Λιβάδια	417,70
11	242	Σύνθετες καλλιέργειες	4.475,72
12	243	Γη γεωργική με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	28.400,13
13	311	Δάση Πλατυφύλλων	33.953,97
14	312	Δάση Κωνοφόρων	1.936,50
15	313	Μικτά Δάση	390,36
16	321	Φυσικοί βοσκότοποι	8.009,70
17	323	Σκληροφυλλική βλάστηση	34.422,37
18	324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	2.765,17
19	411	Βάλτοι στην ενδοχώρα	1.376,40
20	511	Υδατορεύματα	448,20
21	512	Επιφάνειες στάσιμου ύδατος (λίμνες)	10.693,27
		Σύνολο	190.285,09

Ως προς την αξιολόγηση του εφαρμοζόμενου συστήματος ταξινόμησης στις ελληνικές συνθήκες, αξίζει να σημειωθούν τα ακόλουθα: α) η κατηγορία «Λιβάδια» και «Φυσικοί Βοσκότοποι» κατ' εκτίμηση αναφέρεται σε εκτάσεις με χορτολιβαδική μορφή που προορίζονται για βόσκηση. Είναι προφανές όμως, ότι στην περιοχή μελέτης δεν υφίστανται χρήσεις γης ή μορφή, υπό την έννοια του όρου «Λιβάδια», διότι ο όρος αυτό παραπέμπει σε αγροτικές εκτάσεις που χρησιμοποιούνται για βόσκηση ή εφαρμόζεται μηχανική συγκομιδή, σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του ΕΟΠ, β) η κατηγορία «Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις

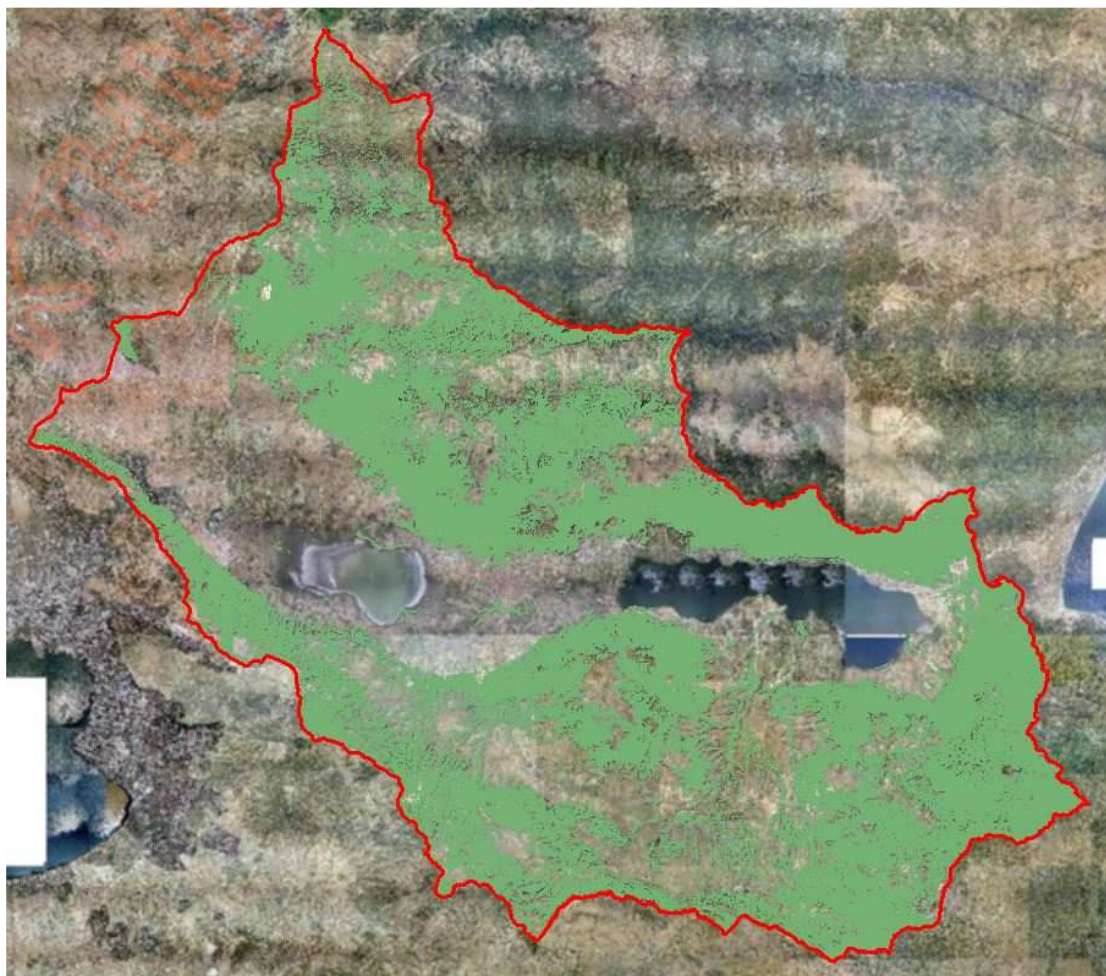
εκτάσεις» αναφέρεται στις παρυφές των δασών, ήτοι στις ημιορεινές περιοχές, οι οποίες καλύπτονται από υποβαθμισμένα δρυοδάση και μακκία βλάστηση λόγω της έλλειψης διαχείρισής τους και υπερβόσκησης, και γ) η κατηγορία «Γη γεωργική με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης» δεν έχει βάση αναφοράς στην χώρα μας δεδομένου ότι αφορά κυρίως γεωργική γη σε μίξη με διάσπαρτες κηλίδες φυσικής βλάστησης.

Το τρίτο πρόγραμμα καταγραφής μορφών κάλυψης/χρήσεων γης με τίτλο «Copernicus Land Services 2017-2021» ολοκληρώθηκε επιτυχώς επίσης από το ν.π.δ.δ. «ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ» το 2018, επίσης σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του ΕΟΠ. Οι μορφές κάλυψης/χρήσεων γης αναλύονται στο Κεφάλαιο 6 του παρόντος.

### **2.3.2 Δάση και δασικές εν γένει εκτάσεις**

Σύμφωνα με τους Δασικούς Χάρτες που καταρτίστηκαν από την ΕΚΧΑ Α.Ε. την περίοδο 2009-2015, με βάση τα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα του ΕΚ (ορθοεικόνες υψηλής ανάλυσης (LSO) και λήψης 2007-2009) και οι οποίοι αναρτήθηκαν ηλεκτρονικά στον ιστότοπο της ΕΚΧΑ Α.Ε. κατόπιν των αποφάσεων θεώρησης και ανάρτησής τους από την οικείες Διευθύνσεις Δασών το 2017, τα υφιστάμενα δάση και οι δασικές εκτάσεις καταλαμβάνουν έκταση 94.962,24Ha (50% της υδρολογικής λεκάνης) ενώ οι χορτολιβαδικές εκτάσεις καταλαμβάνουν ασήμαντη έκταση, μόλις 14,12Ha (Εικόνα 2-10).

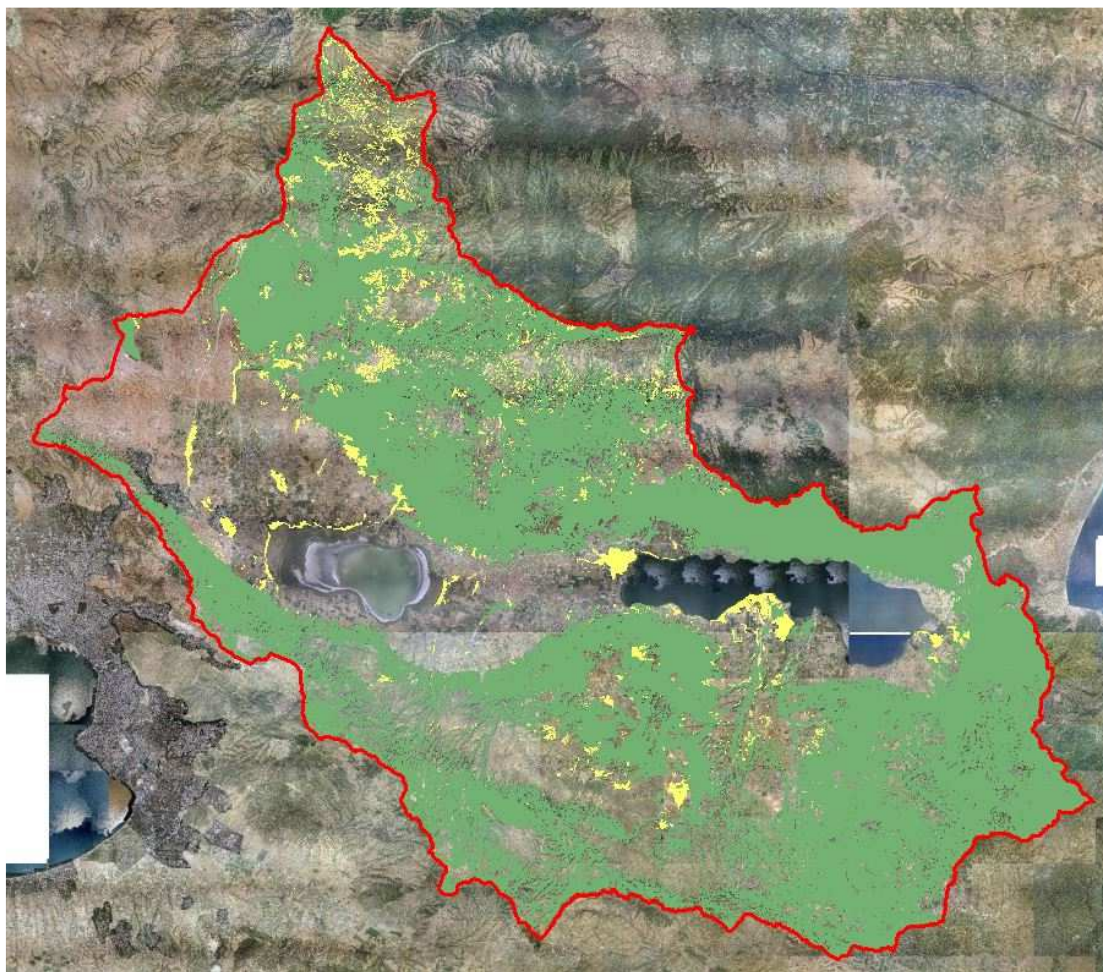
Σύμφωνα όμως με τους Ορθοφωτοχάρτες έτους 1945, οι οποίοι συντάχθηκαν στο πλαίσιο των ανωτέρω προγραμμάτων Δασικών Χαρτών, τα δάση και οι δασικές εκτάσεις καταλάμβαναν έκταση 97.873,78Ha (51,4% της υδρολογικής λεκάνης) το 1945, μεγαλύτερης της πρόσφατης κατάστασης κατά 2.911,54Ha, ενώ οι χορτολιβαδικές εκτάσεις καταλάμβαναν έκταση 6.629,82Ha, ήτοι 3,4% της λεκάνης απορροής, πολύ μεγαλύτερης έναντι των 14,12Ha της σημερινής κατάστασης (Εικόνα 2-11).



Εικόνα 2-10. Δασικός Χάρτης περιοχής μελέτης (Πηγή: Ελληνικό Κτηματολόγιο).

Οι τελευταίες εντοπίζονται διάσπαρτες σε ημιορεινές περιοχές κυρίως στο βόρειο αλλά και στο νότιο-κεντρικό τμήμα της λεκάνης απορροής και αποτελούσαν βοσκόμενες γαίες ή εγκαταλελειμμένοι αγροί. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται και τμήματα περιμετρικά των λιμνών (π.χ. εκβολές χειμάρρων), που σήμερα προστατεύονται ως φυσικοί οικότοποι. Η απουσία εκτάσεων χορτολιβαδικού χαρακτήρα στο Δασικό Χάρτη οφείλεται είτε σε αλλαγή χρήσης τους σε γεωργική καλλιέργεια στο πέρασμα του χρόνου είτε σε συμπερίληψή τους στις περιοχές δασικού χαρακτήρα.





Εικόνα 2-11. Δασικές και χορτολιβαδικές εκτάσεις το 1945 (Πηγή: Ελληνικό Κτηματολόγιο).

Με βάση την επεξεργασία των προαναφερόμενων διαθέσιμων δεδομένων προκύπτει ότι οι δασικές εν γένει εκτάσεις διατηρήθηκαν από το 1945 έως το 2017 (Πίνακας 2-8). Αυτό προφανώς οφείλεται στην εφαρμογή μέτρων προστασίας των δασών και δασικών εκτάσεων διαχρονικά αλλά και στην έλλειψη ενδιαφέροντος για την εκμετάλλευσή τους για άλλους σκοπούς, δεδομένου ότι η λεκάνη απορροής βρίσκεται στην ενδοχώρα σε απόσταση από τη θάλασσα, δεν περιλαμβάνει αστικά κέντρα με μεγάλο πληθυσμό, και δεν αποτελεί τουριστικό προορισμό ούτε ενδείκνυται για θερινή κατοικία. Ειδικότερα παρατηρούνται μικρές μεταβολές δασικού χαρακτήρα εκτάσεων από το 1945 στο 2017, οι οποίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: εκτάσεις που εκχερσώθηκαν και οι οποίες ανέρχονται σε 5.021,87Ha (5,30% των δασικού

χαρακτήρα εκτάσεων το 1945) και εκτάσεις που δασώθηκαν και οι οποίες ανέρχονται σε 5.097,33Ha, ισοδύναμη με την επιφάνεια των εκχερσωθέντων εκτάσεων.

Παρατηρείται ότι στο μεσοδιάστημα υπάρχει ακόμη μεγαλύτερη μείωση, η οποία όμως οφείλεται στη διαφορετική φιλοσοφία και εφαρμογή διαφορετικών μεθοδολογιών στις οποίες βασίζονται οι δύο αυτές καταγραφές μορφές κάλυψης/χρήσεων γης το 1960 και το 2012 έναντι αυτών των Δασικών Χαρτών.

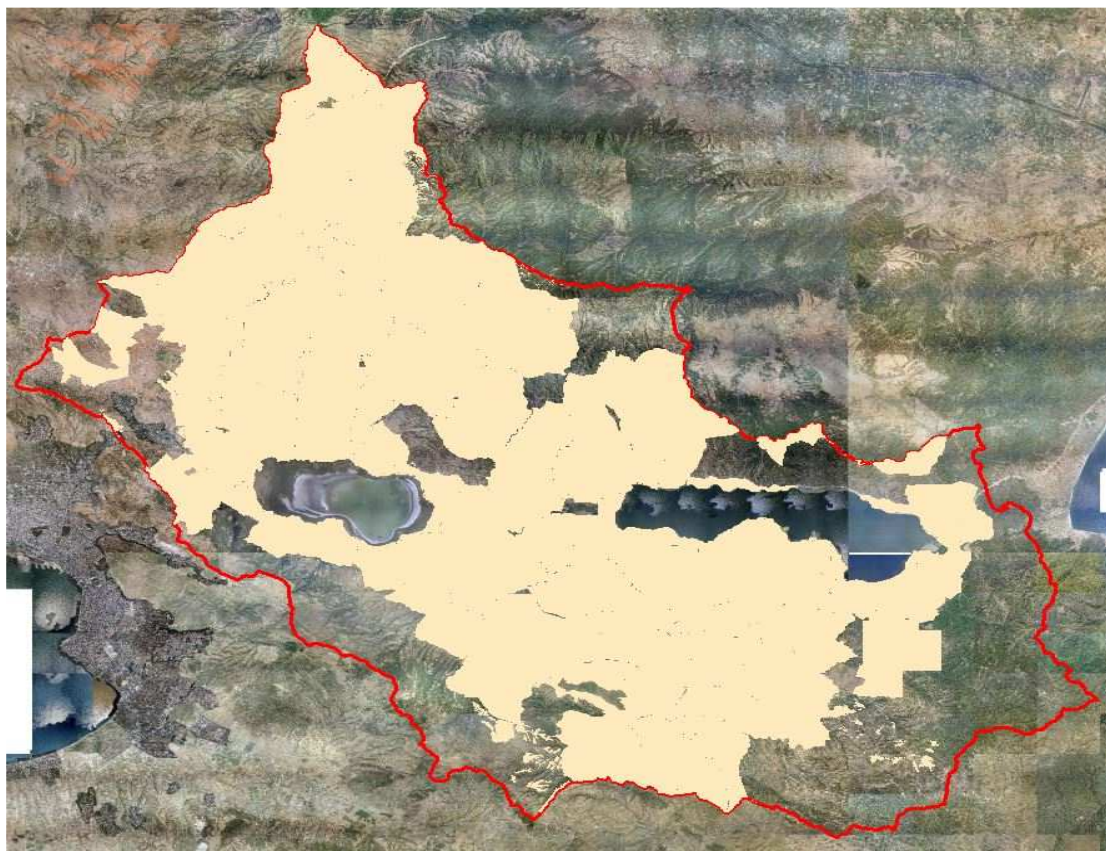
Πίνακας 2-8. Μεταβολή των δασών και δασικών εκτάσεων 1945-2017.

Πηγή	Έτος αναφοράς	Δασικές εν γένει εκτάσεις (Ha)	Μεταβολή (%)
Δασικός Χάρτης	2017	94.953,05	+0,32
GMES/Copernicus Initial Operations (GIO) Land monitoring 2011-2013	2012	81.478,07	
Εθνική Απογραφή Δασών	1960	84.904,02	
Ιστορικός Ορθοφωτοχάρτης	1945	94.642,87	

### 2.3.3 Αγροτικές εκτάσεις

Η μεγάλη επιφάνεια των αγροτικών εκτάσεων εντός της περιοχής εξηγείται ιστορικά από τις μεγάλες σε επιφάνεια κάλυψης διανομές και αναδασμοί γαιών, στις οποίες προέβη το Ελληνικό Κράτος, αρχικά προς αποκατάσταση των Ελλήνων προσφύγων της Ανατολής στην περίοδο του μεσοπολέμου αλλά και μεταγενέστερα προς γεωργική ανάπτυξη (Εικόνα 2-12).

Συγκεκριμένα έχουν υλοποιηθεί διανομές και αναδασμοί σε 61 ΟΤΑ της περιοχής μελέτης, αρχομένης από το 1929. Στο σύνολο της περιοχής μελέτης, οι διανομές γης και αναδασμοί καλύπτουν έκταση 124.806,5Ha (71% της λεκάνης απορροής). Στην έκταση βέβαια αυτή, συμπεριλαμβάνονται όχι μόνο γεωργικές εκτάσεις αλλά και οικισμοί, δάση και δασικές εκτάσεις, χέρσες εκτάσεις, κ.λπ. (πηγή: ΕΚΧΑ, 2007).



Εικόνα 2-12. Κάλυψη διανομών και αναδασμών γαιών.

Η κατηγορία των αγροτικών εκτάσεων είναι η δεύτερη σε επιφάνεια κατηγορία μορφής κάλυψης/χρήσης γης μετά τα δάση και τις δασικές εν γένει εκτάσεις της περιοχής μελέτης. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία του Συστήματος Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων (LPIS-GIS) του Οργανισμού Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (ΟΠΕΚΕΠΕ), το σύνολο των δηλωθέντων καλλιεργειών το 2017 ανέρχεται σε 72.575,07 Ha (38,14% της υδρολογικής λεκάνης). Οι κατηγορίες κάλυψης των αγροτικών εκτάσεων δίνεται στον Πίνακα 2-9.



Πίνακας 2-9. Κατηγορίες γεωργικών εκτάσεων (LPIS-GIS), 2017.

A/A	Κατηγορία	Έκταση (Ha)
1	Αρόσιμα	66.027,74
2	Αρόσιμα μικτά	4.777,26
3	Μόνιμες καλλιέργειες	437,477
4	Μόνιμα μικτά	281,701
5	Ελαιοκαλλιέργειες	322,091
6	Ελαιοκαλλιέργειες μικτές	591,919
7	Αμπελοκαλλιέργειες	61,149
8	Αμπελοκαλλιέργειες μικτές	75,725
	Σύνολο	72.575,07

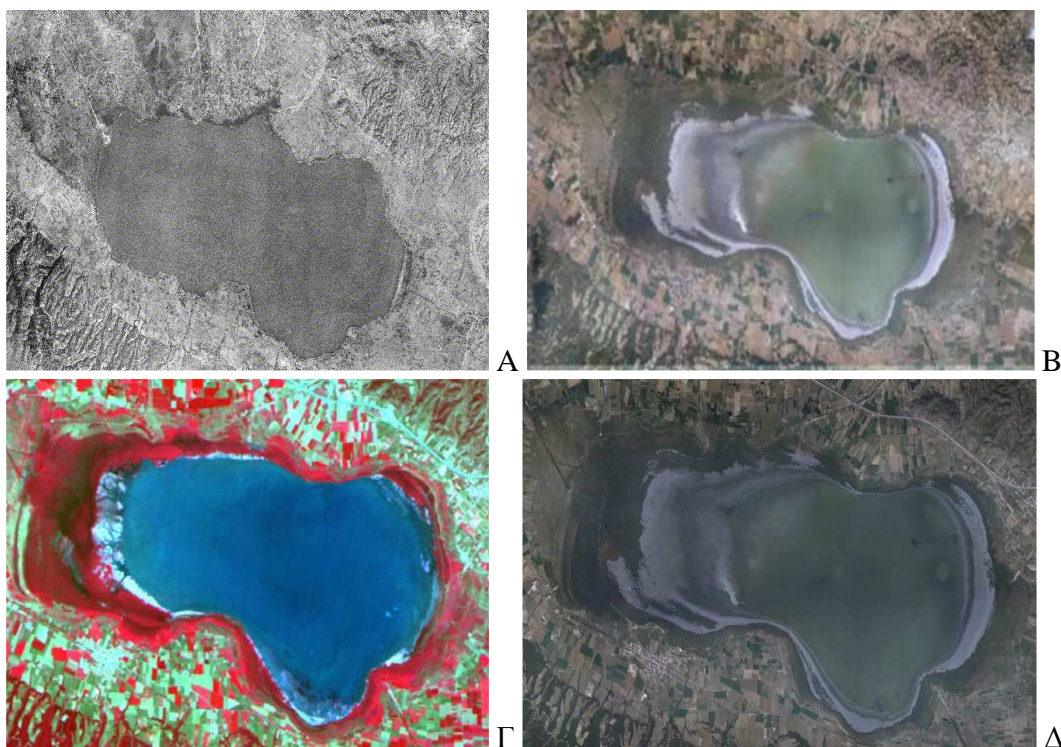
Σύμφωνα με τα στοιχεία των δηλωθέντων αγροτεμαχίων προς καταβολή ενισχύσεων κατά το 2017, κύριες γεωργικές καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης είναι οι ζωοτροφές, τα σιτηρά, ο αραβόσιτος και οι ενεργειακές καλλιέργειες, μεταξύ άλλων, όπως το βαμβάκι, οι ελαιοκαλλιέργειες, ο καπνός, τα κηπευτικά αλλά και η αγρανάπαυση. Οι δηλωθείσες καλλιέργειες εκτείνονται σε 94.837 αγροτεμάχια εκ των οποίων οι αρδευόμενες αφορούν 16.661 αγροτεμάχια τα οποία καταλαμβάνουν έκταση μόλις 10.661,66Ha. Η επιφάνεια των αγροτεμαχίων είναι μικρή. Κυμαίνεται από 0,2Ha έως 3Ha. Η κατηγορία με τη μεγαλύτερη επιφάνεια είναι η αρόσιμη γη. Οι υπόλοιπες καλλιέργειες (ελαιώνες, αμπελώνες, οπωρώνες, τεχνητές φυτείες) είναι μικρές σε μέγεθος. Οι αρδευόμενες εκτάσεις εντοπίζονται στην πλειοψηφία τους στα πεδινά, βορειοδυτικά της λίμνης Κορώνειας και στην πεδιάδα του Λαγκαδά αλλά και στην εύφορη περιοχή μεταξύ των δύο λιμνών, όπου και υπάρχει συγκέντρωση μεγάλου αριθμού υφιστάμενων γεωτρήσεων για άρδευση.

#### 2.3.4 Υδάτινες επιφάνειες

Η μη ορθολογική άσκηση των δραστηριοτήτων στην υπολεκάνη της Κορώνειας τις τελευταίες δεκαετίες σε συνδυασμό με τις κλιματικές συνθήκες που επικράτησαν τη δεκαετία του 2000 (μείωση βροχοπτώσεων, αυξημένες θερμοκρασίες) είχαν ως αποτέλεσμα τη σημαντική

υποβάθμιση της λίμνης Κορώνειας. Ως κυριότεροι παράγοντες υποβάθμισης αναγνωρίστηκαν οι αντλήσεις νερού, αρχικά από τη λίμνη και μετέπειτα από τον φρεάτιο υδροφορέα, καθώς και η ρύπανση από σημειακές (αστικά λύματα, βιομηχανία) και μη σημειακές πηγές (γεωργία). Οι επιπτώσεις αντανακλώνται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της λίμνης και στα ποσοτικά χαρακτηριστικά τόσο της λίμνης όσο και της υπολεκάνης Κορώνειας. Για τη λίμνη Βόλβη, δεν παρατηρείται ανάλογη υποβάθμιση των χαρακτηριστικών της.

Η μεταβολή της υδάτινης επιφάνειας της λίμνης Κορώνειας, από το 1945 έως το 2015, παρουσιάζεται οπτικά στην Εικόνα 2-13. Επί των ως άνω χαρτογραφικών υποβάθρων και δορυφορικών εικόνων, υπολογίστηκε ποσοτικά η μεταβολή της υδάτινης επιφάνειας των δύο λιμνών (Πίνακας 2-10).



Εικόνα 2-13. Διαχρονική κατάσταση της λίμνης Κορώνειας. Α) Ορθοεικόνα, 1μ. 1945, Β) Ορθοεικόνα LSO, 1μ, TrueColorRGB, 2007, Γ) Ψευδέγχρωμη δορυφορική εικόνα Rapideye, 5μ., 2011, και Δ) Ορθοεικόνα LSO25, 0,25μ. 2015.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 2-10 κατά το διάστημα 1945 – 2008, παρατηρείται απώλεια υδάτινης επιφάνειας της λίμνης Κορώνειας ίσης με 2.778,18 Ha (42,8%). Προκύπτει δηλ. ότι η λίμνη Κορώνεια από το 1945 έως 2008 απώλεσε σχεδόν το μισό της επιφάνειάς της. Στη συνέχεια, το 2011, παρατηρείται πλήρωση της υδάτινης επιφάνειάς της κατά 1.553,19 Ha και το 2015 επανέρχεται σε ακόμη μικρότερα επίπεδα από το 2007. Στην ίδια περίοδο, οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται στη λίμνη Βόλβη είναι μικρής τάξης.

Οι ενδεχόμενες αιτίες του προβλήματος αυτού είναι: α) η αύξηση της θερμοκρασίας και η παρατεινόμενη διάρκεια της ξηροθερμικής περιόδου πέραν του θέρους, β) η μείωση της φυσικής τροφοδοσίας των λιμνών και της ευρύτερης λεκάνης απορροής από τις βροχοπτώσεις και την απορροή των χειμάρρων και γ) η μη ορθολογική χρήση των επιφανειακών και υπογείων υδάτων για την άρδευση και τη βιομηχανία.

Πίνακας 2-10. Μεταβολή της υδάτινης επιφάνειας των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης κατά την περίοδο 1945-2015.

Ημερομηνία υποβάθρων και δορυφορικών εικόνων	Υδάτινη επιφάνεια Κορώνειας (Ha)	Υδάτινη επιφάνεια Βόλβης (Ha)	Μεταβολή (%)	
			Κορώνειας	Βόλβης
Ορθοεικόνα LSO25, 2015	2.418,77	6.868,38	-33,46	-2,69
Rapideye, 2011	3.634,97	7.058,30	+30,84	+2,19
Ορθοεικόνα LSO, 2007	2.778,18	6.906,96	-42,84	-7,90
Ορθοεικόνα, 1945	4.859,96	7.499,75		

### 2.3.5 Υγροτοπικές περιοχές

Όπως προαναφέρθηκε οι υγροτοπικές περιοχές εκτείνονται περιμετρικά των δύο λιμνών και συνδέονται μεταξύ τους μέσω των υφιστάμενων υδατορευμάτων και καναλιών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αρχικής καταγραφής των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura2000 και των τύπων οικοτόπων εντός αυτών, οι τύποι οικοτόπων καταλάμβαναν και για τις δύο περιοχές (GR1220001 και GR1220003), συνολική έκταση 17.865,40Ha ενώ σήμερα 28.462,08Ha. Η διαφορά εξηγείται λόγω της αναγνώρισης και οριοθέτησης τύπων οικοτόπων

σε όμορες εκτάσεις, που εντοπίζονται στην ενδιάμεση περιοχή μεταξύ των δύο λιμνών ώστε να καλυφθεί πλήρως η καθορισμένη από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας περιοχή.

Πέραν αυτού, υπάρχει σημαντική ποιοτική διαφορά μεταξύ των δύο καταγραφών, ως προς τον αριθμό και τον τύπους των φυσικών τύπων οικοτόπων, που αναγνωρίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν συγκριτικά στην αρχική και στην υφιστάμενη χαρτογράφηση. Οι φυσικοί τύποι οικοτόπων, αφαιρουμένων των υδάτινων λιμναίων επιφανειών, ανέρχονται σήμερα σε 6.514,61Ha και εκτείνονται σε 549 πολύγωνα ενώ αρχικώς καταγράφηκαν σε 4.502,50Ha και εκτείνονταν σε 384 πολύγωνα. Το ποιοτικό αποτέλεσμα της υφιστάμενης χαρτογράφησης σαφώς υπερέχει έναντι της αρχικής και αυτό συνέβη για τρεις λόγους: α) λόγω της υψηλής ακρίβειας και μεγάλης κλίμακας των ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων (LSO) του ΕΚ που χρησιμοποιήθηκαν το 2015 έναντι των αναλογικών τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:100.000 της αρχικής καταγραφής, β) του μεγάλου αριθμού των δειγματοληψιών (296) που λήφθηκαν το 2015 έναντι των 169 της αρχικής καταγραφής και γ) των υψηλών απαιτήσεων των τεχνικών προδιαγραφών που εφαρμόστηκαν στην υφιστάμενη χαρτογράφηση.

Κατόπιν συγκριτικής ανάλυσης και χωρικής επεξεργασίας των τύπων οικοτόπων της αρχικής καταγραφής της σε σχέση με την κατάστασή τους το 2015, παρατηρούνται μεταβολές τόσο στον χαρακτηρισμό τους όσο και στα γεωγραφικά όρια. Οι μεταβολές αυτές ανέρχονται συνολικά σε 4.143,79Ha (23,98% της αρχικής έκτασης των τύπων οικοτόπων). Ειδικότερα, προκύπτει ότι οι υδάτινες συλλογές (μειώθηκαν κατά 579,32Ha (-5,7%). Στα τμήματα αυτά διαπιστώνεται ότι εισχώρησαν φυσικοί τύποι οικοτόπων, κυρίως καλαμώνες (72A0). Γενικά ο φυσικός αυτός τύπου οικοτόπου έχει αντικαταστήσει τμήματα άλλων τύπων όπως των 92D0 και 6420. Σε μικρότερο βαθμό εισχωρούν λόχμες της Nerio-Tamaricetea (92D0). Συγκριτικά

αποτελέσματα των μεταβολών των τύπων οικοτόπων της αρχικής καταγραφής, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-11.

### **2.3.6 Βοσκήσιμες γαίες-λιβάδια**

Οι βοσκήσιμες γαίες είναι μια ιδιαίτερη κατηγορία χρήσης γης, η οποία δεν έχει ακόμη οριοθετηθεί θεσμικά στον ελλαδικό χώρο. Βοσκήσιμες γαίες καλούνται οι εκτάσεις που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για βόσκηση ζώων (βοσκότοποι) στις οποίες αναπτύσσεται βλάστηση αυτοφυής ή μη, ποώδης, φρυγανική ή ξυλώδης με θαμνώδη ή αραιά δενδρώδη μορφή ή και μικτή και οι οποίες μπορεί να εκτείνονται και σε υδάτινα παραλίμνια ή παραποτάμια οικοσυστήματα, όπου αναπτύσσεται υδροχαρής βλάστηση (ΦΕΚ 164Α, 2015).

Όπως προαναφέρθηκε, στον αναρτημένο Δασικό Χάρτη της περιοχής δεν υφίστανται ουσιαστικά χορτολιβαδικές εκτάσεις, όπου δύναται να λάβει χώρα η βοσκή. Σύμφωνα όμως με τα διαθέσιμα δεδομένα του Συστήματος Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων (LPIS-GIS) του ΟΠΕΚΕΠΕ εντός της περιοχής μελέτης έχουν καταγραφεί 14.332,51 Ha βοσκοτόπων (7,53% της λεκάνης απορροής).

Κατόπιν χωρικής ανάλυσης και επεξεργασίας των ως άνω δεδομένων και σε συνδυασμό με τα δεδομένα των Δασικών Χαρτών και του δικτύου Natura2000, προκύπτει ότι η συγκεκριμένη χρήση κατανέμεται τόσο σε δάση και δασικές εκτάσεις όσο και σε μη δασικού χαρακτήρα εκτάσεις αλλά και εντός της προστατευόμενης περιοχής το 2017 (Πίνακας 2-12).

Πίνακας 2-11. Μεταβολές τύπων οικοτόπων (1999/2000-2015).

Τύπος Οικοτόπου (1999-2000)	Επιφάνεια (Ha)	Μεταβολή (Ha)	Μεταβολή (%)	Κυρίαρχοι νέοι τύποι οικοτόπων μεταβληθέντων εκτάσεων (2015)
9340	1.319,83	970,22	73,51	9320 (27,82%), 5350 (24,64%), 1022 (6,81%)
92D0*72A0	32,05	32,05	100,00	72A0*92D0 (91,94%), 1080 (6,47%)
924A	75,96	75,96	100,00	5350 (28,03%), 5350*9340 (23,03%), 9340 (22,43%), 92C0(15,74%), 9340*91M0(5,34%)
nocode	2,18	2,18	100,00	1057 (32,61%), 1021 (19,41%), 3130 (19,05%) 92D0 (8,71%)
3190	10.008,85	579,32	5,70	72A0*92D0(6,48), 3150(3,22%), 72A0(2,34%)
21B0	71,97	71,97	100,00	6420(46,78%), 72A0(15,94%), 3290 (13,29%), 1080(9,44%), 92D0(6,49%),6420*72A0(4,84%)
3150	9,97	9,97	100,00	1080 (100%)
91E0	5,02	3,14	62,62	92A0 (62,25%)
92D0	209,59	124,15	59,24	72A0 (13,33%), 6420 (9,03%), 1057 (6,85%), 92A0 (6,77%), 1062 (5,51%), 1080 (4,69%), 92C0 (3,11%), 5350 (2,40%)
3290	205,26	62,03	30,22	1057 (7,18%), 6420 (6,11%), 72A0 (5,64%), 92A0 (4,11%)
1050	41,02	27,77	67,70	1057 (38,92%), 62A0 (12,33%), 5350 (3,84%), 1021 (5,18%), 1056 (2,34%)
92A0*72A0*92D0	13,70	13,70	100,00	72A0 (85,21%), 1080 (10,71%)
6420	731,29	432,38	59,13	72A0 (23,90%), 1080 (11,30%), 92D0 (7,68%), 1057 (4,49%), 3150 (3,81%)
1020	2.876,46	847,79	29,47	1062 (8,47%), 6420 (4,17%)
1022	49,16	38,81	78,94	3290 (63,81%), 92C0 (9,38%), 1057 (3,10%)
92A0	116,47	81,94	70,35	6420 (25,29%), 92D0 (11,25%), 72A0 (8,96%), 3290 (6,14%), 1057 (5,10%), 5350 (4,37%), 1020 (3,11%), 1062 (2,57%)
5350	287,82	136,08	47,28	9340*91M0 (14,93%), 9340*5350 (8,85%), 9340 (5,17%), 92D0 (4,09%), 92C0 (2,36%), 91M0*9340 (2,89%)
92C0	192,55	124,24	64,52	6420(20%), 3290(17,51%), 1057(6,28%), 92A0 (3,11%), 1065(4,70%),72A0(3,98%),92D0 (2,54%)
92A0*92C0*91E0	6,22	6,22	100,00	91E0 (87,31%), 1057 (12,69%)
1070	27,24	8,78	32,23	6420 (17,51%), 3290 (5,57%), 92C0 (3,71%), 92D0 (2,48%)
Alluv	77,77	77,77	100,00	72A0 (31,47%), 5350 (28,13%), 1057 (26,95%), 1080 (6,44%), 3290 (3,22%)
32A0	65,37	65,37	100,00	3290 (39,62%), 72A0 (18,83%), 6420 (15,06%), 92C0 (6,69%), 92A0 (6,13%), 3150 (4,47%), 1057 (2,47%), 1080 (2,72%)
6420*72A0	72,35	67,70	93,57	72A0(45,59%), 6420(43,39%), 3150(3,40%)
72A0	663,87	198,73	29,93	1080 (15,83%), 6420 (4,08%), 92D0 (3,14%), 3150 (2,40%), 6420*72A0 (3,36%)
92A0*92D0	51,53	47,53	92,24	6420 (33,17%), 3290 (15,02%), 6420*72A0 (14%), 1062 (10,87%), 92D0 (7,57%), 72A0 (6,36%), 1065 (4,12%)
1031	35,72	11,57	32,38	92D0 (2,42%), 72A0 (5,08%), 1062 (3,63%), 92A0 (15,48%) 92C0 (2,29%)
92D0*6420	26,41	26,41	100,00	1080(28,08%),72A0*6420(24,12%), 6420 (17,86%), 72A0(14,48%), 3150(10,84%), 92D0 (2,51%)
Σύνολο:	17.275,65	4.143,79		

Ειδικότερα και όσον αφορά την προστατευόμενη περιοχή, διαπιστώνεται ότι η βοσκή πραγματοποιείται περισσότερο σε φυσικούς τύπους οικοτόπων παρά σε ανθρωπογενείς και σαφώς σε μεγαλύτερη έκταση στην προστατευόμενη περιοχή GR1220001 (Πίνακας 2-13).

Πίνακας 2-12. Κατανομή βοσκήσιμων γαιών, 2017.

Βοσκήσιμες γαίες	Έκταση (Ha)	Ποσοστό (%)
Εντός δασικών εν γένει εκτάσεων	10.426,91	73,00
Εντός άλλων μορφών κάλυψης γης	3.904,53	27,00
Εντός προστατευόμενης περιοχής	1.118,68	7,80

Επισημαίνεται ότι οι πιέσεις για βοσκή ασκούνται περισσότερο σε βάρος των υγροτοπικών περιοχών περιμετρικά της λίμνης Κορώνειας, δεδομένου ότι οι βοσκήσιμες γαίες στη συγκεκριμένη περιοχή ανέρχονται σε 814,19Ha (72,7% της συνολικής βοσκήσιμης γης εντός της προστατευόμενης περιοχής).

### 2.3.7 Τεχνητές επιφάνειες

Οι υπάρχουσες τεχνητές επιφάνειες περιλαμβάνουν τις ημιαστικές περιοχές (οικισμοί), τις βιομηχανικές περιοχές (χώροι εξόρυξης, απόθεσης απορριμμάτων, μονάδες παραγωγής, και κάθε είδους εγκαταστάσεις) καθώς και τα οδικά δίκτυα της περιοχής μελέτης.

Αναφορικά για τις υπάρχουσες ημιαστικές περιοχές, πέραν των προαναφερθέντων ενεργών οικισμών, στην λεκάνη απορροής εντοπίζονται τμήματα οικιστικών περιοχών των οικισμών Λαχανά με έκταση 138.399,83τ.μ. και Φιλύρου με έκταση 384.889,33τ.μ. που βρίσκονται στα άκρα της υδρολογικής λεκάνης αλλά εντός αυτής. Από τα συλλεχθέντα στοιχεία κυρίως μέσω των αρμόδιων υπηρεσιών δόμησης, όπως έχουν αποτυπωθεί κατά τη διαδικασία κατάρτισης των Δασικών Χαρτών, διαπιστώνεται ότι όλες οι περιοχές των θεσμοθετημένων οικισμών βρίσκονται εντός εγκεκριμένων σχεδίων πόλεων και οικισμών.

Πίνακας 2-13. Βοσκόμενοι τύποι οικοτόπων ανά προστατευόμενη περιοχή.

Κωδικός Περιοχής	Κωδικός Τύπου Οικοτόπου	Ονομασία Τύπου Οικοτόπου	Έκταση (Ha)
GR1220001	3150	Ευτροφικές φυσικές λίμνες με βλάστηση τύπου Magnopotamion ή Hydrocharition	0,22
GR1220001	3290	Ποταμοί της Μεσογείου με περιοδική ροή από Paspalo-Agrostidion	72,88
GR1220001	5350	Ψευδομακκί	11,44
GR1220001	6420	Υγροί μεσογειακοί λειμώνες με υψηλές πόες της Molinio – Holoschoenion	366,43
GR1220001	6420*72A0	Υγροί μεσογειακοί λειμώνες με υψηλές πόες της Molinio – Holoschoenion και Καλαμώνες	36,11
GR1220001	9320	Δάση με Olea και Ceratonia	1,44
GR1220001	62A0	Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλοώδεις διαπλάσεις (Scorzonetalia villosae)	4,19
GR1220001	72A0	Καλαμώνες	72,95
GR1220001	91F0	Μεικτά δάση με Quercus robur, Ulmus laevis, Ulmus minor, Fraxinus excelsior ή Fraxinus angustifolia κατά μήκος μεγάλων ποταμών (Ulmion minoris)	0,22
GR1220001	92A0	Δάση-στοές με Salix alba και Populus alba	19,01
GR1220001	92A0*92D0	Δάση-στοές με Salix alba και Populus alba και Νότια παρόχθια δάση-στοές και λόχμες (Nerio - Tamaricetea και Securinegion tinctoriae)	6,57
GR1220001	92C0*92D0	Δάση Platanus orientalis και Liquidambar orientalis (Platanion orientalis) και Νότια παρόχθια δάση-στοές και λόχμες (Nerio - Tamaricetea και Securinegion tinctoriae)	11,36
GR1220001	92C0	Δάση Platanus orientalis και Liquidambar orientalis (Platanion orientalis)	2,14
GR1220001	92D0	Νότια παρόχθια δάση-στοές και λόχμες (Nerio - Tamaricetea και Securinegion tinctoriae)	68,81
GR1220001	92D0*6420	Νότια παρόχθια δάση-στοές και λόχμες (Nerio - Tamaricetea και Securinegion tinctoriae) και Υγροί μεσογειακοί λειμώνες με υψηλές πόες της Molinio – Holoschoenion	5,92
Σύνολο Φυσικών Τύπων Οικοτόπων GR1220001			679,68
Σύνολο Ανθρωπογενών Τύπων Οικοτόπων GR1220001			432,02
GR1220003	9340*5350	Δάση με Quercus ilex και Quercus rotundifolia και Ψευδομακκί	0,01
GR1220003	5350	Ψευδομακκί	0,92
GR1220003	92C0	Δάση Platanus orientalis και Liquidambar orientalis (Platanion orientalis)	4,01
GR1220003	5350*9340	Ψευδομακκί και Δάση με Quercus ilex και Quercus rotundifolia	0,96
GR1220003	91M0	Δάση δρυός με Quercus cerris και Quercus petraea	0,02
Σύνολο Φυσικών Τύπων Οικοτόπων GR1220003			5,93
Σύνολο Ανθρωπογενών Τύπων Οικοτόπων GR1220003			1,08

Επιπλέον των θεσμοθετημένων οικισμών, υπάρχουν περιοχές που έχουν ενταχθεί στις εντός σχεδίου περιοχές και εντοπίζονται στην Τοπική Κοινότητα Κολχικού με επιφάνεια



327.318,92τ.μ., η οποία είναι αδόμητη και στην Τοπική Κοινότητα Πλατανοχωρίου με επιφάνεια 96.792,93τ.μ., η οποία δεν είναι περιοχή κατοικίας.

Ως προς τις βιομηχανικές περιοχές, εντοπίζονται διάφορες διάσπαρτες εγκαταστάσεις και μονάδες παραγωγής. Σύμφωνα με το εγκεκριμένο Σχέδιο Διαχείρισης του Εθνικού Πάρκου των Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης και των Μακεδονικών Τεμπών, στην περιοχή ευθύνης του Φορέα Διαχείρισης υπήρχαν 408 βιομηχανικές εγκαταστάσεις, το 2009. Όσον αφορά σε κτηνοτροφικές και πτηνοτροφικές μονάδες, στην ίδια περιοχή, υπήρχαν 132 καταγεγραμμένες κτηνοτροφικές και πτηνοτροφικές μονάδες το 2009. Οι χώροι εξορύξεως υλικών και απόθεσης αποβλήτων ανέρχονται μόλις σε δύο.

Όσον αφορά στο οδικό δίκτυο, οι κυριότεροι οδικοί άξονες της περιοχής μελέτης είναι η Εγνατία οδός, η οποία διατρέχει την λεκάνη απορροής στην κατεύθυνση Δερβένι-Στενά Ρεντίνας, βορείως των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης, η εθνική οδός Θεσ/νίκης – Καβάλας – Αλεξανδρούπολης, η οποία διέρχεται νοτίως των λιμνών και η εθνική οδός Θεσ/νίκης – Σερρών, η οποία συνδέει τη Θεσ/νίκη με την πόλη των Σερρών και συνεχίζει μέχρι τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Το οδικό δίκτυο συμπληρώνεται από μία σειρά επαρχιακών, κοινοτικών και αγροτικών δρόμων.

## **2.4 Διοίκηση και Διαχείριση Γης**

### **2.4.1 Νομικό καθεστώς**

Από τη διερεύνηση του νομικού καθεστώτος στο σύνολο της λεκάνης απορροής, προκύπτουν δύο περιοχές με διαφορετικό θεσμικό πλαίσιο. Η πρώτη αφορά τη διοίκηση, διαχείριση και προστασία των τριών (3) προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura2000 και η δεύτερη, την υπόλοιπη περιοχή της λεκάνης απορροής.

Σύμφωνα με το εγκεκριμένο Σχέδιο Διαχείρισης του Εθνικού Πάρκου των Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης και των Μακεδονικών Τεμπών, το μεγαλύτερο μέρος της υδρολογικής λεκάνης, ήτοι 160.628,72Ha υπάγεται στην αρμοδιότητα του Φορέα Διαχείρισης. Ειδικότερα, στην περιοχή ευθύνης του Φορέα Διαχείρισης περιλαμβάνονται η περιοχή του Εθνικού Πάρκου Υγροτόπων των λιμνών Βόλβης - Κορώνειας και Μακεδονικών Τεμπών (Ζώνη Α), συμπεριλαμβανομένων των Περιοχών Απόλυτης Προστασίας (Ζώνη Α1 –Δάσος Απολλωνίας και Πυρήνες Απόλυτης Προστασίας) και της Περιοχής Προστασίας της Φύσης (Ζώνη Α2 – Μακεδονικά Τέμπη) και οι Περιφερειακές Ζώνες Προστασίας του Εθνικού Πάρκου (Περιφερειακή Ζώνη Β' και Περιφερειακή Ζώνη Γ') (ΦΕΚ 3159Β, 2012).

Σε διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο, το καθεστώς προστασίας της προστατευόμενης περιοχής έχει χαρακτηριστεί ως:

α) Υγρότοπος διεθνούς σημασίας σύμφωνα με τη σύμβαση Ramsar, με την ονομασία «Λίμνες Κορώνεια - Βόλβη» και κωδικό 3GR005. Η σύμβαση Ramsar κυρώθηκε με το νομοθετικό διάταγμα 191/1974 (ΦΕΚ 350Α/20.11.1974) και τις τροποποιήσεις αυτού (ν. 1751/1988 (ΦΕΚ 26Α/9.2.1988) και ν. 1950/1991 (ΦΕΚ 84Α/31.5.1991)),

β) Ζώνη Ειδικής Προστασίας (Special Protected Area) σε εφαρμογή της Οδηγίας 79/409/ΕΟΚ, με κωδικό GR1220009 «Λίμνες Βόλβη και Λαγκαδά και Στενά Ρεντίνας»,

γ) Τόπος Κοινοτικής Σημασίας (Site of Community Importance – SCI, Δίκτυο NATURA 2000) σε εφαρμογή της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ με κωδικό GR1220001 «Λίμνες Βόλβη και Λαγκαδά - Ευρύτερη περιοχή»,

δ) Τόπος Κοινοτικής Σημασίας (Site of Community Importance – SCI, Δίκτυο NATURA 2000) σε εφαρμογή της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ με κωδικό GR1220003 «Στενά Ρεντίνας - Ευρύτερη περιοχή, και

δ) Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων των λιμνών Κορώνειας-Βόλβης και των Μακεδονικών Τεμπών (ΚΥΑ 6919/2004, ΦΕΚ 248/5.3.2004 και η τροποποιητική αυτής ΚΥΑ 39542/2008, ΦΕΚ 441/9.10.2008). Σύμφωνα με την συγκεκριμένη ΚΥΑ οι λιμναίες, χερσαίες και υδάτινες περιοχές του υγροτοπικού συστήματος των λιμνών Βόλβης – Κορώνειας και των Μακεδονικών Τεμπών χαρακτηρίζονται ως «Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων των λιμνών Βόλβης – Κορώνειας και των Μακεδονικών Τεμπών» και καθορίζονται ζώνες προστασίας και επιτρεπόμενες χρήσεις και δραστηριότητες καθώς και οι περιορισμοί δόμησης. Σκοπός της ΚΥΑ είναι «η προστασία, διατήρηση και διαχείριση της φύσης και του τοπίου, ως φυσικής κληρονομιάς και πολύτιμου εθνικού φυσικού πόρου στις λιμναίες, χερσαίες και υδάτινες περιοχές του υγροτοπικού συστήματος των λιμνών Βόλβης – Κορώνειας και Μακεδονικών Τεμπών, που διακρίνονται για τη μεγάλη βιολογική, οικολογική, αισθητική, επιστημονική, γεωμορφολογική και παιδαγωγική τους αξία».

Όσον αφορά στο καθεστώς διοίκησης και διαχείρισης της υπόλοιπης περιοχής ισχύει το Εθνικό θεσμικό πλαίσιο, όπου περιλαμβάνονται οι νόμοι του ελληνικού δικαίου που αφορούν το περιβάλλον και προφανώς ισχύουν για το σύνολο της λεκάνης απορροής. Οι κυριότεροι από τους νόμους αυτούς είναι:

α) Ν. 1335/83. «Κύρωση της Διεθνούς Σύμβασης της Βέρνης για τη διατήρηση της άγριας ζωής και του φυσικού περιβάλλοντος της Ευρώπης»,

β) Ν. 2055/92. «Σύμβαση CITES. Κύρωση σύμβασης διεθνούς εμπορίας ειδών της άγριας πανίδας και χλωρίδας που κινδυνεύουν να εξαφανισθούν με τα Παραρτήματα Ι και ΙΙ αυτής» (ΦΕΚ 105Α),

γ) Ν. 2204/94. "Κύρωση Σύμβασης για τη βιολογική ποικιλότητα» (ΦΕΚ 59Α/15.4.1994),

δ) Ν. 3199/2003. «Προστασία και διαχείριση των υδάτων – Εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000» (ΦΕΚ 280Α/9.12.2003),

ε) ΠΔ 51/2007. «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/EK» (ΦΕΚ 54Α/8.3.2007),

στ) Ν. 998/1979. «Περί της προστασίας των δασών και των δασικών εν γένει εκτάσεων της χώρας» όπως ισχύει, (ΦΕΚ 289Α),

ζ) Ν. 3937/2011. «Διατήρηση της βιοποικιλότητας και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 60Α/31.03.2011),

η) Ν. 4061/2012. «Διαχείριση και προστασία ακινήτων Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων» (ΦΕΚ 66Α/22.03.2012),

θ) Ν. 3889/2010. «Χρηματοδότηση Περιβαλλοντικών Παρεμβάσεων, Πράσινο Ταμείο, Κύρωση Δασικών Χαρτών και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 182Α/14.10.2010), και

ι) ΠΔ 46Α/2016. «Ορισμός επιστημονικών κριτηρίων και συνεκτιμώμενων στοιχείων για την υπαγωγή εκτάσεων στις περιπτώσεις των παραγράφων 1, 2 και 5 του άρθρου 3 του Ν. 998/1979».

Από την εφαρμογή τόσο του Εθνικού θεσμικού πλαισίου όσο και του ευρωπαϊκού και των αντίστοιχων πολιτικών και στρατηγικής προκύπτουν δεσμεύσεις που συνοπτικά αφορούν και μεταξύ άλλων την προστασία και διαχείριση της βιοποικιλότητας και των φυσικών οικοσυστημάτων, την αειφορική διαχείριση των φυσικών πόρων, τη διαχείριση των αποβλήτων, την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, και τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

#### 2.4.2 Ιδιοκτησιακό καθεστώς

Το ιδιοκτησιακό καθεστώς της περιοχής μελέτης, δεν είναι δυνατόν να αποτυπωθεί με ακρίβεια, καθώς το κτηματολόγιο δεν έχει ολοκληρωθεί πάρα μόνο για δύο τοπικές κοινότητες της Ανάληψης και του Μοδίου, οι οποίες έχουν κτηματογραφηθεί στο πλαίσιο του Εθνικού Κτηματολογίου και στις οποίες λειτουργεί κτηματολόγιο (ν. 2308/1998, όπως ισχύει).

Εκτίμηση όμως της ιδιοκτησιακής κατάστασης των εκτάσεων δύναται να αντληθεί από τα κτηματολογικά διαγράμματα των υφιστάμενων διανομών, από στοιχεία των μελετών Δασικών Χαρτών όπως συλλέχθηκαν από τις οικείες Υπηρεσίες Δόμησης και αναδασμών και από υφιστάμενες μελέτες διαχείρισης δασών, σύμφωνα με τα οποία εντός της λεκάνης απορροής διακρίνονται τρεις (3) μεγάλες κατηγορίες ιδιοκτησίας: α) δημόσιες εκτάσεις, β) δημοτικές (κοινοτικές) εκτάσεις, και γ) ιδιωτικές εκτάσεις και οποίες εξειδικεύονται ως ακολούθως:

Οι δημόσιες εκτάσεις περιλαμβάνουν τα δημόσια δάση και εκτάσεις δασικού/ χορτολιβαδικού χαρακτήρα είτε το 1945 είτε σήμερα.

Οι δημοτικές (κοινοτικές) εκτάσεις περιλαμβάνουν κοινοτικά δάση, πάρκα και χώρους πρασίνου εντός εγκεκριμένων σχεδίων πόλεων και οικισμών και δημοτικά ακίνητα εντός και εκτός σχεδίων πόλεων και οικισμών

Οι ιδιωτικές εκτάσεις περιλαμβάνουν ιδιωτικά δάση και γήπεδα εντός και εκτός σχεδίου πόλεων και οικισμών (οικόπεδα και αγροτεμάχια) που προέρχονται είτε από μεταβιβάσεις ιδιόκτητων ακινήτων είτε από διανομές γαιών του Δημοσίου με τίτλο ιδιοκτησίας που έλαβαν οι δικαιοπάροχοί τους από τις πρώην Διευθύνσεις Γεωργίας.

Ειδικότερα, και όσον αφορά το ιδιοκτησιακό καθεστώς των δασών και εν γένει δασικών εκτάσεων, ισχύει το μαχητό τεκμήριο υπέρ του Δημοσίου. Αυτό σημαίνει ότι για το σύνολο σχεδόν των εκτάσεων δασικού χαρακτήρα, όπως έχουν αποτυπωθεί στον αναρτημένο Δασικό Χάρτη και εφόσον δεν αρθεί ο χαρακτήρας τους λόγω υποβολής αντιρρήσεων και αποφάσεων

των αντίστοιχων επιτροπών εξέτασής τους, το Δημόσιο θα προβάλλει εμπράγματα δικαιώματα επί των ως άνω εκτάσεων, ως μέρος της ακίνητης περιουσίας του, στο πλαίσιο της κτηματογράφησης.

Πέραν αυτού και κατόπιν έρευνας στις δασικές υπηρεσίες, διαπιστώθηκε ότι εντός της περιοχής μελέτης περιλαμβάνονται 40 δασικά συμπλέγματα είτε στο σύνολό τους είτε τμήματα αυτών, και συγκεκριμένα (Πίνακας 2-14): 11 δημόσια, 10 δημοτικά (κοινοτικά) και 5 ιδιωτικά δάση στην Π.Ε. Θεσσαλονίκης και 6 δημόσια, 5 δημοτικά (κοινοτικά) και 3 ιδιωτικά δάση στην Π.Ε. Χαλκιδικής (Γενική Δ/ση Δασών Αποκεντρωμένης Διοίκησης Μακεδονίας-Θράκης, προσωπική επικοινωνία, 2017).

Πίνακας 2-14. Στοιχεία ιδιοκτησιακού καθεστώτος δασικών συμπλεγμάτων περιοχής έρευνας.

α/α	Δάσος	Δασαρχείο	Έκταση (Ha)	Ιδιοκτησία
1	Δ.Δ. Ασβεστοχωρίου	Θεσ/νίκης	99,21	Δημόσιο
2	Κισσός	Θεσ/νίκης	184,59	Δημόσιο
3	Δ.Δ. Λειβαδίου	Θεσ/νίκης	44,72	Δημόσιο
4	Δ.Δ. Αδάμ	Λαγκαδά	641,59	Δημόσιο
5	Καστανεώνες Αδραμερίου	Λαγκαδά	1.548,64	Ιδιωτικό
6	Κοινοτικό δάσος Ασκού	Λαγκαδά	3.989,37	Δημοτικό
7	Κοινοτικό δάσος Γερακαρούς	Λαγκαδά	644,83	Δημοτικό
8	Δ.Δ. Ζαγκλιβερίου	Λαγκαδά	1.088,36	Δημόσιο
9	Κοινοτικό δάσος Ζαγκλιβερίου	Λαγκαδά	1.812,42	Δημοτικό
10	Κοινοτικό δάσος Κολχικού	Λαγκαδά	1.247,08	Δημοτικό
11	Κοινοτικό δάσος Λαγυνών	Λαγκαδά	509,39	Δημοτικό
12	Αναδασώσεις λεκάνης αορροής χειμάρρου Μπογδάνα	Λαγκαδά	2.159,14	Δημόσιο
13	Κοινοτικό δάσος Νυμφόπετρας	Λαγκαδά	1.629,57	Δημοτικό
14	Κοινοτικό δάσος Περιστερών	Λαγκαδά	3.776,70	Δημοτικό
15	Κοινοτικό δάσος Πετροκέρασων	Λαγκαδά	213,41	Δημοτικό

α/α	Δάσος	Δασαρχείο	Έκταση (Ha)	Ιδιοκτησία
16	Δ.Δ. Πετροκέρασων	Λαγκαδά	1.159,71	Δημόσιο
17	Δ.Δ. Σοχού	Λαγκαδά	3.215,30	Δημόσιο
18	Προστατευτικό Δασύλλιο Σοχού	Λαγκαδά	103,98	Δημοτικό
19	Δ.Δ. Βρασνών άνω Σταυρού	Σταυρού	1.308,27	Δημόσιο
20	Εκτός διαχείρισης Τμήμα Δ.Δ. Βρασνών	Σταυρού	114,58	Δημόσιο
21	Ελαιών Βόλβης	Σταυρού	415,76	Ιδιωτικό
22	Κοινοτικό δάσος Μαδύτου	Σταυρού	1.030,48	Δημοτικό
23	Γ.Π.Σ.Ν. Μαδύτου	Σταυρού	491,96	Ιδιωτικό
24	Ιδιωτικό δάσος Μοδίου	Σταυρού	825,92	Ιδιωτικό
25	Ιδιωτικό δάσος Σταυρού	Σταυρού	75,79	Ιδιωτικό
26	Δ.Δ. Στεφανινών-Ασπροβάλτας-Αρέθουσας	Σταυρού	703,62	Δημόσιο
27	Δ.Δ. Αρναίας	Αρναίας	1.578,57	Δημόσιο
28	Δ.Δ. Βαρβάρας	Αρναίας	3.669,27	Δημόσιο
29	Κοινοτικό δάσος Βαρβάρας	Αρναίας	1.515,18	Δημοτικό
30	Καστανενώνες Βαρβάρας	Αρναίας	198,98	Ιδιωτικό
31	Ιδιωτικό δάσος Γκάκα	Αρναίας	8,49	Ιδιωτικό
32	Ιδιωτικό δάσος Δρεβενίκου	Αρναίας	393,61	Ιδιωτικό
33	Δ.Δ. Νεοχωρίου	Αρναίας	134,72	Δημόσιο
34	Δ.Δ. Σταγείρων	Αρναίας	1,92	Δημόσιο
35	Δ.Δ. Στανού	Αρναίας	2.563,30	Δημόσιο
36	Κοινοτικό δάσος Στανού	Αρναίας	996,04	Δημοτικό
37	Δ.Δ. Γεροπλατάνου-Ριζών-Παλαιοχώρας	Πολυγύρου	1.444,84	Δημόσιο
38	Κοινοτικό δάσος Δουμπίου	Πολυγύρου	511,09	Δημοτικό
39	Κοινοτικό δάσος Παλαιοχώρας	Πολυγύρου	246,60	Δημοτικό
40	Κοινοτικό δάσος Σανών	Πολυγύρου	491,46	Δημοτικό
Σύνολο:			42.788,46	

### 2.4.3 Διαχείριση Δασών

Από τα στοιχεία για τη διαχείριση των δασών της λεκάνης απορροής, διαπιστώνεται ότι μόνο 23 δάση διαχειρίζονται βάσει διαχειριστικής μελέτης ενώ τα υπόλοιπα δεν διαχειρίζονται (Πίνακας 2-15).

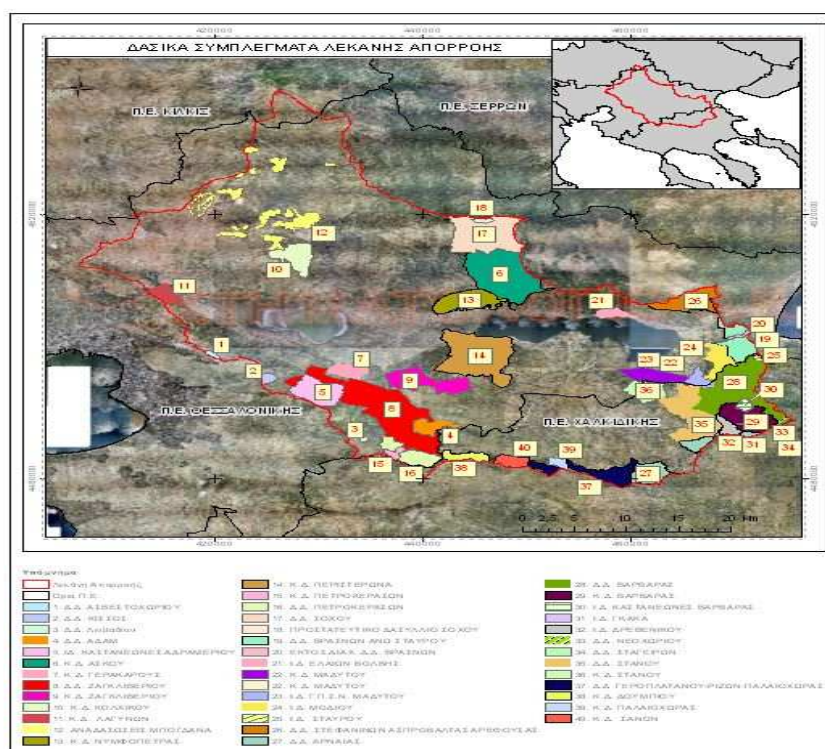
Πίνακας 2-15. Κατάσταση διαχειριζόμενων δασών περιοχής μελέτης.

α/α	Ονομασία Δάσους	Δασικές εν γένει εκτάσεις (Ha)	Διαχείριση
1	Δ.Δ. Ασβεστοχωρίου	79,02	NAI
2	Κισσός	172,32	NAI
3	Δ.Δ. Λειβαδίου	32,98	NAI
4	Δ.Δ. Αδάμ	545,48	NAI
5	Καστανεώνες Αδραμερίου	1.024,35	OXI
6	Κοινοτικό δάσος Ασκού	2.393,68	OXI
7	Κοινοτικό δάσος Γερακαρούς	422,16	OXI
8	Δ.Δ. Ζαγκλιβερίου	1.608,47	NAI
9	Κοινοτικό δάσος Ζαγκλιβερίου	1.449,56	OXI
10	Κοινοτικό δάσος Κολχικού	1.178,28	OXI
11	Κοινοτικό δάσος Λαγυνών	320,77	OXI
12	Αναδασώσεις λεκάνης απορροής χειμάρρου Μπογδάνα	1.825,32	NAI
13	Κοινοτικό δάσος Νυμφόπετρας	1.329,36	OXI
14	Κοινοτικό δάσος Περιστερώνα	220,99	OXI
15	Κοινοτικό δάσος Πετροκέρασων	185,83	NAI
16	Δ.Δ. Πετροκέρασων	921,36	NAI
17	Δ.Δ. Σοχού	1.374,10	NAI
18	Προστατευτικό Δασύλλιο Σοχού	90,93	NAI
19	Δ.Δ. Βρασνών άνω Σταυρού	1.298,93	NAI
20	Εκτός διαχείρισης Τμήμα Δ.Δ. Βρασνών	58,48	OXI
21	Ελαιών Βόλβης	317,09	NAI
22	Κοινοτικό δάσος Μαδύτου	959,88	OXI
23	Γ.Π.Σ.Ν. Μαδύτου	463,63	NAI
24	Ιδιωτικό δάσος Μοδίου	781,52	NAI
25	Ιδιωτικό δάσος Σταυρού	75,79	NAI
26	Δ.Δ. Στεφανινών-Ασπροβάλτας-Αρέθουσας	718,07	NAI
27	Δ.Δ. Αρναίας	1.491,50	NAI
28	Δ.Δ. Βαρβάρας	3.469,05	NAI
29	Κοινοτικό δάσος Βαρβάρας	1.462,72	OXI
30	Καστανεώνες Βαρβάρας	124,38	OXI
31	Ιδιωτικό δάσος Γκάκα	8,48	OXI
32	Ιδιωτικό δάσος Δρεβενίκου	377,75	OXI
33	Δ.Δ. Νεοχωρίου	134,03	NAI



α/α	Ονομασία Δάσους	Δασικές εν γένει εκτάσεις (Ha)	Διαχείριση
34	Δ.Δ. Σταγείρων	1,92	NAI
35	Δ.Δ. Στανού	2.145,87	NAI
36	Κοινοτικό δάσος Στανού	735,55	OXI
37	Δ.Δ. Γεροπλατάνου-ΡΙζών-Παλαιochώρας	1.219,27	NAI
38	Κοινοτικό δάσος Δουμπίου	441,95	NAI
39	Κοινοτικό δάσος Παλαιochώρας	187,6	OXI
40	Κοινοτικό δάσος Σανών	267,9	OXI
Σύνολο:		31.916,32	

Από το σύνολο των εκτάσεων δασικού χαρακτήρα (94.962,24 Ha), σύμφωνα με τον Δασικό Χάρτη, προκύπτει ότι συντριπτικά το μεγαλύτερο μέρος των εκτάσεων δασικού χαρακτήρα της λεκάνης απορροής βρίσκεται εκτός διαχείρισης. Η έκταση αυτών ανέρχεται σε 75.567,81Ha (δηλ. το 79,58% του συνόλου των δασικών εν γένει εκτάσεων). Η γεωγραφική κατανομή των ως άνω δασών εντός της λεκάνης απορροής παρουσιάζεται στην Εικόνα 2-14.



Εικόνα 2-14. Χάρτης δασικών συμπλεγμάτων λεκάνης απορροής.

#### **2.4.4 Διοίκηση και διαχείριση προστατευόμενης περιοχής**

Για τη διοίκηση και διαχείριση των προστατευόμενων περιοχών της Κορώνειας, της Βόλβης, των στενών Ρεντίνας και της Χαλκιδικής, των στοιχείων και συνόλων της φύσης και του τοπίου των άρθρων 18, 19 και 21 του Ν. 1650/1986 (ΦΕΚ 160Α), αρμόδιος φορέας, σύμφωνα με το άρθρο 2 του Ν. 4519 (ΦΕΚ 25Α/20.02.2018), είναι το ΝΠΙΔ με την επωνυμία «Φορέας Διαχείρισης Λιμών Κορώνειας – Βόλβης», που έχει συσταθεί με την περίπτωση 6 της παρ. 10 του άρθρου 15 του Ν. 2742/1999, είχε συγχωνευθεί με την περίπτωση γ' της παρ. 1 του άρθρου 8 του Ν. 4109/2013 και η λειτουργία του παρατάθηκε διαδοχικώς με την παρ. 20 του άρθρου 8 του Ν. 4109/2013 και εν συνεχεία με το άρθρο 36 του Ν. 4342/2015 και το άρθρο 16 του Ν. 4447/2016.

Οι αρμοδιότητες του φορέα καθορίζονται στην παρ. 4 του ως άνω νόμου, μεταξύ των οποίων καθοριστικές για τη διοίκηση και διαχείριση της περιοχής είναι η έκδοση αιτιολογημένων γνωμοδοτήσεων κατά τη διαδικασία α) κατάρτισης των σχεδίων διαχείρισης και στη συνέχεια η εφαρμογή, παρακολούθηση, αξιολόγηση και επικαιροποίηση των σχεδίων διαχείρισης για την αειφορική διαχείριση και προστασία του φυσικού κεφαλαίου του δικτύου Natura 2000 και β) κατά τη διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης των έργων και των δραστηριοτήτων που εμπίπτουν στις προστατευόμενες περιοχές ευθύνης τους ή των έργων και δραστηριοτήτων οι επιπτώσεις των οποίων επηρεάζουν, άμεσα ή έμμεσα, το προστατευτέο αντικείμενο καθώς και ο έλεγχος της εφαρμογής της περιβαλλοντικής νομοθεσίας, της νομοθεσίας για τα δάση, την αλιεία και τη θήρα, καθώς και των περιβαλλοντικών και πολεοδομικών όρων που ισχύουν για έργα ή δραστηριότητες που πραγματοποιούνται στις περιοχές ευθύνης τους.

## 2.5 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα και την ήδη περιγραφείσα επεξεργασία και ανάλυση των στοιχείων, προκειμένου να αποδοθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα για την παρελθούσα και υφιστάμενη κατάσταση της περιοχής, η έρευνα έχει καταλήξει στα ακόλουθα συμπεράσματα:

Η προστατευόμενη περιοχή του δικτύου Natura2000 είναι αντικείμενο διαφόρων μελετών και δράσεων με σκοπό τη διαχείριση και διατήρηση των προστατευταίων αντικειμένων και άλλων σημαντικών χαρακτηριστικών της. Οι κυριότερες ενέργειες που έχουν πραγματοποιηθεί ή είναι σε εξέλιξη από το 1985 και μεταγενέστερα αφορούν την αποκατάσταση και διασφάλιση της φυσικής λειτουργίας του υδροτοπικού συστήματος των δύο λιμνών.

Όσον αφορά όμως στο σύνολο της λεκάνης απορροής υπάρχει έλλειμμα γνώσης, επαρκών στοιχείων και δεδομένων για την συστηματική καταγραφή και παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης αλλά και των φυσικών πόρων.

Ειδικότερα, ενώ τα όρια των δασικού χαρακτήρα εκτάσεων για το σύνολο της λεκάνης απορροής έχουν καταγραφεί και μάλιστα κατά θεσμικό τρόπο, μέσω της διαδικασίας των Δασικών Χαρτών, δεν υπάρχει ολοκληρωμένη καταγραφή του συνόλου των υφιστάμενων δασικών συμπλεγμάτων της λεκάνης απορροής και κατά συνέπεια των φυσικών τους πόρων, πάρα μόνο για μέρος αυτών και μάλιστα επί ιστορικού αναλογικού υποβάθρου με ότι αυτό συνεπάγεται για τον ακριβή προσδιορισμό και παρακολούθησή τους. Επισημαίνεται, ότι ένα μεγάλο μέρος των δασικών οικοσυστημάτων (δρυοδάση, σκληροφυλλικοί θαμνώνες) της περιοχής μελέτης βρίσκεται εκτός διαχείρισης και υποβαθμίζονται συνεχώς ενώ εγείρονται θέματα διάσπασης του ενιαίου χώρου που καταλαμβάνουν λόγω πιέσεων (βόσκηση, συγκοινωνιακά δίκτυα) με άμεσο αντίκτυπο στη φέρουσα βιοποικιλότητα. Τα οικοσυστήματα αυτά εντοπίζονται βόρεια των λιμνών και ως τα άκρα της λεκάνης απορροής αλλά και νότια των λιμνών ως τις παρυφές του Χορτιάτη και του Χολομώντα.

Κατόπιν των ανωτέρω, προκύπτουν επιπλέον ερευνητικά θέματα, τα οποία όμως δεν είναι δυνατόν να απαντηθούν στο σύνολό τους, στα πλαίσια της εκπόνησης αυτής της διατριβής, ως ακολούθως: α) ποια είναι η μεθοδολογία για την αξιοποίηση των Δασικών Χαρτών στην αναγνώριση και καταγραφή των επιμέρους μορφών κάλυψης γης (πλατύφυλλα, κωνοφόρα, θαμνώνες, γυμνό έδαφος, κ.λπ) εντός αυτών από δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα, β) κατά ποιο τρόπο δύναται να αξιοποιηθούν και να ενσωματωθούν οι πληροφορίες των υφιστάμενων μελετών διαχείρισης δασών στην ακριβέστερη οριοθέτηση των δασικών συμπλεγμάτων και στην απογραφή των φυσικών τους πόρων, και γ) ποια η ακρίβεια χαρτογράφησης των εκτάσεων δασικού χαρακτήρα και των τύπων οικοτόπων με βάση πολυφασματικά δεδομένα Landsat/Sentinel-2, συγκριτικά ως προς την πρόσφατη θεσμική τους καταγραφή.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται διαχρονικά τα αποτελέσματα της ανασκόπησης της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με προγράμματα και μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν και εφαρμόστηκαν μέχρι σήμερα για την καταγραφή και την ανίχνευση μεταβολών των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης. Επίσης, περιγράφονται τα δορυφορικά δεδομένα και τα γεωχωρικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα έρευνα. Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αναλύεται σε τέσσερις άξονες, ήτοι:

1<sup>ος</sup> Άξονας: Καταγραφή και παρακολούθηση μορφών κάλυψης/χρήσεων γης,

2<sup>ος</sup> Άξονας: Συστήματα ταξινόμησης,

3<sup>ος</sup> Άξονας: Θεσμικά γεωχωρικά δεδομένα στον Ελληνικό Χώρο, και

4<sup>ος</sup> Άξονας: Ανασκόπηση μεθόδων Ανίχνευσης μεταβολών.

#### **3.1 Καταγραφή και Παρακολούθηση Μορφών Κάλυψης/Χρήσεων Γης**

Η κάλυψη γης δύναται να οριστεί ως η παρατηρούμενη (βιο)φυσική κάλυψη της επιφάνειας της γης, αποτέλεσμα των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα επάνω σ' αυτήν. Αντιπροσωπεύει την κατάσταση της γης, όπως διαμορφώνεται από διάφορους φυσικούς ή ανθρωπογενείς παράγοντες. Από την οπτική γωνία της τηλεπισκόπησης, ο όρος «κάλυψη γης» καθορίζεται από τις κατηγορίες γης (π.χ. βλάστηση, ύδατα, κατασκευές, κ.λπ.) που δύναται να διακριθούν από απόσταση (Anderson et al., 1976). Επειδή η κάλυψη γης μεταβάλλεται στο πέρασμα του χρόνου, είναι σημαντική μεταβλητή για την μελέτη της δυναμικής της επιφάνειας της γης (Di Grigorio et al., 2016).

Διεθνώς, ο όρος «κάλυψη γης» διαφέρει από τον όρο «χρήση γης» αν και μερικές φορές χρησιμοποιούνται λανθασμένα ως ισοδύναμοι ενώ έχουν διαφορετική σημασία. Η διαφορά συνίσταται στο ότι η κάλυψη γης είναι μία διαμορφωμένη κατάσταση μιας συγκεκριμένης

κατηγορίας γης κατόπιν επέμβασης για συγκεκριμένη χρήση (ή καμίας επέμβασης) σε συγκεκριμένο χρόνο (Stomph et al., 1997). Αντίθετα, ο όρος «χρήση γης» παραπέμπει όχι μόνο στον τρόπο που η συγκεκριμένη έκταση γης χρησιμοποιείται αλλά και στη χρησιμότητα ή την οικονομική λειτουργία που έχει για τον άνθρωπο (σκοπός της επέμβασης) (Kosmidou et al., 2014). Οι δύο έννοιες είναι στενά συνδεδεμένες και οι συσχετισμοί μεταξύ τους περίπλοκοι. Για παράδειγμα, μια κατηγορία κάλυψης όπως είναι το δάσος μπορεί να υποστηρίζει διάφορες χρήσεις γης, όπως την ξυλοπαραγωγή, τη βόσκηση, την αναψυχή, κ.λπ. ενώ μια χρήση γης όπως είναι η αγροδασοπονία, μπορεί να περιλαμβάνει διάφορες μορφές κάλυψης όπως λιβάδια, δάση, και γεωργικές καλλιέργειες.

Επιπλέον, από οικολογικής πλευράς, μας ενδιαφέρει όχι μόνο η κατάσταση του τοπίου ή ειδικότερα των οικοσυστημάτων και των φυσικών τους πόρων σε ένα χρονικό σημείο αλλά και οι παράγοντες μεταβολής (driving forces) που επιδρούν και καθορίζουν την εξέλιξή τους στο χρόνο. Θεωρητικά, εάν έχουμε καλύτερη εικόνα για τις διεργασίες που τυγχάνουν, και μπορούν οι διεργασίες αυτές να αναπαρασταθούν μαθηματικά, τότε θα έχουμε βαθύτερη γνώση για τα χαρακτηριστικά του τοπίου και την δυναμική των οικοσυστημάτων.

Οι πληροφορίες γης και οικοσυστημάτων σαφώς προσδιορισμένες στο γεωγραφικό χώρο και τα στατιστικά ποσοτικά στοιχεία αυτών αποτελούν προϋποθέσεις στην ορθή λήψη αποφάσεων διοίκησης και διαχείρισης γαιών και φυσικών πόρων σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο.

Η βάση για την παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης είναι η περιγραφή των μορφών κάλυψης γης και συνθηκών, ο χρόνος μεταξύ των περιόδων παρακολούθησης και οι μέθοδοι για την ανίχνευση ενδεχόμενων μεταβολών. Η ανάπτυξη ή/και συλλογή υφιστάμενων γεωχωρικών δεδομένων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους αποτελούν τη βάση

ανάλυσης για τη διερεύνηση των ενδεχόμενων μεταβολών. Η νέα εποχή της τηλεπισκόπησης, όπως θα δούμε ακολούθως, συνεισφέρει στην απευθείας παρατήρηση των κυρίαρχων μεταβολών σε διαφορετικό χρόνο και χωρική ανάλυση.

### **3.2 Ο Ρόλος της Τηλεπισκόπησης**

Η τηλεπισκόπηση είναι μια αποτελεσματική και οικονομική λύση για τον έγκαιρο εντοπισμό, την αναγνώριση και καταγραφή αλλά και την παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης. Όσο όμως οι παράμετροι προς παρατήρηση και μέτρηση αυξάνονται τόσο αυξάνεται ο χρόνος συλλογής των στοιχείων στο πεδίο και προφανώς το κόστος. Για το λόγο αυτό συνεχώς αναζητούνται τρόποι και τεχνολογικές λύσεις για μεγαλύτερη ταχύτητα και εξοικονόμηση του κόστους προκειμένου η καταγραφή και η παρακολούθησή τους να πραγματοποιηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η δωρεάν διάθεση νέων δεδομένων τηλεπισκόπησης, όπως για παράδειγμα είναι οι Landsat και Sentinel, αποτελεί τη βάση για τεχνολογικές βελτιώσεις και για νέες εφαρμογές. Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης, όχι μόνο συνεισέφεραν στη βελτίωση της ταχύτητας, του χρόνου και της ακρίβειας της καταγραφής και παρακολούθησης αλλά συνέβαλλαν στη σύνταξη θεματικών χαρτών με χωρική ανάλυση και ακρίβεια, που δεν ήταν εφικτή μέχρι και πριν από μερικά χρόνια.

Στο τέλος της δεκαετίας του '90 και μέχρι τις αρχές του 2010, αναπτύχθηκαν διάφορα δεδομένα κάλυψης γης με βάση δορυφορικά δεδομένα χωρικής ανάλυσης μέχρι 1χλμ. σε εθνικό και διεθνές επίπεδο (Gong et. al., 2013· Yang et al., 2016): Από τα πιο σημαντικά προγράμματα για την παρακολούθηση μεγάλων σε έκταση περιοχών ήταν το Διεθνές Πρόγραμμα Γεώσφαιρας-Βιόσφαιρας (International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP) της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Η.Π.Α (USGS)/Πανεπιστήμιο της Νεμπράσκα, με 1χλμ. χωρική ανάλυση (AVHRR), το Σύστημα Παρατήρησης Γης για την παγκόσμια κάλυψη γης της Εθνικής

Αεροναυτικής και Διαστημικής Διοίκησης (National Aeronautics and Space Administration, NASA) των Η.Π.Α με 500μ. χωρική ανάλυση (MODIS), το πρόγραμμα «Global Land Cover 2000» (GLC2000) του Ερευνητικού Κέντρου (JRC) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Bartholomé and Belward, 2007) με 1χλμ. χωρική ανάλυση (SPOT) και το πρόγραμμα «GLOBCOVER 2005» της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας, με 300μ. χωρική ανάλυση (ENVISAT) (Arino et al., 2008).

Στη διάρκεια της εποχής αυτής, ξεκίνησε το εθνικό πρόγραμμα των Η.Π.Α. με την ονομασία «Εθνική Βάση Κάλυψης Γης» (National Land Cover Database, NLCD) με χωρική ανάλυση 30μ. (Vogelmann et al., 2001).

Το 2009, με την απελευθέρωση του αρχειακού υλικού εικόνων Landsat δημιουργήθηκαν νέες συνθήκες στην επιστήμη παρακολούθησης γης, με τη χρήση τηλεπισκόπησης. Πλέον η διαχρονική ανίχνευση των μεταβολών στην επιφάνεια της γης είναι δυνατή και σε επίπεδο 30μ. χωρικής ανάλυσης. Το πρόγραμμα NLCD των Η.Π.Α. όπως και το πρόγραμμα Copernicus GMES της ΕΕ ανασχεδιάζεται για την παροχή μεγαλύτερης ακρίβειας πληροφοριών ενώ παράγονται επιπρόσθετα προϊόντα για τα δάση, τις θαμνώδεις εκτάσεις, τα απογυμνωμένα εδάφη και τις επεμβάσεις στα δάση στις Η.Π.Α.

Ωστόσο, το ενδιαφέρον παραμένει αμείωτο μέχρι σήμερα και η ζήτηση για επικαιροποιημένα δεδομένα κάλυψης γης με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια, αυξάνεται στο δημόσιο και ιδιωτικό τομέα. Είναι επιβεβλημένη η ανάγκη για την παρακολούθηση των φυσικών διαθεσίμων και της κατάστασης της ατμόσφαιρας σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, λόγω του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και της συσχέτισής τους με την προστασία και διαχείριση των φυσικών πόρων και της βιοποικιλότητας, την τροφή, την στέγαση και εν τέλει την επιβίωση της ανθρωπότητας. Το 2015, η Agenda 2030 των Ηνωμένων Εθνών για τη



βιώσιμη ανάπτυξη και η συμπερίληψη σ' αυτήν της ανάγκης δημιουργίας νέων δεδομένων παρατήρησης γης και γεωχωρικών δεδομένων δεν είναι καθόλου τυχαία (τελευταία ενημέρωση 09/09/2019, πηγή: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>).

Σε ανταπόκριση των ως άνω, την τελευταία δεκαετία και από το 2014, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (European Satellite Agency) ανέπτυξε και παρέχει νέα γενιά δορυφορικών δεδομένων με την ονομασία Sentinels, για την κάλυψη των επιχειρησιακών αναγκών του προγράμματος Copernicus. Πλέον, η καταγραφή και η παρακολούθηση της κάλυψης γης είναι δυνατή σε επίπεδο 10μ. χωρικής ανάλυσης. Η διαθεσιμότητα και η ελεύθερη πρόσβαση στα ως άνω δορυφορικά δεδομένα παρατήρησης γης, θα συμβάλλει ριζικά στην ανάπτυξη δεδομένων στο δημόσιο και ιδιωτικό τομέα, τόσο σε επίπεδο ΕΕ όσο και σε παγκόσμιο. Ήδη, στο πλαίσιο του προγράμματος Copernicus της ΕΕ παράγονται επιπρόσθετα γεωχωρικά προϊόντα για τα δάση, τα λιβάδια, τους υγροτόπους, τα ύδατα, τον αστικό ιστό, και τις δομημένες επιφάνειες, σε επίπεδο ΕΕ.

Την τελευταία δεκαετία η αύξηση της υπολογιστικής δύναμης και η ταυτόχρονη μείωση του σχετικού κόστους των ηλεκτρονικών υπολογιστών σε συνδυασμό με δωρεάν και ανοικτού τύπου δορυφορικά δεδομένα διευκόλυναν την χαρτογράφηση κάλυψης γης σε μεγαλύτερες περιοχές ανά τον κόσμο και διεύρυναν τον αριθμό των χρηστών (Wulder et al., 2018).

Επιπλέον, αναπτύχθηκαν υπολογιστικά συστήματα (cloud-based) που επιτρέπουν πλέον την επεξεργασία και ανάπτυξη δεδομένων κάλυψης γης άνευ υψηλών επενδύσεων σε τεχνολογικές υποδομές (Gorelick et al., 2017· Yang et al., 2017a). Επίσης, παρατηρείται μία αύξηση των δεδομένων Sentinel και Landsat σε εθνικά και διεθνή προγράμματα (GCOS 2016· Gong et al., 2013· Hansen et al., 2013· White et al., 2014· Pettorelli et al., 2016).

Οι ανιχνευτές τηλεπισκόπησης είναι είτε παθητικοί είτε ενεργοί. Οι παθητικοί λαμβάνουν τα σήματα που εκπέμπονται από το ίδιο το στόχο ενώ οι ενεργοί εκπέμπουν οι ίδιοι τα σήματα. Παθητικοί ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται σήμερα σε διάφορες εφαρμογές, είναι τα φωτογραφικά και οπτικό-ηλεκτρικά συστήματα εικόνας, όπως είναι οι δορυφορικοί ανιχνευτές και οι από αέρος κάμερες. Το εύρος των δυνατοτήτων τους κυμαίνεται από το μήκος κύματος της ορατής ακτινοβολίας μέχρι αυτό της υπεριώδους ακτινοβολίας και μικροκυμάτων. Ενεργοί ανιχνευτές, όπως είναι τα Ραντάρ (Radar) και τα Λαΐνταρ (Lidar), χρησιμοποιούνται ήδη περισσότερο από μια δεκαετία σε επιλεγμένες εφαρμογές.

Στην καταγραφή και παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, οι ανιχνευτές ανάλογα με την διακριτική τους ικανότητα διακρίνονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες (Παράρτημα Α):

- Χαμηλής διακριτικής ικανότητας ( $> 100\mu$ .): Περιλαμβάνονται οι AVHRR/3 και MODIS. Έχουν μεγάλο πλάτος σάρωσης, από 2.330χλμ. έως 2,900χλμ. Η διακριτική τους ικανότητα είναι χαμηλή καθώς ένα εικονοστοιχείο τους αντιστοιχεί σε επιφάνεια 0,4χλμ.-1,1χλμ. Αυτού του είδους δεδομένα είναι πολύ χρήσιμα για μικρής κλίμακας χαρτογραφήσεις και δημιουργίας παγκόσμιων μοντέλων παρακολούθησης μορφών κάλυψης γης. Δεν ενδείκνυνται για μετρήσεις ακριβείας και για παρακολούθηση της κατάστασης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σε τοπικό επίπεδο.

- Μεσαίας διακριτικής ικανότητας (10μ.-100μ.): Περιλαμβάνονται οι SENTINEL-2, LANDSAT 5, 7 και 8, ASTER και DEIMOS-1 με μέγεθος εικονοστοιχείου 10-90 m. Έχουν πλάτος σάρωσης 60-600χλμ. Έχουν τη δυνατότητα να διακρίνουν τις δασικές από τις μη δασικές εκτάσεις, να διακρίνουν κάποιους τύπους δασών και κατηγορίες πυκνότητάς τους. Αγροτικές περιοχές, δάση, αστικά κέντρα, εθνικό οδικό δίκτυο, αεροδιάδρομοι, μεγάλες λίμνες και ποταμοί

καθώς και το μέγεθος και το σχήμα δασικών τμημάτων (αποψιλωτικές υλοτομίες, φυσική αναγέννηση, καμένων εκτάσεων) αλλά και καλλιεργειών (αρόσιμες, δενδροκαλλιέργειες) μπορούν να προσδιοριστούν χωρικά και ποσοτικά.

- Μεγάλης διακριτικής ικανότητας (1μ.-10μ.): Περιλαμβάνονται οι RapidEye, ORBVIEW-3 και 4, SPOT-6, SPOT-7, Pleiades-1A & 1B και GEOEYE-1 με πλάτος σάρωσης 15,2χλμ. - 77χλμ. και μέγεθος εικονοστοιχείου 1,24μ. - 6μ. Οι συγκεκριμένοι δορυφόροι χρησιμοποιούνται για την διάκριση κατασκευών εντός αστικών περιοχών, καμένων εκτάσεων, τύπων δασών και σταδίων ανάπτυξής τους.

- Πολύ μεγάλης διακριτικής ικανότητας (< 1μ.): Περιλαμβάνονται αεροφωτογραφίες μεγάλης κλίμακας από 1:2.500 έως 1:20.000. Κάθε αεροφωτογραφία καλύπτει επιφάνεια πλάτους 0,57χλμ.-4,6χλμ. Εύκολα διακρίνονται σ' αυτές, οι διάφορες υφιστάμενες μορφές κάλυψης/χρήσεων γης, και προσδιορίζονται με μεγάλη ακρίβεια το μέγεθος, σχήμα και τα όριά τους. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε εξειδικευμένες χαρτογραφήσεις, όπως είναι η κτηματογράφηση, η κατάρτιση δασικών χαρτών, δάση διαφορετικών ειδών, προσβαλλόμενα από ασθένειες είδη, και η αποτύπωση γηπέδων εντός και εκτός σχεδίου.

Σήμερα υπάρχει διεθνές ενδιαφέρον για την παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και φυσικών οικοσυστημάτων με τη χρήση δορυφορικών ανιχνευτών σε παγκόσμιο επίπεδο (Sexton et al., 2013b· Wulder et al., 2018). Στο υποκεφάλαιο αυτό, δίνεται συνοπτική παρουσίαση των δορυφορικών δεδομένων Landsat και Sentinel-2, που χρησιμοποιούνται στην παρούσα έρευνα.

### **3.2.1 Δορυφορικά δεδομένα Landsat**

Ο δορυφόρος Landsat εκτοξεύθηκε το 1972 από την Εθνική Αεροναυτική και Διαστημική Διοίκηση των Η.Π.Α. Έκτοτε είναι ο πιο γνωστός παγκοσμίως δορυφόρος που

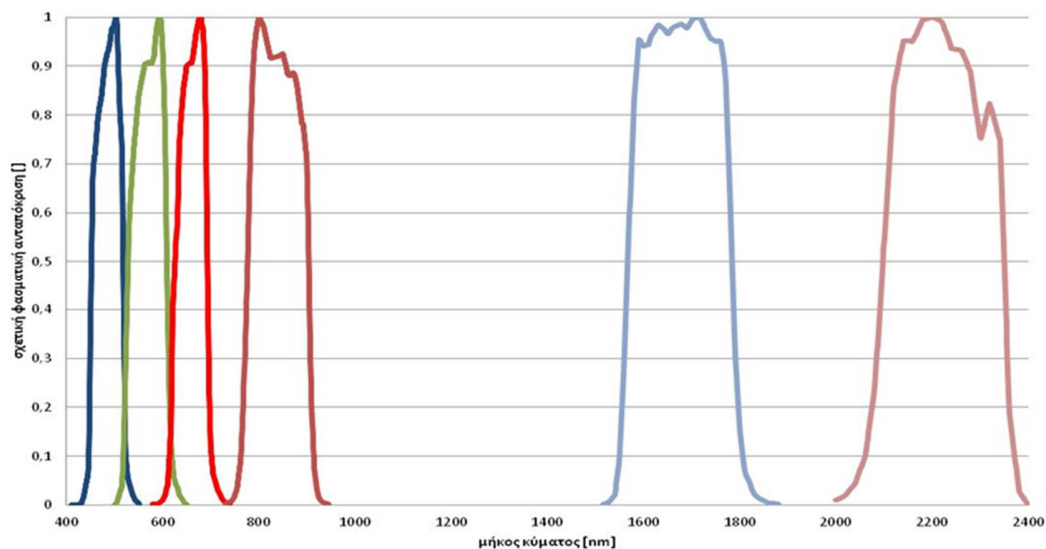
χρησιμοποιήθηκε ποτέ από επιστήμονες τόσο στην ταξινόμηση μορφών κάλυψης/χρήσεων γης όσο και στην καταγραφή και παρακολούθηση φυσικών πόρων (Wulder et al., 2012).

Τα δεδομένα Landsat χρησιμοποιούνται συνεχώς μεταξύ άλλων στη διαχείριση γεωργίας, στην εκτίμηση της αγροτικής παραγωγής και ασφάλειας, στην ανίχνευση μεταβολών μορφών κάλυψης γης/χρήσεων γης, στη διαχείριση δασικών και υδάτινων πόρων, στην έρευνα των οικοσυστημάτων και της κλιματικής αλλαγής για την μελέτη των πάγων και του χιονιού, των παράκτιων περιοχών, της γεωλογίας, των εδαφών, των μεταβολών των αστικών περιοχών και μεταφορών. Τα δεδομένα χρησιμοποιούνται σε ερευνητικά προγράμματα από ιδρύματα και πανεπιστήμια παγκοσμίως. Υποστηρίζουν την ανάπτυξη, εφαρμογή, αξιολόγηση και εξειδίκευση πολιτικών σε κλίμακες από τοπικό επίπεδο σε παγκόσμιο (Wulder et al., 2016).

Το πρόγραμμα Landsat ήταν το πρώτο που διέθετε στρατηγική για την λήψη και παροχή δορυφορικών δεδομένων σε παγκόσμιο επίπεδο. Παρέχει πολυφασματικά δεδομένα με χωρική διακριτική ικανότητα 30μ. Περιλαμβάνει μια σειρά από οκτώ (8) δορυφόρους εκ των οποίων οι υπ' αριθμ. 1, 2, 3, 4 και 5 δεν λειτουργούν πλέον. Σε λειτουργία βρίσκονται ο βελτιωμένος θεματικός χαρτογράφος Landsat 7 (ETM+) που εκτοξεύτηκε το 1999 και ο Landsat 8 (Operational Land Imager, OLI) που εκτοξεύτηκε το 2013 και λαμβάνουν δεδομένα μέχρι σήμερα. Λόγω των ως άνω χαρακτηριστικών του, του χαμηλού κόστους του και της αδιάλειπτης παροχής δεδομένων από το 1972, ο Landsat είναι ο μακροβιότερος δορυφόρος στην ιστορία.

Ο θεματικός χαρτογράφος (Landsat 5) που χρησιμοποιείται στην παρούσα έρευνα, ανήκει στην κατηγορία των ηλιο-σύγχρονων δορυφόρων, κινείται σε ύψος 705 χλμ. με κύκλο επανάληψης παρατήρησης από το ίδιο σημείο 16 ημέρες, ενώ το πλάτος σάρωσης είναι 185 χλμ. Διαθέτει 7 διαύλους με τα ακόλουθα μήκη κύματος: 0.45-0.52 μm (μπλε), 0.52-0.60 μm

(πράσινο), 0.63-0.69  $\mu\text{m}$  (κόκκινο), 0.76-0.90  $\mu\text{m}$  (κοντινό υπέρυθρο), 1.55-1.75  $\mu\text{m}$  (μέσο υπέρυθρο), 10.4-12.5  $\mu\text{m}$  (θερμικό υπέρυθρο), και 2.08-2.35  $\mu\text{m}$  (μέσο υπέρυθρο). Η φασματική ανταπόκριση όλων των διαύλων του θεματικού χαρτογράφου παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-1.



Εικόνα 3-1. Landsat TM: Μέση σχετική φασματική ανταπόκριση διαύλων (τελευταία ενημέρωση 09/09/2019, πηγή: <https://landsat.usgs.gov/spectral-characteristics-viewer>).

Τα ίδια χαρακτηριστικά φέρει και ο δορυφορικός ανιχνευτής Landsat 8 OLI. Επιπλέον όμως διαθέτει ένα παγχρωματικό κανάλι (0,50-0,68 $\mu\text{m}$ ) με χωρική διακριτική ικανότητα 15 $\mu$ . και δύο πρόσθετα φασματικά κανάλια: το κανάλι 1 στο υπέρ-μπλε ορατό μήκος κύματος (0,43-0,45 $\mu\text{m}$ ) για την ανίχνευση παράκτιων αερολυμάτων και το κανάλι 9 στο υπέρυθρο μήκος κύματος (1,36-1,38 $\mu\text{m}$ ), για την ανίχνευση των συννεφών παγοκρυστάλλων.

Η φασματική ανάλυση των διαύλων του Landsat 5 TM επιτρέπει την διάκριση και παρακολούθηση μεταξύ των διαφόρων μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και το χαρακτηρισμό της βλάστησης (Hais et al., 2009· Helmer et al., 2010· Lehmann et al., 2013· Hermosilla et al., 2015). Η διακριτική ικανότητα των 30 $\mu$ . που διαθέτει επιτρέπει παρατήρηση ανθρωπογενών

επιδράσεων στην επιφάνεια της γης μέσω της διερεύνησης του σχήματος, μεγέθους και μοτίβου των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης. Μαϊάνδροι ποταμών, λίμνες, οικισμοί, αεροδρόμια, γεωργικές καλλιέργειες διαφόρων μοτίβων είναι δυνατόν να ανιχνευθούν (Chen et al., 2015· De Wit and Clevers, 2004· Martínez-Casasnovas et al., 2005· Olmanson et al., 2008). Επιπλέον, ο θεματικός χαρτογράφος έχει χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση αστικών περιοχών (Masek et al., 2000· Zhang et al., 2002· Zha et al., 2003).

Ο δορυφορικός ανιχνευτής Landsat 8 OLI έχει χρησιμοποιηθεί αυτοτελώς ή σε συνέργεια με δεδομένα Sentinel-2 MSI στην καταγραφή των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης (Griffiths et al., 2019· Jia et al., 2014) και στην χαρτογράφηση καλλιεργειών (Ouzemou et al., 2018· Sonobe et al., 2019), στην ανάλυση χρονικών σειρών σε συνδυασμό με δεδομένα παλαιότερων ανιχνευτών Landsat (TM και ETM+) για την παρακολούθηση των δασών (Chrysafis et al., 2017· Senf et al., 2017) και την ανίχνευση μεταβολών (Zhu et al., 2020).

### **3.2.2 Το πρόγραμμα NLCD**

Η Εθνική Βάση Κάλυψης Γης (National Land Cover Database, NLCD) των Η.Π.Α. παρέχει δεδομένα κάλυψης γης και των μεταβολών αυτών σε επίπεδο 30μ. χωρικής ανάλυσης του δορυφορικού ανιχνευτή Landsat-5 TM σε εθνική κλίμακα. Το πρόγραμμα NLCD δηλ. παρέχει δεδομένα και πληροφορίες εικόνες (raster) σε επίπεδο ελάχιστης επιφάνειας 900τ.μ. Στην υλοποίηση του προγράμματος συμμετέχουν μια σειρά από ομοσπονδιακοί οργανισμοί των Η.Π.Α. υπό τη μορφή κοινοπραξίας, με την επωνυμία «Multi-Resolution Land Characteristics Consortium, MRLC» (Wickham et al., 2014).

Το πρόγραμμα υλοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1992 και αφορούσε την καταγραφή της κάλυψης γης στο συγκεκριμένο έτος (Vogelmann et al., 2001). Το μέγεθος της μικρότερης μονάδας καταγραφής για ανθρωπογενή χαρακτηριστικά ήταν περίπου 4Ha ενώ για φυσικά 16Ha. Η ενημέρωση της ως άνω βάσης δεδομένων πραγματοποιείται ανά πέντε (5) έτη. Μέχρι

σήμερα, υλοποιήθηκε τέσσερις (4) φορές. Το 2001, παρήχθησαν τρία θεματικά επίπεδα, ήτοι κάλυψη γης, ποσοστό αδιαπερατότητας και ποσοστό δενδροκάλυψης (Homer et al., 2007). Το 2006, παρήχθησαν επίσης τρία θεματικά επίπεδα, ήτοι κάλυψη γης, ποσοστό αδιαπερατότητας και μεταβολή κάλυψης γης από το 2001 μέχρι το 2006. Για πρώτη φορά παράχθηκε ένα χαρτογραφικό προϊόν με πληροφορίες για μεταβολές της κάλυψης γης σε επίπεδο εικονοστοιχείου και σε εθνική κλίμακα (Homer et al., 2007· Fry et al., 2011). Το 2011, υιοθετήθηκε νέα στρατηγική, η οποία αξιοποίησε φασματικούς αλγόριθμους ανίχνευσης μεταβολών για την εξαγωγή πληροφορίας από πολυφασματικά δεδομένα διαφορετικών χρονικών περιόδων. Για κάθε τροχιά και σειρά, χρησιμοποιήθηκαν δηλ. δύο ζεύγη εικόνων Landsat με σκοπό την μείωση σφαλμάτων χρήστη και κατασκευαστή, που προκλήθηκαν από εποχιακές και φαινολογικές αλλαγές. Κατά αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκε ένα ενδιάμεσο προϊόν για τη θέση και το μέγεθος ενδεχόμενων μεταβολών (Jin et al., 2013b). Στην καταγραφή του 2011, παρέχεται και η δυνατότητα για παρακολούθηση γης μεταξύ της καταγραφής των διαφορετικών περιόδων και των τάσεων. Επίσης, εμπεριέχεται και το προϊόν «Κάλυψη κομοστέγης δένδρων» (Tree canopy cover) (Coluston et al., 2012· Coluston et al., 2013).

Η υλοποίηση του προγράμματος του 2016, συνέβαλλε ακόμη περισσότερο στη βελτίωση των υφιστάμενων και στην παραγωγή νέων προϊόντων ανάλυσης μεταβολών γης, από άποψη ποιότητας πληροφορίας, συνέχειας και χρησιμότητας. Από την ερευνητική σκοπιά, προτεραιότητες έχουν δοθεί στις κάτωθι μεθόδους (Yang, 2018): α) ενσωμάτωση πληροφοριών από πολλαπλές πηγές για τον χαρακτηρισμό της κάλυψης γης και την ανίχνευση μεταβολών, β) αξιοποίηση γνώσεων ειδικών και χρήση βοηθητικών δεδομένων για την ανάπτυξη μοντέλων στην παρακολούθηση γης, γ) ιεραρχική προσέγγιση στην ταξινόμηση της κάλυψης γης και

ανάλυση των μεταβολών της, και δ) ενοποίηση μεθόδων ανάπτυξης μοντέλων με βάση το εικονοστοιχείο (pixel-based) και το αντικείμενο (object-based).

Η καταγραφή του 2016 παρέχει επτά (7) ολοκληρωμένες περιόδους κάλυψης γης για τα έτη 2001, 2003, 2006, 2008, 2011, 2013, και 2016. Τα προϊόντα του 2016 ενημερώνουν όλες τις προηγούμενες εκδόσεις κάλυψης γης (NLCD 2001, NLCD 2006, NLCD 2011). Επίσης αναπτύχθηκε ένα νέο προϊόν με την επωνυμία «Δείκτης Αλλαγών Κάλυψης Γης» (Land Cover Change Index), το οποίο παρέχει τη δυνατότητα για θέαση των αλλαγών κάλυψης γης στο σύνολο των ως άνω 7 περιόδων σε ένα ενιαίο επίπεδο πληροφoρίας.

Ως προς την αποτελεσματικότητα των εφαρμοζόμενων μεθόδων, αξιολογήθηκαν είκοσι (20) τροχιές/σειρές εικόνων, στο σύνολο της έκτασης των Η.Π.Α. Η συνολική συμφωνία που επιτεύχθηκε, κυμαίνεται από 71% έως 97% μεταξύ των ταξινομημένων κατηγοριών κάλυψης γης και των δεδομένων αναφοράς για το σύνολο του δείγματος και για όλα τα έτη αναφοράς. Σύμφωνα με την κοινοπραξία MLRC, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την στιβαρότητα της εμπεριστατωμένης διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την επιχειρησιακή χαρτογράφηση του 2016 (<https://www.mrlc.gov/data>, τελευταία ενημέρωση 19/06/2019).

### **3.2.3 Το πρόγραμμα Copernicus GMES**

Το πρόγραμμα «Copernicus GMES» (Global Monitoring for Environment and Security) σχεδιάστηκε για την ανάπτυξη ενός ευρωπαϊκού συστήματος για την επιχειρησιακή διάθεση και χρήση πληροφοριών για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και της ασφάλειας. Στους στόχους του προγράμματος περιλαμβάνεται και η ανάπτυξη υπηρεσιών όπως είναι η διαχείριση κινδύνων (πλημμύρες και δασικές πυρκαγιές, καθιζήσεις και κατολισθήσεις εδαφών, η ανίχνευση μεταβολών μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, η παρακολούθηση των δασών, η ασφάλεια τροφίμων/συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, η διαχείριση υδάτων και η προστασία



εδαφών, η χαρτογράφηση αστικών περιοχών, φυσικών καταστροφών και η υποστήριξη ανθρωπιστικής βοήθειας και ανάπτυξης (Drusch et al., 2012).

Σήμερα, είναι ένα από τα πιο σύγχρονα ολοκληρωμένα προγράμματα παρατήρησης της γης σε παγκόσμιο επίπεδο. Παρέχει τεράστιο όγκο δορυφορικών και μη δεδομένων σε παγκόσμιο επίπεδο, τα οποία όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Επιπλέον παρέχει πληροφορίες προστιθέμενης αξίας στους θεματικούς τομείς της ατμόσφαιρας, της θάλασσας, της γης, της έκτακτης ανάγκης και της ασφάλειας, για την αποτελεσματικότερη διαχείριση του περιβάλλοντος.

Το πρόγραμμα διαχειρίζεται η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η ανάπτυξη και διάθεση των δορυφορικών δεδομένων επιτελείται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος ενώ το τμήμα που αφορά τα υπόλοιπα δεδομένα και υπηρεσίες επιτελείται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος.

Ιδιαίτερη σημασία και ενδιαφέρον παρουσιάζει η υπηρεσία παρακολούθησης γης, η οποία παρέχει αναλυτικές γεωγραφικές πληροφορίες για τις μορφές κάλυψης/χρήσεων γης και τις μεταβολές αυτών σε πανευρωπαϊκό επίπεδο ανά 6-ετία. Πρόκειται για τη συνέχεια του προγράμματος CORINE, το οποίο υλοποιείται σε εθνικό επίπεδο από τις χώρες μέλη της ΕΕ και στη συνέχεια τα παραγόμενα δεδομένα ενσωματώνονται κεντρικά σε πανευρωπαϊκό επίπεδο.

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα εφαρμόζεται στο πλαίσιο της καταγραφής και παρακολούθησης κάλυψης γης στην Ε.Ε. από το 1990. Εφαρμόζεται ανά 6-ετία σε όλες τις χώρες-μέλη της ΕΕ από το 2000, συμπεριλαμβανομένων σταδιακά και άλλων χωρών, όπως των δυτικών Βαλκανίων και της Τουρκίας, συνολικά δηλ. σε 39 χώρες το 2018 (Πίνακας 3-1). Τα ως άνω προγράμματα χρηματοδοτούνται από την Ε.Ε. και υλοποιούνται από καθορισμένους οργανισμούς κάθε χώρας, οι οποίοι ονομάζονται «Θεματικά Κέντρα Αναφοράς».

Ειδικότερα, για την Ελλάδα, το πρόγραμμα υλοποιήθηκε από το φορέα «ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ» για τα έτη αναφοράς 2006, 2012 και 2018. Το 2012, το πρόγραμμα αφορούσε την διόρθωση του χάρτη των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης για το έτος 2000, την καταγραφή των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης κατά τα έτη 2006 και 2012 και των μεταβολών αυτών σε εθνική κλίμακα καθώς και τον έλεγχο και την επιβεβαίωση, ως προς την ορθότητά τους, των εξής πέντε επιπέδων πληροφορίας: δάση, λιβάδια, υγρότοποι, δόμηση και ύδατα. Το 2018, το πρόγραμμα αφορά την διόρθωση του χάρτη των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης για το έτος 2012, την καταγραφή των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης κατά το έτος 2018 και των μεταβολών αυτών από το 2012 καθώς και τον έλεγχο και την επιβεβαίωση, ως προς την ορθότητά τους, των εξής πέντε επιπέδων πληροφορίας: δόμησης, πυκνότητας δασών, διάκρισης πλατύφυλλων/κωνοφόρων, λιβαδιών, υγρασίας και υδάτων. Επιπρόσθετα, επιβεβαιώθηκε και εμπλουτίστηκε με πληροφορίες για τις χρήσεις γης, ο Αστικός Άτλαντας της Ε.Ε. για εννέα (9) πόλεις της Ελλάδας, ήτοι Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Βόλος, Ιωάννινα, Καβάλα, Καλαμάτα, Λάρισα και Ηράκλειο (πηγή: <http://www.ktimatologio.gr/forestmaps/Pages/xrasis-gis.aspx>, τελευταία ενημέρωση 19-06-2019).

#### **3.2.4 Δορυφορικά δεδομένα Sentinel**

Στο πλαίσιο του προγράμματος «Copernicus GMES», περιλαμβάνεται και η ανάπτυξη μιας σειράς δορυφόρων, με την ονομασία «Sentinel», οι οποίοι αναπτύχθηκαν από τον Ευρωπαϊκό Διαστημικό Οργανισμό. Στόχος του προγράμματος είναι η αντικατάσταση των δορυφόρων παλαιότερων αποστολών που έχουν αποσυρθεί, όπως είναι οι ERS-1 και 2, ή βρίσκονται κοντά στο τέλος της επιχειρησιακής τους ικανότητας. Με το συγκεκριμένο πρόγραμμα διασφαλίζεται η συνέχεια λήψης και παροχής δεδομένων. Κάθε αποστολή φέρει διαφορετικά όργανα και επικεντρώνεται σε διαφορετικά πεδία παρατήρησης: ατμόσφαιρας, θάλασσας/ωκεανών και παρακολούθηση γαιών.

Πίνακας 3-1. Εξέλιξη του προγράμματος Corine Land Cover 1990-2018 (Büttner and Kosztra, 2017).

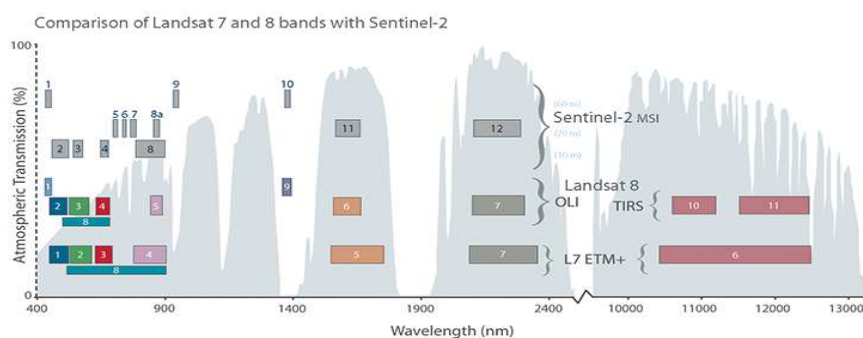
	CLC1990	CLC2000	CLC2006	CLC2012	CLC2018
Δορυφορικές εικόνες	Landsat-4/5 TM μιας περιόδου (σε μερικές περιπτώσεις Landsat MSS)	Landsat-7 ETM μιας περιόδου	SPOT-4 και/ή IRS LISS III δύο περιόδων	IRS, SPOT-4/5 και RapidEye	Sentinel-2 και Landsat-8 για συμπλήρωση κενών
Χρονική περίοδος	1986-1998	2000 +/- 1 έτος	2006 +/- 1 έτος	2011-2012	2017-2018
Γεωμετρική ακρίβεια δορυφορικών εικόνων	≤ 50 μ.	≤ 25 μ.	≤ 25 μ.	≤ 25 μ.	≤ 10 μ. (Sentinel-2)
CLC ελάχιστη χαρτογραφική μονάδα	25 ha	25 ha	25 ha	25 ha	25 ha
CLC ελάχιστο χαρτογραφικό πλάτος	100 μ.	100 μ.	100 μ.	100 μ.	100 μ.
Γεωμετρική ακρίβεια CLC δεδομένων	100 μ.	καλύτερη από 100μ.	καλύτερη από 100 μ.	καλύτερη από 100 μ.	καλύτερη από 100 μ.
Θεματική ακρίβεια	≥ 85% (μάλλον δεν επιτεύχθηκε)	≥ 85% (επιτεύχθηκε)	≥ 85%	≥ 85% (μάλλον επιτεύχθηκε)	≥ 85%
Χαρτογράφηση μεταβολών		ελάχιστη μετατόπιση ορίων 100μ., επιφάνεια μεταβολής σε υφιστάμενα πολύγωνα ≥ 5 ha, μεμονωμένες μεταβολές ≥ 25 ha	ελάχιστη μετατόπιση ορίων 100μ., όλες οι μεταβολές > 5 ha χαρτογραφούνται υποχρεωτικά	ελάχιστη μετατόπιση ορίων 100μ., όλες οι μεταβολές > 5 ha χαρτογραφούνται υποχρεωτικά	ελάχιστη μετατόπιση ορίων 100μ., όλες οι μεταβολές > 5 ha χαρτογραφούνται υποχρεωτικά
Διάρκεια υλοποίησης	13 έτη	5 έτη	4 έτη	3 έτη	1,5 έτη
Τεκμηρίωση	ελλιπή μεταδεδομένα	πρότυπο μεταδεδομένων	πρότυπο μεταδεδομένων	πρότυπο μεταδεδομένων	πρότυπο μεταδεδομένων
Πρόσβαση σε δεδομένα	πολιτική διάθεσης δεδομένων ασαφής	πολιτική διάθεσης δεδομένων συμφωνημένη από την έναρξη	ελεύθερη πρόσβαση σε κάθε χρήστη	ελεύθερη πρόσβαση σε κάθε χρήστη	ελεύθερη πρόσβαση σε κάθε χρήστη
Αριθμός ευρωπαϊκών χωρών	22 (28)	32 (39)	38 (39)	39	39

Υπάρχουν πέντε (5) αποστολές δορυφόρων Sentinel, η καθεμία εκ των οποίων αποτελείται από ένα ζεύγος δορυφόρων για τη διασφάλιση της πληρότητας κάλυψης και του χρόνου επανάληψης παρατήρησης από το ίδιο σημείο (Aschbacher και Pérez, 2010).

Στη συγκεκριμένη έρευνα, ενδιαφέρει η αποστολή του Sentinel MSI L2A, ο οποίος εκτοξεύτηκε τον Ιούνιο 2015. Ο Sentinel-2 στοχεύει στην επιχειρησιακή πολυφασματική παρατήρηση της γης και τη βελτίωση διάθεσης δεδομένων προς τους χρήστες. Ο Sentinel-2 ανήκει στην κατηγορία των ηλιο-σύγχρονων δορυφόρων, με κύκλο επανάληψης παρατήρησης από το ίδιο σημείο <5 ημερών. Κινείται σε ύψος 786 χλμ. (από τον Ισημερινό) με απόκλιση τροχιάς  $-56^{\circ}$  έως  $+84^{\circ}$  βαθμούς. Παρέχει υψηλής ανάλυσης εικόνες στο οπτικό φάσμα. Ο συγκεκριμένος ανιχνευτής έχει δεκατρία (13) φασματικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένου τεσσάρων (4) στο οπτικό φάσμα και στο κοντινό υπέρυθρο με χωρική διακριτική ικανότητα 10μ., έξι (6) κανάλια (κόκκινο/μέσο υπέρυθρο) με χωρική διακριτική ικανότητα 20μ. και τρία (3) κανάλια ατμοσφαιρικής διόρθωσης με χωρική διακριτική ικανότητα 60μ.

Οι πολυφασματικές δυνατότητες του Sentinel-2 συνάδουν γενικώς με αυτές του Landsat και του Spot επιτρέποντας το συνδυασμό τους με ιστορικά δορυφορικά δεδομένα των τελευταίων και την ανάπτυξη μακροπρόθεσμων χρονικών σειρών (Drusch et al., 2012· Irons et al., 2012· Wulder et al., 2015). Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες διαφορές (Wulder et al., 2016): α) ο Sentinel-2 δεν διαθέτει θερμικό κανάλι, το οποίο χρησιμοποιείται τυπικώς για την αξιόπιστη ανίχνευση νεφών και για την παρακολούθηση της εξατμισοδιαπνοής και β) λόγω της μεγαλύτερης γωνίας θέασης ( $20.6^{\circ}$  του Sentinel-2 έναντι  $15^{\circ}$  του Landsat-8), ο Sentinel-2 διαθέτει μεγαλύτερο πλάτος σάρωσης (290χλμ.) και επομένως καλύπτει μεγαλύτερη σε έκταση περιοχή.

Αναλυτικές πληροφορίες για τις υπόλοιπες αποστολές (Sentinel-1, Sentinel-3, Sentinel-4, Sentinel-5 και Sentinel-5P) διατίθενται στον ιστότοπο του Ευρωπαϊκού Διαστημικού Οργανισμού (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>, τελευταία ενημέρωση 10/06/2019). Η σύγκριση της ραδιομετρικής ικανότητας του Sentinel-2 και του Landsat 7 και 8 παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-2.



Εικόνα 3-2. Σύγκριση φασματικών διαύλων Sentinel-2 και Landsat 7 και 8 (πηγή: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat>, τελευταία ενημέρωση 11/05/2019).

### 3.3 Συστήματα Ταξινόμησης Μορφών Κάλυψης/Χρήσεων Γης

Για τη διερεύνηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, την καταγραφή και παρακολούθηση τυχόν μεταβολών τους, με βάση κυρίως δορυφορικά δεδομένα, απαιτείται ο καθορισμός ενός συστήματος ταξινόμησης. Ένα σύστημα ταξινόμησης κάλυψης γης είναι μια απεικόνιση των υφιστάμενων κατηγοριών κάλυψης στην επιφάνεια της γης υπό διερεύνηση, με την ονομασία, τον μοναδικό κωδικό αναγνώρισης και τον ορισμό της κάθε κατηγορίας βάσει καθορισμένων κριτηρίων, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη διάκριση των κατηγοριών κάλυψης και της μεταξύ τους σχέσης (Yang et al., 2017).

Σήμερα, υπάρχει ένας αριθμός συστημάτων ταξινόμησης και δεδομένων κάλυψης γης σε περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο, που έχει αναπτυχθεί για την αναγνώρισή τους με βάση δορυφορικά δεδομένα. Το πρώτο σύστημα ταξινόμησης μορφών κάλυψης/χρήσεων γης για την

δημιουργία των αντίστοιχων χαρτών από δορυφορικές εικόνες, αναπτύχθηκε από την Γεωλογική Χαρτογραφική Υπηρεσία των Η.Π.Α. το 1976 (Anderson et al., 1976). Ακολούθησε σε περιφερειακό επίπεδο, το σύστημα ταξινόμησης για το Εθνικό Πρόγραμμα Δεδομένων Κάλυψης Γης (National Land Cover Data, NLCD) των Η.Π.Α. το 1992. Σε παγκόσμιο επίπεδο, το σύστημα ταξινόμησης του Περιβαλλοντικού Προγράμματος του Οργανισμού Γεωργίας και Τροφίμων (FAO) των Ηνωμένων Εθνών αναπτύχθηκε το 1993 και το σύστημα ταξινόμησης του Διεθνούς Προγράμματος Γαίοςφαιρας-Βιόσφαιρας (International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP) το 1996. Επισημαίνεται ότι τα ως άνω τρία συστήματα διαμορφώθηκαν με βάση το πρωτοπόρο σύστημα ταξινόμησης του 1976. Στην Ευρώπη, αναπτύχθηκε και εφαρμόζεται το σύστημα ταξινόμησης γνωστό ως Corine Land Cover (CLC) από το 1990.

Όμως, τα υφιστάμενα προγράμματα παρακολούθησης ανά τον κόσμο, έχουν διαφορετικούς στόχους, μεθοδολογίες και πρότυπα χαρτογράφησης. Η προσέγγιση που ακολουθείται διεθνώς στην ταξινόμηση των μορφών κάλυψης γης βασίζεται σε συγκεκριμένες προϋποθέσεις (Wulder et al., 2018): α) τη σαφήνεια, το είδος, την ποιότητα, την ακρίβεια και την κλίμακα της πληροφορίας που αναζητείται, β) την καταλληλότητα των τελικών κατηγοριών μορφών κάλυψης της ταξινόμησης (να ανταποκρίνονται δηλ. στην πραγματικότητα), γ) τη λήψη ανεξάρτητων δεδομένων για διακρίβωση και επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης, δ) τη δημιουργία τυποποιημένης διαδικασίας για την επεξεργασία εικόνας, η οποία περιλαμβάνει στάδιο προ-επεξεργασίας εικόνας, ανάπτυξη διαχρονικών φασματικών δεικτών, και ενσωμάτωση βοηθητικών δεδομένων, ε) τη χρήση ταξινομητών ικανών να επεξεργάζονται μεγάλο όγκο δεδομένων, στ) τη μείωση των σφαλμάτων της μετα-ταξινόμησης και επαναλαμβανόμενο έλεγχο ακρίβειας, και ζ) την ανάπτυξη καινοτόμων μεθόδων για την αποστολή των δεδομένων. Το κρίσιμο στοιχείο όμως που διαφοροποιεί τις σύγχρονες μεθόδους

ταξινόμησης μορφών κάλυψης γης είναι η καταγραφή μεταβολής της πληροφορίας, η οποία μπορεί πλήρως να ενσωματωθεί στην διαδικασία ταξινόμησης των μορφών κάλυψης γης (Wulder et al., 2018).

Το 2012, με την έγκριση του 2<sup>ου</sup> μέρους του διεθνούς προτύπου ISO19144 (Geographic Information – Classification Systems) που αποτελείται από δύο μέρη (Part 1: Classification System Structure και Part 2: Land Cover Meta Language, LCML), επιδιώχθηκε η δημιουργία ενός μελλοντικού πλαισίου ταξινόμησης ως αξιόπιστη βάση για τη σύγκριση και συσχετισμό των κατηγοριών κάλυψης γης υφιστάμενων συστημάτων ταξινόμησης ανεξαρτήτως της κλίμακας χαρτογράφησης τους, το είδος των κατηγοριών κάλυψης που εμπεριέχουν, των μεθόδων συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιούνται και του γεωγραφικού τόπου όπου εφαρμόζονται (ISO, 2012).

Ορισμένα από τα πιο γνωστά και διαδεδομένα συστήματα ταξινόμησης μορφών κάλυψης/χρήσεων γης δίνονται στις επόμενες ενότητες.

### **3.3.1 Σύστημα ταξινόμησης NLCD**

Το σύστημα ταξινόμησης του NLCD 2016 αποτελεί αναμόρφωση του συστήματος του Anderson και περιλαμβάνει οκτώ (8) ομάδες στο 1<sup>ο</sup> Επίπεδο που αναλύονται σε είκοσι (20) κατηγορίες μορφών κάλυψης/χρήσεων γης στο 2<sup>ο</sup> Επίπεδο (Παράρτημα Β).

Όπως διαπιστώνεται, από το σύστημα απουσιάζει η 6<sup>η</sup> κατηγορία μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, η οποία αφορά τεχνητές ξυλώδεις γεωργικές καλλιέργειες, όπως οπωρώνες και αμπέλια. Η κατηγορία αυτή ενσωματώθηκε στην «82 Καλλιεργούμενες εκτάσεις».

### **3.3.2 Σύστημα ταξινόμησης Corine Land Cover (CLC)**

Το σύστημα ταξινόμησης είναι ιεραρχικό και περιλαμβάνει τρία επίπεδα θεματικής πληροφορίας που αναλύονται σε πέντε ομάδες: α) τεχνητές επιφάνειες, β) αγροτικές περιοχές,

γ) δάση και ημι-φυσικές περιοχές, δ) υγρότοποι και ε) υδάτινα σώματα. Πέραν των αμιγών κατηγοριών μορφών κάλυψης, περιλαμβάνονται και τύποι χρήσεων γης (ειδικά στις τεχνητές επιφάνειες) καθώς και μικτοί τύποι κάλυψης/χρήσεων γης στο 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> Επίπεδο. Συνολικά υπάρχουν 44 κατηγορίες στο τρίτο επίπεδο (Παράρτημα Γ).

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην ταξινόμηση και οριοθέτηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης στο πλαίσιο υλοποίησης του CLC είναι κυρίως η μονοσκοπική φωτοερμηνεία δορυφορικών εικόνων με τη βοήθεια υφιστάμενων γεωχωρικών δεδομένων ή/και πεδίου που διαθέτει η κάθε χώρα. Η ελάχιστη χαρτογραφική μονάδα, σε κάθε έτος αναφοράς, έχει μέγεθος 25Ha ενώ το ελάχιστο πλάτος μεταβολής γραμμικών στοιχείων είναι 100μ. Όσον αφορά στις καταγραμμένες μεταβολές των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, αυτές έχουν εμβαδόν μεγαλύτερο των 5Ha και πλάτος μεγαλύτερο των 100μ., διαφορετικά δεν καταγράφονται. Η οριζοντιογραφική ακρίβεια της χαρτογράφησης, σε κάθε έτος αναφοράς, είναι μικρότερη των 100μ. ενώ η αντίστοιχη κλίμακα καταγραφής είναι 1:250.000 και η κλίμακα των μεταβολών 1:100.000.

Οι κύριες αδυναμίες του προγράμματος CLC συνιστώνται στη μικρή κλίμακα χωρικής ανάλυσης, στη χρήση μικτών μορφών κάλυψης και χρήσεων γης, οι οποίες δεν δύνανται να μεταφερθούν σε άλλα συστήματα.

Ειδικότερα, το σύστημα ταξινόμησης CLC παρουσιάζει αδυναμίες σε σχέση με ένα σύστημα που βασίζεται αποκλειστικά στην διάκριση των διαφόρων μορφών κάλυψης/χρήσεων γης. Αυτό συνέβη διότι στο σχεδιασμό του CLC δόθηκε βαρύτητα στην απόδοση ορισμένων μόνο κατηγοριών κάλυψης/χρήσεων γης και χρησιμοποιήθηκαν τοπολογικά κριτήρια αντί κριτήρια διάκρισης της κάλυψης γης. Εμφανές παράδειγμα είναι οι υποκατηγορίες της κατηγορίας «2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές» όπου περιλαμβάνονται μικτές καλύψεις γης



(γεωργικές καλλιέργειες σε συνδυασμό με φυσική βλάστηση, αγροδασικές, κ.λπ.) οι οποίες είναι αδύνατο να προσδιοριστούν φασματικά ως ενιαία οντότητα, πέραν των προβληματικών εννοιολογικών όρων που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των υποκατηγοριών.

Επιπλέον, η διάκριση ορισμένων υποκατηγοριών στο 3<sup>ο</sup> επίπεδο είναι τόσο θολή από την άποψη του ορισμού της «κάλυψης γης», όπως αυτή απεικονίζεται τηλεπισκοπικά, ώστε εύλογα δημιουργείται σύγχυση ως προς την ταξινόμησή τους και την ακρίβεια χαρτογράφησής τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία επικαλύψεων μεταξύ των καθορισμένων υποκατηγοριών του ή και συγκάλυψη της πληροφορίας. Παράδειγμα αποτελεί η υποκατηγορία «3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις». Ειδικότερα στην συγκεκριμένη υποκατηγορία, ενσωματώνονται δύο βασικοί παράγοντες για την ανίχνευση μεταβολών γης, η καταγραφή των αναδασωτέων εκτάσεων και αυτών που έχουν υποστεί αποδάσωση ή υποβάθμιση. Οι παράγοντες αυτοί έπρεπε να αποτελούν διακριτές υποκατηγορίες ώστε να παρέχεται ακριβής πληροφορία.

Επίσης είναι αδύνατο να μην υπάρχει διακριτή υποκατηγορία «Θάμνοι» και αντί αυτής να χρησιμοποιείται αναγκαστικά η υποκατηγορία «3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση». Το σύνολο των διαφόρων θάμνων (φρύγανα, μακκί, κ.λπ.) στην Ελλάδα και στην Ευρώπη δεν μπορεί να αποδίδεται ως σκληροφυλλική βλάστηση. Το ίδιο ισχύει και για τους αρχαιολογικούς χώρους οι οποίοι ενσωματώνονται στην υποκατηγορία «1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής» αντί να αποτελούν διακριτή υποκατηγορία.

Παρά τις αδυναμίες του, το πρόγραμμα CLC παραμένει πρωταρχική πηγή γεωχωρικών δεδομένων γης για την Ε.Ε. (Buttner, 2014). Το ίδιο ισχύει και για την Ελλάδα, όπου χρησιμοποιείται το ανωτέρω σύστημα, δεδομένου ότι η χώρα μας στερείται ένα τέτοιο σύστημα καταγραφής και παρακολούθησης μορφών κάλυψης/χρήσεων γης.

Συνέχεια του συστήματος CLC αποτελεί το σύστημα ταξινόμησης EAGLE (EIONET Action Group on Land monitoring in Europe). Πρόκειται περί ενός βελτιωμένου μοντέλου που βασίζεται στην αντικειμενοστραφή απεικόνιση και φιλοδοξεί να ξεπεράσει τις αδυναμίες του CLC. Στοχεύει στον διαχωρισμό των κατηγοριών κάλυψης γης από τις χρήσεις γης και άλλα χαρακτηριστικά του τοπίου και στην πλήρη απεικόνιση τους. Επιτρέπει δε την ενσωμάτωση πληροφοριών από διάφορες πηγές είτε ευρωπαϊκές είτε εθνικές, προκειμένου να υποστηρίξει την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου ευρωπαϊκού συστήματος παρακολούθησης γης.

### **3.3.3 Σύστημα ταξινόμησης FAO**

Το σύστημα ταξινόμησης μορφών κάλυψης γης (Land Cover Classification System, LCCS) του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization, FAO) των Ηνωμένων Εθνών θεωρείται ότι είναι το πιο ολοκληρωμένο, ευέλικτο και διεθνώς πιο αναγνωρισμένο σύστημα για τον χαρακτηρισμό της κάλυψης γης σε παγκόσμιο επίπεδο (Herold et al., 2009).

Το σύστημα ταξινόμησης αναπτύχθηκε το 1993 και αποτελείται από 9 κατηγορίες στο πρώτο επίπεδο και 26 στο δεύτερο επίπεδο. Το συγκεκριμένο σύστημα περιλαμβάνει 2 στάδια. Στο αρχικό στάδιο καθορίζονται 9 κύριες κατηγορίες κάλυψης: Καλλιεργούμενες και Διαχειριζόμενες Χερσαίες περιοχές, Φυσικές και Ημι-φυσική Χερσαία Βλάστηση, Υδατοκαλλιέργειες ή κατακλυζόμενες περιοχές, Φυσικές και Ημι-φυσικές υδροχαρείς περιοχές ή κατακλυζόμενη βλάστηση, Τεχνητές Επιφάνειες και συναφείς περιοχές, Γυμνές Περιοχές, Τεχνητά υδάτινα σώματα, Χιόνι και Πάγος, Φυσικές Υδάτινες περιοχές. Στο δεύτερο στάδιο, οι κατηγορίες κάλυψης αναγνωρίζονται και ιεραρχούνται με βάση ένα συνδυασμό από προκαθορισμένα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά βασίζονται σε δύο ειδών παραμέτρους: περιβαλλοντικές (π.χ. κλίμα, γεωμορφολογία, υψόμετρο, έδαφος, πετρολογία και διάβρωση) και

ειδικές (π.χ. χλωριδική σύνθεση, είδος παραγωγής, είδος εδάφους). Οι παράμετροι αυτοί μειώνουν την πιθανότητα σφαλμάτων κατά την εφαρμογή των κριτηρίων (Yang et al., 2017).

Το συγκεκριμένο σύστημα ταξινόμησης έχει προσαρμοστεί και εφαρμοστεί σε διάφορα διεθνή προγράμματα καταγραφής με χρήση δορυφορικών δεδομένων, όπως είναι το IGBP-DIS με 17 κατηγορίες (McConnell et al., 2000), το GOF/GOLD, το GLCN των Η.Ε. και στην ταξινόμηση δασών (Herold και Schmullius, 2004).

Το 2016, ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας ανέπτυξε ένα νέο σύστημα αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης κάλυψης γης με βάση το πρότυπο Land Cover Meta Language (LCML). Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή κάθε κατηγορίας κάλυψης γης, οπουδήποτε στον κόσμο. Το σύστημα αυτό βασίζεται σε μια σειρά από ανεξάρτητα διαγνωστικά κριτήρια που επιτρέπουν τη συσχέτιση υφιστάμενων ταξινομήσεων και υπομνημάτων, όπως είναι το CLC, τα εθνικά συστήματα ταξινόμησης, κ.λπ. (FAO, 2016).

Οι κατηγορίες κάλυψης γης καθορίζονται από ένα συνδυασμό στοιχείων (elements) που διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τα βασικά στοιχεία (βλαστητικά και αβιοτικά) και τα κριτήρια (ιδιότητες και χαρακτηριστικά) αναγνώρισης αυτών. Τα βασικά στοιχεία αποτελούν τα κύρια φυσιολογικά κριτήρια της κάλυψης γης (π.χ. δένδρα, θάμνοι, ποώδης βλάστηση, κ.λπ., όταν πρόκειται για βλάστηση ή τεχνητές επιφάνειες, φυσικές επιφάνειες, κ.λπ. όταν πρόκειται για αβιοτικά αντικείμενα). Τα βασικά στοιχεία είναι προκαθορισμένα και αναλύονται μέχρι τέσσερα (4) επίπεδα (Παράρτημα Δ). Τα κριτήρια ορίζουν την φυσιολογία/δομή ενός συγκεκριμένου βασικού στοιχείου (π.χ. είδος φύλλου, φαινολογία ειδών βλάστησης, κ.λπ.) και όχι μόνο. Ειδικότερα, τα χαρακτηριστικά (characteristics) προσδιορίζουν περιγραφικά ένα βασικό στοιχείο όχι απαραίτητα με βάση τη φυσιολογία του όπως συμβαίνει με τις ιδιότητες (για παράδειγμα και όσον αφορά στη βλάστηση δύναται να περιγράφουν τη φύτευση, τη

διαχειριστική πρακτική που ακολουθείται, κ.λπ. ενός στοιχείου). Τα χαρακτηριστικά μπορεί να καθορίζονται από τον χρήστη σε αντίθεση με τις ιδιότητες που είναι προκαθορισμένες.

Με βάση τα κριτήρια (ιδιότητες και χαρακτηριστικά), οι κατηγορίες κάλυψης γης αναγνωρίζονται και ταυτοποιούνται μοναδικά. Το σύστημα επιτρέπει την κατακόρυφη ταξινόμηση και ομαδοποίηση των κατηγοριών κάλυψης σε επίπεδα (π.χ. επίπεδο δένδρων, επίπεδο θάμνων, επίπεδο κτιρίων, κ.λπ.) με μοναδικά χαρακτηριστικά.

Σε αντίθεση με το παλαιότερο σύστημα ταξινόμησης LCCS το οποίο βασίζεται σε προκαθορισμένα παραμετρικά κριτήρια (π.χ. % κάλυψης), το νέο σύστημα έχει τη δυνατότητα υποστήριξης πολύ περισσότερων κριτηρίων. Από την άποψη αυτή, το νέο σύστημα είναι περισσότερο ευέλικτο και αποτελεσματικό.

### **3.3.4 Σύστημα ταξινόμησης τύπων οικοτόπων**

Το πλέον πρόσφατο σύστημα ταξινόμησης για την αναγνώριση, ταυτοποίηση και επικαιροποίηση των τύπων οικοτόπων που εφαρμόστηκε στην Ελλάδα, ήταν το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου «Ανάπτυξη υποδομής χωρικών δεδομένων μεγάλης κλίμακας (1:5000) για τις χερσαίες προστατευόμενες περιοχές του δικτύου Natura2000». Το έργο υλοποιήθηκε από την ΕΚΧΑ Α.Ε. (νυν «ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ») κατόπιν διεθνούς διαγωνισμού, την περίοδο 2013-2015, και συγχρηματοδοτήθηκε από το ΕΣΠΑ.

Στόχος του έργου ήταν ο ακριβέστερος προσδιορισμός των εξωτερικών ορίων των χερσαίων περιοχών του δικτύου «NATURA 2000», ήτοι Τόποι Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ) και Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) και η επικαιροποίηση, περιγραφή και οριοθέτηση των χερσαίων τύπων οικοτόπων στους ΤΚΣ με βάση τις τα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα της ΕΚΧΑ Α.Ε. της περιόδου 2007-2009 και δειγματοληψίες πεδίου.

Για την αναγνώριση και περιγραφή των χερσαίων τύπων οικοτόπων χρησιμοποιήθηκε το Ιεραρχικό Σύστημα Ταξινόμησης των τύπων οικοτόπων της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ και των

υπολοίπων τύπων οικοτόπων που απαντώνται στην Ελλάδα, το Interpretation Manual of European Union Habitat Types, (EU-27, 2007) και όλη η διαθέσιμη βιβλιογραφία για την αναγνώριση, περιγραφή και ερμηνεία των μέχρι σήμερα γνωστών τύπων οικοτόπων (Παράρτημα I της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ), που έχουν αναγνωριστεί και απογραφεί στην Ελλάδα καθώς και των τύπων οικοτόπων που δεν περιλαμβάνονται στο ως άνω Παράρτημα αλλά απαντώνται στην Ελλάδα (CORINE-Biotopes, 1991), το ευρωπαϊκό σύστημα ταξινόμησης οικοτόπων EUNIS, με το οποίο αντιστοιχίστηκαν οι κατηγορίες τύπων οικοτόπων της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ, ο Τεχνικός Οδηγός Αναγνώρισης, Περιγραφής και Χαρτογράφησης Τύπων Οικοτόπων της Ελλάδας (Ντάφης κ. άλ., 2001) και ο Τεχνικός Οδηγός Αναγνώρισης, Περιγραφής και Χαρτογράφησης Τύπων Οικοτόπων της Ελλάδας της ΕΚΧΑ Α.Ε. (2014).

Με βάση τα ανωτέρω, δημιουργήθηκε ένα σύγχρονο σύστημα ταξινόμησης τύπων οικοτόπων σε αρμονία και αντιστοιχία τόσο με τους κωδικούς τους, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της αρχικής τους καταγραφής όσο και με το Παράρτημα I της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ, και το σύστημα ταξινόμησης Corine.

Σε ότι αφορά το σύστημα ταξινόμησης μορφών κάλυψης/χρήσεων γης εντός των χερσαίων προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura2000, ακολουθήθηκε το σύστημα ταξινόμησης CLC όπου όμως προστέθηκε και ένα 4<sup>ο</sup> επίπεδο ανάλυσης. Στο επίπεδο αυτό, οι κατηγορίες του CLC στο 3<sup>ο</sup> επίπεδο αναλύθηκαν περαιτέρω σε συνδυασμό με τους αναγνωρισθέντες τύπους οικοτόπων του Παραρτήματος I της Οδηγίας 92/43 και των ελληνικών τύπων οικοτόπων (ανθρωπογενών και μη). Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε μονοσήμαντη αντιστοίχιση των ως άνω τύπων οικοτόπων με τους κωδικούς των κατηγοριών του CLC στο 4<sup>ο</sup> επίπεδο (Παράρτημα Ε).

Επισημαίνεται ότι το ανωτέρω σύστημα ταξινόμησης που αφορά την αναγνώριση των τύπων οικοτόπων αλλά και τις μορφές κάλυψης/χρήσεων γης κατά CLC δεν έχει εφαρμοστεί και αξιολογηθεί σε εθνικό επίπεδο με βάση δορυφορικά δεδομένα.

### **3.3.5 Σύστημα κωδικοποίησης χρήσεων γης Ελληνικού Κτηματολογίου**

Στο πλαίσιο των κτηματογραφήσεων ανά τη χώρα, λαμβάνεται μέριμνα για την καταγραφή των υφιστάμενων χρήσεων γης σε επίπεδο γεωτεμαχίου αλλά και διαιρεμένων ιδιοκτησιών και κτιρίων. Η καταγραφή τους όμως δεν βασίζεται σε δορυφορικά ή από αέρος δεδομένα αλλά στις δηλώσεις του Ν. 2308/1995 ως ισχύει, που υποβάλλονται από τους έχοντες εμπράγματο δικαίωμα ή άλλο εγγραπτό στα κτηματολογικά βιβλία δικαίωμα σε ακίνητα της υπό κτηματογράφησης περιοχής. Επισημαίνεται ότι το γεωτεμάχιο ορίζεται ως η συνεχόμενη έκταση γης, που ανήκει εξ' αδιαιρέτου κατά κυριότητα σε έναν ή περισσότερους δικαιούχους. Αποτελεί δε τη μοναδιαία επιφάνεια αναφοράς όλων των πληροφοριών του κτηματολογίου.

Το σύστημα ταξινόμησης του Ελληνικού Κτηματολογίου (ΕΚ) περιλαμβάνει τριάντα δύο (32) κατηγορίες στο 1ο Επίπεδο, οι οποίες αναλύονται σε εξήντα εννέα (69) υποκατηγορίες χρήσεων γης στο 2ο Επίπεδο (Παράρτημα ΣΤ). Οι ως άνω κατηγορίες και υποκατηγορίες κωδικοποιούνται με 2-ψήφιο κωδικό προκειμένου να προσδιορίζονται μοναδικά οι χρήσεις των γεωτεμαχίων, των διηρημένων ιδιοκτησιών και των κτιρίων. Η χρήση όμως του κάθε ακινήτου (γεωτεμάχιο, κ.λπ.) στην κτηματολογική βάση λαμβάνει 4-ψήφιο κωδικό, ο οποίος βασίζεται στην ένωση των κωδικών της κάθε κατηγορίας και της αντίστοιχης υποκατηγορίας. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν πληροφορίες για συγκεκριμένη υποκατηγορία ή η κατηγορία δεν αναλύεται σε υποκατηγορίες, τότε για τη χρήση του ακινήτου χρησιμοποιείται ο κωδικός της κατηγορίας και ο γενικός κωδικός της κάθε υποκατηγορίας «00». Η κωδικοποίηση των κατηγοριών μορφών κάλυψης/χρήσεων γης περιγράφεται στο Παράρτημα Α των τελευταίων

εγκεκριμένων τεχνικών προδιαγραφών μελετών κτηματογράφησης για τη δημιουργία του Ελληνικού Κτηματολογίου (ΦΕΚ 923B/05.04.2016).

Είναι προφανές ότι το ως άνω σύστημα του κτηματολογίου δεν είναι σύστημα ταξινόμησης όπως τα προαναφερθέντα αλλά ένα σύστημα κωδικοποίησης χρήσεων γης. Ωστόσο αποτελεί την μοναδική πηγή πληροφορίας για τις χρήσεις γης στον Ελλαδικό χώρο. Η συσχέτισή του με δορυφορικά δεδομένα, η αξιολόγηση και η ενημέρωσή του είναι ερευνητικό ζήτημα που χρήζει περαιτέρω ανάλυσης. Κατόπιν επεξεργασίας των πληροφοριών για τις χρήσεις γης του κτηματολογίου, προσαρμογής τους σε επίπεδο γεωτεμαχίου και συσχέτισης κατά CLC, είναι δυνατόν να επιτευχθεί συνέργεια με τις μελλοντικές δράσεις του προγράμματος Copernicus για την διαχρονική παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και τη δημιουργία/ενημέρωση του Ευρωπαϊκού Αστικού Άτλαντα (Urban Atlas) για την Ελλάδα.

### **3.4 Θεσμικά Γεωχωρικά Δεδομένα στον Ελληνικό Χώρο**

Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχει μια σειρά από γεωχωρικά και μάλιστα θεσμικά δεδομένα σε ψηφιακή μορφή, τα οποία ήδη χρησιμοποιούνται και εφαρμόζονται ευρύτατα τόσο στον δημόσιο τομέα όσο και στον ιδιωτικό. Τα δεδομένα αυτά αναπτύχθηκαν σε ψηφιακή μορφή και στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87) κυρίως στο πλαίσιο της δημιουργίας του Ελληνικού Κτηματολογίου, ήτοι τα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα διαφόρων χρονολογιών (1945, 2007-09, 2014-2015), τα κτηματολογικά διαγράμματα, οι δασικοί χάρτες, η χαρτογράφηση των χερσαίων περιοχών του δικτύου Natura2000, και οι διανομές και αναδασμοί γης.

Χρησιμοποιούνται δε στο σύνολο του δημοσίου τομέα για υπηρεσιακές ανάγκες και την κάλυψη υποχρεώσεων της χώρας σε άλλους τομείς, όπως είναι η καταβολή των αγροτικών επιδοτήσεων στον αγροτικό τομέα, η παρακολούθηση των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura2000 για την προστασία της βιοποικιλότητας, ο εντοπισμός ακινήτων, η κάλυψη

γης, κ.λπ. Τα δεδομένα αυτά, όπως περιγράφονται ακολούθως, χάρις στην αξιοπιστία και μεγάλη τους ακρίβεια αποτελούν κύρια πηγή δεδομένων και χρησιμοποιούνται σε διάφορα στάδια της παρούσας έρευνας για την ανίχνευση και αξιολόγηση των μεταβολών μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και φυσικών οικοσυστημάτων.

### **3.4.1 Χαρτογραφικά υπόβαθρα**

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα μεγάλης κλίμακας και υψηλής ακρίβειας του φορέα «ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ» (πρώην ΕΚΧΑ Α.Ε. ή ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.) τα οποία παρήχθησαν στις περιόδους 2007-2009 και 2014-2015.

Τα υπόβαθρα της πρώτης περιόδου είναι έγχρωμες ορθοεικόνες (true color, RGB, 24bit) μεγάλης κλίμακας (LSO) που καλύπτουν το σύνολο της χώρας και τα πολύ υψηλής ανάλυσης (VLSO) υπόβαθρα που καλύπτουν τις αστικές περιοχές (πρωτεύουσες περιφερειακών ενοτήτων) της χώρας. Οι ανωτέρω ορθοεικόνες λήφθηκαν από κάμερες αέρος Z/I RMK-Top 15 και Leica ADS40 αντίστοιχα.

Επιπλέον, την περίοδο αυτή, παρήχθησαν και ιστορικά χαρτογραφικά υπόβαθρα, οι οποίες καλύπτουν επίσης ενιαία τον ελληνικό χώρο και προήλθαν από ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες έτους 1945, κλίμακας 1:42.000. Σε ορισμένα τμήματα, (π.χ. Δωδεκάνησα και ανατολική Κρήτη) για τα οποία δεν υπήρχαν αεροφωτογραφίες έτους 1945, χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες έτους 1960, κλίμακας 1:30.000.

Τα υπόβαθρα (LSO25) της δεύτερης περιόδου είναι έγχρωμες ορθοεικόνες 4 διαύλων (R,G,B,NIR, 8bit) και αποτελούν το πλέον πρόσφατης λήψης χαρτογραφικό υπόβαθρο της χώρας με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια.

Τα ανωτέρω υπόβαθρα υλοποιήθηκαν κατόπιν διεθνών διαγωνισμών και συγχρηματοδοτήθηκαν από ευρωπαϊκούς πόρους. Αποτελούν σήμερα το πλέον υψηλής ακρίβειας χαρτογραφικό υπόβαθρο της χώρας σε εθνικό επίπεδο και χρησιμοποιούνται μεταξύ



άλλων στην κτηματογράφηση, στην κατάρτιση και ανάρτηση δασικών χαρτών, στην επικαιροποίηση των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura2000 σε εθνικό επίπεδο, στην αποτύπωση των ορίων σχεδίων πόλεων και οικισμών από τις υπηρεσίες δόμησης και σε πλείστες άλλες εφαρμογές και προγράμματα. Επισημαίνεται ότι η ως άνω χρήση και εφαρμογή τους διασφαλίζεται θεσμικά από μια σειρά διατάξεων νόμων, όπως ο Ν. 3889/2010 περί Δασικών Χαρτών, ο Ν. 2308/1995 περί κτηματολογίου, ο Ν. 4164/2013 όπως ισχύουν, και πλήθος εγκυκλίων και Υπουργικών Αποφάσεων σε εφαρμογή της σχετικής νομοθεσίας.

### **3.4.2 Δασικοί χάρτες**

Ο Δασικός Χάρτης καταγράφει και απεικονίζει επί των ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων του φορέα «ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ» τις δασικές εν γένει εκτάσεις των παραγράφων 1, 2, 3, 4 και 5 του άρθρου 3 του ν. 998/1979, όπως ισχύει (ΦΕΚ 289Α) και τα γεωγραφικά όρια αυτών, που διέπονται από τις προστατευτικές διατάξεις της δασικής νομοθεσίας (Εικόνα 3-3). Στις ως άνω εκτάσεις, περιλαμβάνονται τα δάση και οι δασικές εκτάσεις, οι οποιασδήποτε φύσεως ασκεπείς εκτάσεις (φρυγανώδεις ή χορτολιβαδικές εκτάσεις, βραχώδεις εξάρσεις και γενικά ακάλυπτοι χώροι) που περικλείονται, αντιστοίχως, από δάση και δασικές εκτάσεις, καθώς και οι υπεράνω των δασών ή δασικών εκτάσεων ασκεπείς κορυφές ή αλπικές ζώνες των ορέων και οι άβατοι κλιτύες αυτών). Οι κατηγορίες αυτές ενοποιούνται στο Δασικό Χάρτη σε μια ενιαία κατηγορία ως «Δασικές εκτάσεις».



Εικόνα 3-3. Απόσπασμα Δασικού Χάρτη σε υπόβαθρο LSO25.

Διακριτή κατηγορία του Δασικού Χάρτη είναι οι χορτολιβαδικές εκτάσεις. Οι εκτάσεις αυτές βρίσκονται επί ημιορεινών, ορεινών και ανώμαλων εδαφών και συγκροτούν φυσικά οικοσυστήματα αποτελούμενα από φρυγανική, ποώδη ή άλλη αυτοφυή βλάστηση ή από δασική μεν βλάστηση που δεν συνιστά δασοβιοκοινότητα και οι βραχώδεις ή πετρώδεις εκτάσεις των ημιορεινών, ορεινών και ανώμαλων εδαφών. Οι ως άνω εκτάσεις ενοποιούνται στο Δασικό Χάρτη σε μια ενιαία κατηγορία ως «Χορτολιβαδικές εκτάσεις».

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι στο Δασικό Χάρτη δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ του δάσους και της δασικής έκτασης, ούτε βεβαίως των βραχωδών εκτάσεων και των αλπικών εκτάσεων, πόσω μάλλον διάκριση της βλάστησης κατά είδος. Η συγκεκριμένη διάκριση και οι περαιτέρω πληροφορίες που δύναται να αντληθούν είναι αντικείμενο του Δασολογίου και νέο πεδίο έρευνας.

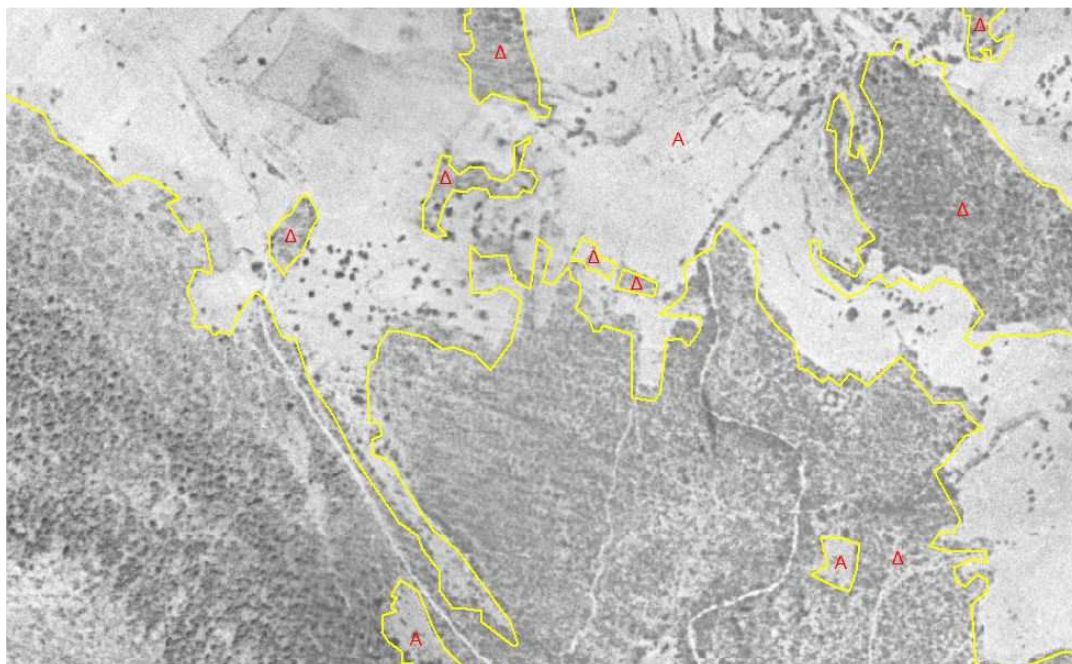
Επίσης, περιλαμβάνονται και οριοθετούνται πράξεις της Διοίκησης, ήτοι κηρυγμένες δασωτές ή αναδασωτές εκτάσεις, πράξεις και αποφάσεις χαρακτηρισμού έκτασης των Δασικών Υπηρεσιών, και εγκεκριμένα και μη όρια σχεδίων πόλεων και οικισμών.

Για τις περιοχές των εγκεκριμένων σχεδίων πόλεων και οικισμών δεν συντάσσεται Δασικός Χάρτης, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει πληροφορία για τις περιοχές αυτές. Οι υπόλοιπες κατηγορίες εκτάσεων (μη δασικού χαρακτήρα) ενοποιούνται και απεικονίζονται στο Δασικό Χάρτη σε μία ενιαία κατηγορία ως «Άλλης μορφής/κάλυψης εκτάσεις».

Όπως διαπιστώνεται ο χαρακτηρισμός κάθε έκτασης στο Δασικό Χάρτη είναι διττός: το πρώτο γράμμα αφορά στον χαρακτηρισμό της έκτασης στην πρόσφατη κατάσταση ενώ το δεύτερο γράμμα στην ιστορική κατάσταση. Ο χαρακτήρας της έκτασης στην παλαιότερη κατάσταση αποτυπώνεται στο Ορθοφωτοχάρτη έτους 1945/1960 (Εικόνα 3-4).

Στον Δασικό Χάρτη περιλαμβάνονται και πρόσθετες πληροφορίες, που προέρχονται από διανομές/αναδασμούς για τον εντοπισμό των κληροτεμαχίων, τους κτηματικούς χαρτών του ν. 248/1976, αποφάσεις δικαστηρίων για τον χαρακτήρα της έκτασης και παραχωρητήρια γης.

Σύμφωνα με τις εγκεκριμένες τεχνικές προδιαγραφές κατάρτισης Δασικών Χαρτών (ΦΕΚ 2373B/12.07.2017), τα αναγκαία κριτήρια για τον χαρακτηρισμό των εκτάσεων ως «Δασικές» ή «Χορτολιβαδικές» εκτάσεις καθορίζονται σύμφωνα με το υπ' αριθμ. ΠΔ 32/2016 (ΦΕΚ 46A/31.03.2016) και από τις ισχύουσες διατάξεις της δασικής νομοθεσίας και τις ερμηνευτικές εγκυκλίους του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας.



Εικόνα 3-4. Απόσπασμα Ορθοφωτοχάρτη έτους 1945.

Τα αναγκαία στοιχεία για τον προσδιορισμό των ορίων και τον χαρακτηρισμό τους ως «Δασικές» ή «Χορτολιβαδικές» λαμβάνονται από: α) στερεοσκοπική φωτοερμηνεία των αεροφωτογραφιών παλαιότερης (1945/1960) και πρόσφατης λήψης (2014-2015), β) αυτοψίες στο πεδίο, γ) τελεσίδικες πράξεις και αποφάσεις χαρακτηρισμού του άρθρου 14 του Ν. 998/1979, δ) κηρύξεις δασωτέων ή αναδασωτέων εκτάσεων, ε) αποτερματισμούς δημόσιων δασών, στ) οριστικά παραχωρητήρια, ανεξάρτητα της χρήσης στην οποία αποδόθηκαν, και η) αναγνωρίσεις ιδιωτικών δασών και λοιπές περιπτώσεις, όπως ορίζονται στο άρθρο 10 του ν. 3208/2003, όπως ισχύει.

Είναι προφανές ότι ο Δασικός Χάρτης δεν αποτελεί απλώς άλλο ένα έργο χαρτογράφησης και δη των δασών και δασικών εν γένει εκτάσεων της περιοχής που αφορά αλλά ένα έργο διαχρονικής καταγραφής των εκτάσεων που διέπονται από τις διατάξεις της δασικής νομοθεσίας.

Από την πλευρά της παρακολούθησης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, ο συνδυασμός της φωτοερμηνείας αεροφωτογραφιών διαφορετικών χρονικών περιόδων, που καλύπτουν την ίδια περιοχή, και των υφιστάμενων στοιχείων και πράξεων της Διοίκησης που έχουν εκδοθεί, ο Δασικός Χάρτης απεικονίζει τις ακόλουθες καταστάσεις: α) εκτάσεις που ήταν και παρέμειναν δασικές εν γένει/χορτολιβαδικές, β) εκτάσεις που άλλαξαν μορφή, λόγω εκχέρσωσης ή καταστροφής στο χρονικό διάστημα που μεσολάβησε, και εκτάσεις που αναδασώθηκαν ή δασώθηκαν στο διάστημα που μεσολάβησε.

Με βάση την ως άνω καταγραφή, προβάλλονται τα αντίστοιχα εμπράγματα δικαιώματα του Δημοσίου επί δασικών και χορτολιβαδικών εκτάσεων στη διαδικασία της κτηματογράφησης. Συνεπώς, η καταγραφή των δασών και δασικών εν γένει εκτάσεων μέσω της θεσμοθετημένης διαδικασίας κατάρτισης Δασικών Χαρτών και η προβολή των εμπραγμάτων δικαιωμάτων του Δημοσίου επί αυτών στην κτηματογράφηση μέσω δήλωσής του, καθορίζει και το ιδιοκτησιακό τους καθεστώς (δημόσιο και μη).

Μέχρι σήμερα, ο Δασικός Χάρτης έχει καταρτιστεί και ηλεκτρονικά αναρτηθεί στον ιστότοπο του ΕΚ για το σύνολο της Χώρας (2022). Έχει μερικώς κυρωθεί για το μεγαλύτερο μέρος της χώρας (>90%).

Ο κυρωμένος Δασικός Χάρτης αποτελεί το πλέον θεσμικό εργαλείο της πολιτείας και δημιουργεί έννομες συνέπειες (ν. 3889/2010 ως ισχύει). Από την ημερομηνία δημοσίευσής του καθίσταται οριστικός και έχει πλήρη αποδεικτική ισχύ σε κάθε διοικητική ή δικαστική αρχή για όλα τα τμήματα που αποτυπώνονται σε αυτόν ως δασικές εν γένει εκτάσεις (με πράσινο περίγραμμα και πράσινη διαγράμμιση).

Τα γεωχωρικά δεδομένα των Δασικών Χαρτών είναι σε μορφή σύμφωνα με το πρότυπο ESRI standard shapefile format και διατίθενται δωρεάν μέσω της πύλης ανοικτών δεδομένων

(<https://data.ktimatologio.gr/search/>). Θέαση και περιήγηση επί του περιεχομένου των αναρτημένων και κυρωμένων Δασικών Χαρτών παρέχεται μέσω διαδικτυακών γεωχωρικών εφαρμογών που έχουν αναπτυχθεί από το ΕΚ μέσω του ιστοτόπου του και στη διεύθυνση: [https://www.ktimanet.gr/CitizenWebApp/Entrance\\_Page.aspx](https://www.ktimanet.gr/CitizenWebApp/Entrance_Page.aspx).

### **3.4.3 LPIS**

Το σύστημα αναγνώρισης αγροτεμαχίων (LPIS) αποτελεί σημαντική συνιστώσα του ΟΣΔΕ. Πρόκειται για ένα μηχανογραφημένο σύστημα το οποίο βασίζεται σε χαρτογραφικά υπόβαθρα από αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες για την αποτύπωση του συνόλου των αγροτεμαχίων ενός κράτους μέλους. Εξυπηρετεί δύο κύριους σκοπούς: α) τον σαφή εντοπισμό όλων των επιλέξιμων γεωργικών εκτάσεων εντός των αγροτεμαχίων αναφοράς και β) τον υπολογισμό της Μέγιστης Επιλέξιμης Έκτασής τους (MEE). Το LPIS χρησιμοποιείται στο πλαίσιο των διοικητικών ελέγχων για σκοπούς διασταύρωσης, καθώς και ως βάση για τους επιτόπιους ελέγχους που διενεργεί ο οργανισμός πληρωμών (ECA, 2016).





Το LPIS λειτουργεί βάσει αγροτεμαχίων αναφοράς. Το αγροτεμάχιο αναφοράς είναι μια επακριβώς προσδιορισμένη και γεωγραφικά οριοθετημένη γεωργική έκταση. Οι γεωργοί καλούνται να εξετάσουν προσεκτικά τονχάρτη, να εντοπίσουν και να οριοθετήσουν τα αγροτεμάχια για τα οποία αιτούνται ενιαία ενίσχυση. Κάθε μη καλλιεργούμενη έκταση, καθώς και κάθε μη επιλέξιμο τμήμα ενός αγροτεμαχίου, όπως κτήρια, φυσική βλάστηση, οδόστρωμα, δάση, λίμνες, κ.λπ. εξαιρείται.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του LPIS διαφέρουν ανά κράτος μέλος της ΕΕ, καθώς εφαρμόζονται διαφορετικοί τύποι αγροτεμαχίων αναφοράς ανά χώρα. Στην Ελλάδα εφαρμόζεται ο τύπος της ενότητας οριοθετημένης βάσει φυσικών ορίων.

Οι διαφορές των εφαρμοζόμενων τύπων αγροτεμαχίων αναφοράς εντοπίζονται στον τρόπο οριοθέτησης των αγροτεμαχίων, αν δηλ. λαμβάνονται ως βάση αναφοράς υφιστάμενα



θεσμικά δεδομένα, όπως είναι το κτηματολόγιο ή όχι (Sagris et al., 2008). Κατόπιν φωτοερμηνείας και επεξεργασίας δεδομένων του LPIS και κτηματολογίου σε περιοχή της Π.Ε. Γρεβενών διαπιστώνεται ότι ο καθορισμός του γεωτεμαχίου (μοναδιαία επιφάνεια αναφοράς πληροφοριών κτηματολογίου) ως αγροτεμάχιο αναφοράς δεν συνάδει με την υφιστάμενη κάλυψη των καλλιεργειών (Εικόνα 3-5).

				
Τύποι LPIS (Σύστημα Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων)	Αγροτεμάχιο (Agricultural Parcel)	Ομάδες καλλιεργειών (Farmer block)	Φυσικά όρια (Physical block)	Γεωτεμάχιο (Cadastral parcel)
Περιεχόμενο/Κάλυψη	Μία καλλιέργεια	Μία ή περισσότερες καλλιέργειες	Μία ή περισσότερες ομάδες καλλιεργειών	Δεν ταιριάζει στα πρότυπα των υφιστάμενων καλλιεργειών
Χρήστης	Ένας αγρότης	Ένας αγρότης	Ένας ή περισσότεροι αγρότες	Ένας ή περισσότεροι αγρότες
Χρονικό πλαίσιο	Ετήσιο	Πολυετές	Ημι-μόνιμη κατάσταση	Δεν εφαρμόζεται

Εικόνα 3-5. Εφαρμογή τύπων αγροτεμαχίων αναφοράς επί ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων (LSO).

Υπάρχουν πολλοί λόγοι για αυτό. Καταρχήν, υπάρχει διαφορετική φιλοσοφία στο κτηματολόγιο σε σύγκριση με τους τύπους LPIS. Διεθνώς, στα συστήματα κτηματολογίου, ο προσδιορισμός του γεωτεμαχίου βασίζεται κυρίως στην ιδιοκτησία και όχι στην υφιστάμενη κάλυψη/χρήση γης. Το κύριο πρόβλημα της υιοθέτησης του γεωτεμαχίου ως αγροτεμάχιο αναφοράς, είναι η ύπαρξη γεωργικής και μη γεωργικής γης εντός αυτού. Έτσι, η επιλέξιμη επιφάνεια προς πληρωμή δεν μπορεί να προσδιοριστεί δίχως περαιτέρω επεξεργασία. Επιπλέον τα όρια της γεωργικής γης είναι εκτός πεδίου εφαρμογής του κτηματολογίου και συστημάτων Διοίκησης γης. Η διατήρησή τους μέσω ενημέρωσης του κτηματολογίου είναι περίπλοκη (Inan et al., 2010).

### 3.4.4 Δεδομένα προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura2000

Το Δίκτυο Natura2000 αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Αποτελείται από δύο κατηγορίες περιοχών:

α) τις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)» (Special Protection Areas - SPA) για την Ορνιθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία 79/409/ΕΚ «για τη διατήρηση των άγριων πτηνών» και

β) τους «Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)» (Sites of Community Importance – SCI) όπως ορίζονται στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ.

Με βάση την υλοποίηση του προαναφερθέντος έργου με το οποίο χαρτογραφήθηκαν τα εξωτερικά όρια των προστατευόμενων περιοχών και οι χερσαίοι τύποι οικοτόπων και του έργου «Εποπτεία και αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης ειδών και τύπων οικοτόπων κοινοτικού ενδιαφέροντος στην Ελλάδα, επικαιροποιήθηκε ο εθνικός κατάλογος δικτύου Natura2000. Η επικαιροποίηση του εθνικού καταλόγου θεσμοθετήθηκε με την υπ' αριθμ. 50743 ΚΥΑ «Αναθεώρηση εθνικού καταλόγου περιοχών του Ευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου Natura2000» (ΦΕΚ 4432Β/2017). Με την ως άνω θεσμοθέτηση προστέθηκαν νέοι ΤΚΣ και επεκτάθηκαν τα όρια υφιστάμενων ΤΚΣ. Πλέον, υφίστανται επικαιροποιημένα και θεσμοθετημένα γεωχωρικά δεδομένα για το σύνολο των προστατευόμενων περιοχών (χερσαίων και θαλάσσιων) του δικτύου Natura2000 στην Ελλάδα.

Τα εν λόγω δεδομένα παρέχονται ελεύθερα από το ΥΠΕΝ μέσω του ιστοτόπου του (<http://www.ypeka.gr>). Ειδική διαδικτυακή γεωχωρική πλατφόρμα έχει σχεδιάσει και αναπτύξει το ν.π.δ.δ. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ για τη θέαση, πλοήγηση και άντληση πληροφοριών για τις θεσμοθετημένες περιοχές του δικτύου «Natura2000», σε εθνικό επίπεδο (<http://maps.gov.gr>).



### 3.4.5 Διανομές και αναδασμοί γαιών

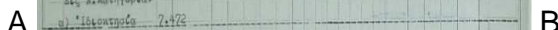
Ο πρωτογενής παραγωγικός τομέας αποτελεί έναν από τους σημαντικούς μοχλούς ανάπτυξης της χώρας μας. Η πολιτεία εδώ και ένα αιώνα εκτελεί έργα προκειμένου να διασφαλίσει την καλύτερη αξιοποίηση της γεωργικής γης, είτε εκπονώντας διανομές γεωργικών γαιών, είτε αναδιανέμοντας αυτές για την καλύτερη εκμετάλλευση τους, είτε υλοποιώντας αρδευτικά και αποστραγγιστικά έργα προστασίας αυτών.

Με τον όρο «Διανομή» νοείται η αρχική διαδικασία παραχώρησης αγροτικής γης σε ακτήμονες καλλιεργητές (κληρούχους), σύμφωνα με την εποικιστική νομοθεσία. Ο όρος «Συμπληρωματική Διανομή» αναφέρεται σε οποιαδήποτε μεταγενέστερη της αρχικής διανομής παραχώρησης γεωργικών εκτάσεων από τις διαθέσιμες εκτάσεις.

Ο Αναδασμός περιλαμβάνει το σύνολο των εργασιών που στόχο έχουν την διαμόρφωση, διάταξη και συγκέντρωση της εγγείου ιδιοκτησίας φυσικών ή νομικών προσώπων σε ελάχιστο ως προς τον αριθμό και μείζονα ως προς την έκταση (αγρο)τεμάχια ή τουλάχιστον σε (αγρο)τεμάχια των οποίων το σχήμα, η θέση και η διάταξη επιτρέπει την καλύτερη παραγωγική αξιοποίηση και εκμετάλλευση (Ν. 674/ΦΕΚ 242/01.09.1977). Δια του αναδασμού παραχωρούνται κτήματα ισάξια των αναδιανεμημένων. Ο αναδασμός ολοκληρώνεται με την τοπογραφική αποτύπωση και κτηματογράφηση της αναδιανεμητέας περιοχής, δηλ. με την κατάρτιση του σχετικού διαγράμματος και του κτηματολογικού πίνακα.

Τα στοιχεία των διανομών και αναδασμών περιλαμβάνουν τοπογραφικά διαγράμματα και συνοδευτικούς πίνακες με τα στοιχεία των ιδιοκτητών-κληρούχων. Τα διαγράμματα προσδιορίζουν την θέση, τα όρια, το μέγεθος και την χωρική κατανομή των (αγρο)τεμαχίων και λοιπών εκτάσεων των Αγροκτημάτων εντός των οποίων πραγματοποιήθηκαν αναδασμοί και διανομές. Οι πίνακες που συνοδεύουν τα διαγράμματα καθορίζουν τα δικαιώματα κυριότητας των απεικονιζόμενων στα διαγράμματα γεωτεμαχίων και λοιπών εκτάσεων, και τα στοιχεία των

Τα στοιχεία των διανομών και αναδασμών συνίστανται από: α) Την ονομασία του κτήματος με καθορισμένα όρια και την έκτασή του εντός της οποίας διενεργήθηκε αναδασμός ή διανομή, β) Τα (Αγρο)τεμάχια που ανήκουν σε ιδιώτες ή το δημόσιο, γ) Τα διαγράμματα αγροκτημάτων και συνοικισμών, δ) Το πρωτόκολλο οριστικού διαχωρισμού εκτάσεων του κτήματος, ε) Το Συνοπτικό Κτηματολογικό Πίνακα, στ) Τον Αναλυτικό Κτηματολογικό Πίνακα, ζ) Τον Πίνακα Μεταβολών, η) Το Απόσπασμα Κτηματολογικού Πίνακα και θ) Την Ανακεφαλαιωτική Κατάσταση.



Στο πλαίσιο του Γ΄ ΚΠΣ (2000-2006), υλοποιήθηκε το έργο «Ψηφιοποίηση στοιχείων των Διανομών και Αναδασμών» από την Κτηματολόγιο Α.Ε. (νυν Ελληνικό Κτηματολόγιο) με ίδια μέσα και σε συνεργασία με την Αγρογή Α.Ε. Με την ολοκλήρωση του έργου αυτού, ψηφιοποιήθηκαν τα στοιχεία των Αναδασμών και Διανομών (διαγράμματα και περιγραφική πληροφορία των (αγρο)τεμαχίων) στο σύνολο της χώρας, για την υποστήριξη του κτηματολογίου. Το σύνολο των ψηφιοποιημένων στοιχείων ενοποιήθηκαν ανά Αγρόκτημα ή

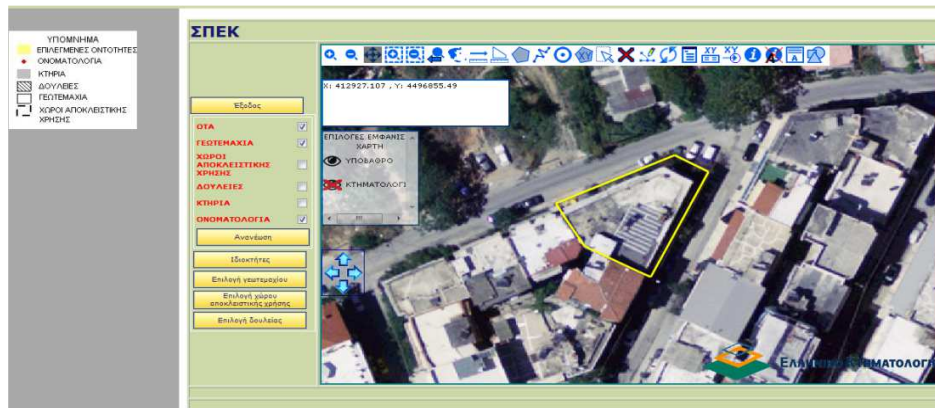
Συνοικισμό και καταχωρίσθηκαν σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών, έτσι ώστε κάθε (αγρο)τεμάχιο να συνδέεται με τα στοιχεία του ιδιοκτήτη / κληρούχου.

Τα στοιχεία των κυρωμένων Αναδασμών και Διανομών είναι απαραίτητα στη διαδικασία της κτηματογράφησης διότι προσδιορίζουν τα γεωτεμάχια ως προς τη θέση, τα όρια και το μέγεθος, καθώς και τα δικαιώματα κυριότητας επ' αυτών. Επιπλέον, είναι απαραίτητα στην κατάρτιση των Δασικών Χαρτών διότι εντός αυτών ισχύει ιδιαίτερο νομικό καθεστώς για τον χαρακτηρισμό των δασικών εν γένει και χορτολιβαδικών εκτάσεων (ν. 4061/2012 ως ισχύει). Αποτελούν δηλ. σημαντική πληροφορία για τη δημιουργία του κτηματολογίου.

### **3.4.6 Κτηματολογικά δεδομένα**

Ως κτηματολογικά δεδομένα νοούνται τα δεδομένα που περιλαμβάνονται στην τελική κτηματολογική βάση και η οποία αποτελεί το περιεχόμενο των πρώτων εγγραφών. Η κτηματολογική βάση περιλαμβάνει το αποτέλεσμα των διαδικασιών που προβλέπονται στα άρθρα 6, 7, 8, 8α και 8β του ν. 2308/95, όπως ισχύει, σε συνδυασμό με την επεξεργασία κάθε άλλου στοιχείου που έχει συλλεχθεί μετά την ημερομηνία τελευταίας ενημέρωσης της κτηματολογικής βάσης της ανάρτησης, σύμφωνα με τις διατάξεις του νόμου αυτού, λαμβανομένων υπόψη των περιορισμών του άρθρου 11 του ν. 2308/95. Τα ως άνω δεδομένα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: χωρικά και περιγραφικά.

Τα γεωχωρικά δεδομένα του κτηματολογίου υφίστανται σε μορφή σύμφωνα με το πρότυπο ESRI standard shapefile format. Τα περιγραφικά δεδομένα υφίστανται σε μορφή πινάκων (MS Access). Ολοκληρωμένη επισκόπηση τόσο των γεωχωρικών όσο και των περιγραφικών δεδομένων παρέχεται μέσω του Συστήματος Πληροφοριών Εθνικού Κτηματολογίου (ΣΠΕΚ) στα κατά τόπους κτηματολογικά γραφεία (Εικόνα 3-7).



Εικόνα 3-7. Χωρική επισκόπηση κτηματολογικής βάσης μέσω ΣΠΕΚ.

### 3.5 Ανασκόπηση Μεθόδων Ανίχνευσης Μεταβολών Γης από Δορυφορικά Δεδομένα

Επαρκείς και ακριβείς πληροφορίες για τις μεταβολές κάλυψης/χρήσεων γης είναι σημαντικές για την παρακολούθηση των φυσικών οικοσυστημάτων, την έρευνα περιβαλλοντικών αλλαγών και τη διαχείριση γης (Turner et al., 2007).

Τα δορυφορικά συστήματα παρατήρησης γης παρέχουν ποσοτικά δεδομένα μετρήσεων, υπό μορφή εικόνων, για την περιοχή που καλύπτουν, σε καθορισμένο χρόνο. Η βασική υπόθεση της χρήσης δεδομένων τηλεπισκόπησης στην ανίχνευση μεταβολών γης είναι ότι τυχόν μεταβολές μεταξύ δύο ή περισσότερων ημερομηνιών είναι δυνατόν να ανιχνευθούν, εφόσον αυτές αποκλίνουν από τα χαρακτηριστικά της κανονικής διακύμανσης. Οι ακολουθούμενες μέθοδοι για να είναι αποτελεσματικές πρέπει να μεγιστοποιούν την διαχρονική διακύμανση (inter-date variance) τόσο σε φασματικό όσο και σε χωρικό επίπεδο (Rogan and Chen, 2004).

#### 3.5.1 Ανάλυση δορυφορικών δεδομένων

Τυπικά, υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση μεταβολών γης της ίδιας περιοχής μελέτης: δι-χρονικά δεδομένα (εικόνες που λαμβάνονται αποκλειστικά σε δύο ημερομηνίες, συνήθως διαφορετικών ετών) και χρονικές σειρές δεδομένων. Οι τελευταίες διακρίνονται σε διεποχιακές (εικόνες που

λαμβάνονται σε διαφορετικές εποχές του ίδιου έτους) και χρονικής τροχιάς (εικόνες που λαμβάνονται σε ίδιες ημερομηνίες διαφορετικών ετών, περισσότερα από δύο). Οι εικόνες χρονικής τροχιάς είναι δυνατόν να περιλαμβάνουν εικόνες διαφορετικών ημερομηνιών/εποχών εντός του εκάστοτε έτους.

#### **3.5.1.1 Ανάλυση δι-χρονικών δεδομένων**

Όταν η ανίχνευση μεταβολών γης βασίζεται σε δι-χρονικά δεδομένα, συγκρίνονται δύο εικόνες δύο διαφορετικών ημερομηνιών. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης είναι η δημιουργία της λεγόμενης «μάσκας αλλαγών». Η «μάσκα αλλαγών»  $M$ , είναι ένας πίνακας διαστάσεων  $m \times n$ , όπου η τιμή του κάθε εικονοστοιχείου ή αντικειμένου  $M_{ij} = 1$  αν έχει αλλάξει και  $M_{ij} = 0$  αν δεν έχει αλλάξει.

Η ανάλυση δι-χρονικών δεδομένων συνήθως εφαρμόζεται για τη διάκριση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, οι οποίες είναι διακριτές έναντι αυτών που είναι συνεχείς (Abuelgasim et al., 1999). Κύριο πεδίο εφαρμογής της ανάλυσης αυτής είναι η μέθοδος της συγκριτικής μετα-ταξινόμησης, όπου συγκρίνονται διαχρονικά προκαθορισμένες κατηγορίες μορφών κάλυψης/χρήσεων γης (π.χ. αστικές περιοχές, γεωργικές περιοχές, δάση, ύδατα, κ.λπ.).

#### **3.5.1.2 Ανάλυση χρονικών σειρών δεδομένων**

Όταν η ανίχνευση μεταβολών γης βασίζεται σε δεδομένα υψηλής χρονικής ανάλυσης, λαμβάνονται πολλαπλές εικόνες διαφορετικών ημερομηνιών και ανά εποχή για την ίδια περιοχή.

Σε αντίθεση με την ανάλυση δι-χρονικών δεδομένων, η ανάλυση αυτή λαμβάνει υπόψη της πληροφορίες με βάση τη χρονική δυναμική των μεταβολών. Βασίζεται δηλ. περισσότερο στην παρατήρηση της επιφάνειας της γης, παρά στις διαφορές δύο ή περισσότερων εικόνων διαφορετικών περιόδων. Συνεπώς, η ανίχνευση μεταβολών είναι συνεχής. Όμως, οι τυχόν μεταβολές αφορούν συνήθως μία μεταβλητή (π.χ. κάλυψη δάσους, κάλυψη δόμησης, κ.λπ.) της υπό έρευνα περιοχής. Η ανίχνευση μεταβολών επιτυγχάνεται με τον χαρακτηρισμό φασματικών

περιοχών κάλυψης γης, σε εικόνες υψηλής χρονικής ανάλυσης. Η ανάλυση δηλ. βασίζεται αποκλειστικά σε φασματικά δορυφορικά δεδομένα, κυρίως δεικτών.

Ο σκοπός της ανάλυσης αυτής επικεντρώνεται στον προσδιορισμό της ανάλυσης της τάσης (trend analysis) και του βαθμού αλλαγής της μεταβλητής διαχρονικά. Οι μεταβολές μπορεί να είναι σταδιακές (gradual) ή απότομες (abrupt). Στην ανίχνευση των πρώτων εφαρμόζεται η ανάλυση παλινδρόμησης. Οι σταδιακές μεταβολές ανιχνεύονται από τους συντελεστές της κλίσης (slope) ή τα εναπομείναντα σφάλματα (residuals). Στην ανίχνευση των δεύτερων, εφαρμόζεται η χρονική κατάτμηση. Για τον προσδιορισμό της θέσης των μεταβολών χρησιμοποιείται συνήθως ένα στατιστικό τεστ σημαντικότητας.

Από το 2009, η νέα αυτή προσέγγιση υιοθετήθηκε για την προώθηση της επιστήμης στο ερευνητικό πεδίο «μεταβολές γης», λόγω της ελεύθερης πρόσβασης της επιστημονικής κοινότητας, και όχι μόνο, στο αρχειακό υλικό εικόνων Landsat (Woodcock et al., 2008· Wulder et al., 2018). Η νέα προσέγγιση επεκτείνει την προαναφερθείσα απλή μέθοδο την ανίχνευσης μεταβολών από δι-χρονική κλίμακα σε πολυ-χρονική (Jin and Sader, 2005· Latifovic and Pouliot, 2005· Kennedy et al., 2007· Huang et al., 2010· Zhu et al., 2012· Sexton et al., 2013b· Franklin et al., 2015). Μέχρι σήμερα όμως, περιορίζεται σε χρονικές σειρές εικόνων Landsat.

Η συγκεκριμένη προσέγγιση δύναται να δημιουργήσει νέα προϊόντα κάλυψης γης, τα οποία αναδεικνύουν πιο περίπλοκες καταστάσεις και αλλαγές κάλυψης/χρήσεων γης. Με τη χρήση χρονικών σειρών δεδομένων επιτυγχάνεται μεγαλύτερη κατανόηση της δυναμικής της κάλυψης γης και ο προσδιορισμός των επιπτώσεων αυτών των αλλαγών στη διαχείριση γης και στην παραγωγή των οικοσυστημάτων (Yang, 2018).

Η ανάλυση χρονικών σειρών εικόνων έχει περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τη δι-χρονική ανάλυση (Bullock et al., 2020): α) αυξάνει τον αριθμό δεδομένων εισόδου για την

ταξινόμηση, π.χ. με τη χρήση δεικτών διαφορετικών εποχών (Pasquarella et al., 2017), β) επιτρέπει την κάλυψη κενών οφειλόμενων σε σύννεφα, ατμοσφαιρικούς ρύπους ή απώλεια δεδομένων ανίχνευτή (Roy et al., 2008· Zhu et al., 2015b), και γ) επιτρέπει την παρακολούθηση του υπό έρευνα φαινομένου σε κοντινό-πραγματικό χρόνο και την ενημέρωση με νέα δεδομένα (Hermosilla et al., 2017). Επιπλέον πλεονέκτημα της ανάλυσης χρονικών σειρών, είναι ο προσδιορισμός του χρόνου στον οποίον πραγματοποιήθηκε η μεταβολή, το οποίο είναι κρίσιμο στοιχείο στην παρακολούθηση μεταβολών σε κοντινό-πραγματικό χρόνο (π.χ. μεταβολή δασών και παρακολούθηση φυσικών καταστροφών) (Li et al., 2018).

Ωστόσο, αν και πολλά υποσχόμενα, εγείρονται διάφορα θέματα που χρήζουν αξιολόγησης και περαιτέρω διερεύνησης (Yang, 2018): α) Από άποψη θεματικού περιεχομένου, υπάρχει φασματική διακύμανση εντός μιας κατηγορίας κάλυψης (π.χ. διαφορετικοί τύποι αγροτικών καλλιεργειών) και φασματική ομοιότητα διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης (π.χ. δασωμένοι υγρότοποι έναντι δασών σε ημι-ορεινές περιοχές), και β) από άποψη χρονικού ορίζοντα, τα σφάλματα και οι αποκλίσεις λόγω διαφορετικών δεδομένων και μεθόδων μεταξύ χρονικών σειρών φασματικών δεδομένων οδηγούν σε εσφαλμένη ανίχνευση του βαθμού των ενδεχόμενων μεταβολών και έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα (ακρίβεια) του τελικού προϊόντος (χάρτης ταξινόμησης). Στο ίδιο ως άνω άρθρο, επισημαίνεται η ανάγκη λήψης επαρκών δειγμάτων εκπαίδευσης, σε χωρικό και χρονικό επίπεδο, και η αξιοποίηση διαθέσιμων στοιχείων για τη διάκριση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και των μεταβολών τους με ακρίβεια στο χρόνο. Αυτό ειδικώς συνίσταται σε περιοχές με μεγάλη ποικιλότητα τοπίου και παρουσία κατηγοριών κάλυψης γης με διαφορετική χωρική/χρονική κατανομή, σχήμα και μέγεθος (π.χ. υδάτινα σώματα όπως χείμαρροι έναντι υλοτομημένων δασικών τμημάτων).

Μέχρι σήμερα, η ανάλυση χρονικών σειρών εικόνων, με βάση δορυφορικές εικόνες Landsat, εφαρμόστηκε αποκλειστικώς στην ανίχνευση μεταβολών ενός μόνου στόχου (change target) ή ενός παράγοντα μεταβολής (change agent) (Zhu, 2017). Ο στόχος μεταβολής είναι μια και μοναδική κατηγορία κάλυψης γης (κυρίως δάση ή διερεύνηση της τάσης στη φυσική βλάστηση). Ο παράγοντας μεταβολής είναι το αίτιο πρόκλησης της μεταβολής. Όταν οι μεταβολές είναι φυσικές, ο παράγοντας αφορά στο αίτιο (π.χ. πυρκαγιά, προσβολή εντόμων, πλημμύρα και ξηρασία) του εκάστοτε φυσικού φαινομένου αντίστοιχα (καταταστροφή δάσους, νέκρωση ειδών βλάστησης, μεγάλο ύψος βροχής και παρατεταμένη ανομβρία/υψηλή θερμοκρασία). Όταν οι μεταβολές είναι ανθρωπογενείς, ο παράγοντας αφορά κυρίως στη χρήση γης (π.χ. δόμηση, αγροτική εκμετάλευση, εξόρυξη ή υλοτομία). Η ως άνω επικρατούσα ερευνητική τάση οφείλεται στο γεγονός ότι κατά αυτόν τον τρόπο, διευκολύνεται και επιτυγχάνεται η ανίχνευση μεταβολών με μεγαλύτερη ακρίβεια με την κατάλληλη επιλογή ορίων και δεικτών, για τον αντίστοιχο στόχο μεταβολής.

Συνεπώς, η ανάλυση χρονικών σειρών δορυφορικών δεδομένων, δεν είναι επαρκής στην ταυτόχρονη ανίχνευση μεταβολών διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης σε μεγάλης έκτασης περιοχές (Jin et. al., 2013b). Το θέμα των μικτών εικονοστοιχείων παραμένει και στην περίπτωση αυτή, ως πρόβλημα αλλά και πρόκληση στην ταξινόμηση κάλυψης γης.

Αναφορικά ως προς την ανίχνευση μεταβολών με χρονικές σειρές δορυφορικών εικόνων Sentinel, η βιβλιογραφία είναι περιορισμένη λόγω της πρόσφατης εκτόξευσης και λειτουργίας της σειράς αυτής δορυφόρων. Οπότε το θέμα είναι ανοικτό. Ως προς τη εφαρμογή πολυφασματικών δεδομένων, στο επιστημονικό αυτό πεδίο, ενδεικτικά αναφέρονται, ο συνδυασμός εικόνων Sentinel-2 και ραντάρ Sentinel-1 στην ταξινόμηση κάλυψης γης (Ienco et al., 2019), η χρήση διεποχιακών εικόνων Sentinel-2 στην ταξινόμηση αγροτικών καλλιεργειών



(Belgiu και Csillik, 2018), η αξιολόγηση των φασματικών και χωρικών διεποχιακών εικόνων Sentinel-2 στην εκτίμηση του ιστάμενου όγκου δάσους στην Ροδόπη (Chrysafis et al., 2019), και ο συνδυασμός εικόνων Sentinel-2 με χρονικές σειρές εικόνες Landsat-8 OLI στην ταξινόμηση κάλυψης γης (Griffiths et al., 2019) και στην παρακολούθηση ξεροτόπων (Pastick et al., 2018).

### **3.5.2 Μονάδα ανάλυσης**

Στην ανίχνευση μεταβολών υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες μονάδας ανάλυσης: με βάση το εικονοστοιχείο και με βάση το αντικείμενο εικόνας. Σ' αυτές θα μπορούσε να προστεθεί ως μονάδα ανάλυσης και το πολύγωνο διανυσματικής μορφής, όπως προέρχεται από στερεοσκοπική ή μονοσκοπική φωτοερμηνεία και απόδοση επί χαρτογραφικού υποβάθρου (Tewkesbury et al., 2015). Ανεξαρτήτως της μονάδας ανάλυσης, η ανίχνευση μεταβολών επικεντρώνεται στη σύγκριση μεταξύ των εικόνων, οι οποίες όμως έχουν την ίδια χωρική ανάλυση, και έχουν ληφθεί από τον ίδιο δορυφορικό ανιχνευτή ή έχουν παραχθεί από ανιχνευτές ίδιου τύπου, σε διαφορετικές ημερομηνίες (Zhang et al., 2016).

### **3.5.3 Στάδια ανίχνευσης μεταβολών**

Γενικώς, η διαδικασία ανίχνευσης μεταβολών αποτελείται από τέσσερα (4) στάδια: προ-επεξεργασία δεδομένων, εξαγωγή μεταβολών, χαρακτηρισμός μεταβολών και δημιουργία χάρτη μεταβολών και έλεγχος ακρίβειας (Hecheltjen et al., 2014).

Η προ-επεξεργασία δεδομένων αφορά στην ατμοσφαιρική διόρθωση, στον εντοπισμό νεφών και σκιών και στη δημιουργία δεικτών, σύνθετων (composites) ή συγχωνευμένων (fused) εικόνων (Zhu, 2017). Στην ανίχνευση μεταβολών, σημαντικός παράγοντας επιτυχίας είναι η χρήση δορυφορικών εικόνων γνωστής και υψηλής ποιότητας, προκειμένου να επιτρέπεται η γεωμετρική τους συνόρθωση με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, να μειώνονται οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας και να διευκολύνεται η χρήση τους.

Η εξαγωγή μεταβολών είναι το πιο κρίσιμο στάδιο. Σ' αυτό, εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές και αλγόριθμοι, όπως αναφέρονται ακολούθως, προκειμένου να προσδιοριστούν οι μεταβολές. Ως αποτέλεσμα της διαδικασίας στην πιο απλή μορφή, παράγονται φασματικά δεδομένα δυαδικής μορφής (μεταβληθέντα και μη) και αναγνωρίζονται τα εικονοστοιχεία των οποίων οι τιμές άλλαξαν και αυτών που παρέμειναν σταθερές. Εφόσον, το πλαίσιο σύγκρισης έχει καθοριστεί, οι μονάδες ανάλυσης είναι δυνατόν να συγκριθούν και οι μεταβολές να εντοπιστούν.

Το 3<sup>ο</sup> Στάδιο αφορά στον χαρακτηρισμό των μεταβολών και το είδος τους. Σ' αυτό, λαμβάνονται οι αποφάσεις αν πρόκειται για πραγματικές μεταβολές ή όχι, και το είδος τους ανάλογα με φασματικά όρια τιμών, όπως καθορίζονται από τον αναλυτή. Με βάση τον χαρακτηρισμό τους, ταξινομούνται ανά κατηγορία κάλυψης. Κατόπιν ανάλυσης, παράγεται ο χάρτης μεταβολών με τις μετατροπές των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης υπό την μορφή «μετατροπή από/σε κατηγορία» για κάθε κατηγορία ή τροποποιήσεις της κάθε κατηγορίας ανάλογα με την αύξηση ή την μείωση της τιμής του εφαρμοζόμενου δείκτη. Η σύγκριση χαρτογραφικών απεικονίσεων για διαφορετικές χρονικές περιόδους είναι η βάση για την παρακολούθηση μεταβολών κάλυψης γης (Stehman και Foody, 2019).

Το τελευταίο στάδιο στην ανίχνευση αλλαγών, αφορά στο έλεγχο της θεματικής ακρίβειας του χάρτη μεταβολών κάλυψης γης και περιγράφεται στο τέλος του κεφαλαίου αυτού.

#### **3.5.4 Ανασκόπηση τεχνικών εξαγωγής μεταβολών από δορυφορικά δεδομένα**

Η κύρια πρόκληση στην ανίχνευση μεταβολών γης είναι η εξαγωγή των μεταβολών κάλυψης γης και η διάκρισή τους από άλλου είδους μεταβολές, οι οποίες οφείλονται σε φυσικούς λόγους (καιρικές και κλιματικές συνθήκες) ή άσχετους παράγοντες (Jin et al., 2013b). Εάν το είδος της μεταβολής είναι γνωστό, τότε η ανίχνευση μεταβολών είναι στοχευμένη και συνεπώς πιο εύκολη. Στην περίπτωση αυτή, με τον περιορισμό των ενδεχόμενων μεταβολών σε

συγκεκριμένες κατηγορίες κάλυψης γης, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια ανίχνευσής τους, με βάση όρια τιμών και δείκτες αλλαγών, που καθορίζονται και επιλέγονται ειδικά για τον τύπο μεταβολής (Zhu, 2017).

Από την ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας, προκύπτει ότι δεν υπάρχει μία και μοναδική μέθοδος (αλγόριθμος) στην ανίχνευση και την ανάλυση μεταβολών γης, η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί καθολικά και οπουδήποτε στη γη (Bullock et al., 2020). Ειδικότερα, στην ανίχνευση μεταβολών κάλυψης γης σε μεγάλης έκτασης γεωγραφικές περιοχές, διαπιστώνεται ότι υπεισέρχονται σφάλματα (π.χ. φασματική ομοιότητα διαφορετικών κατηγοριών γης) όταν χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο φασματικά δεδομένα.

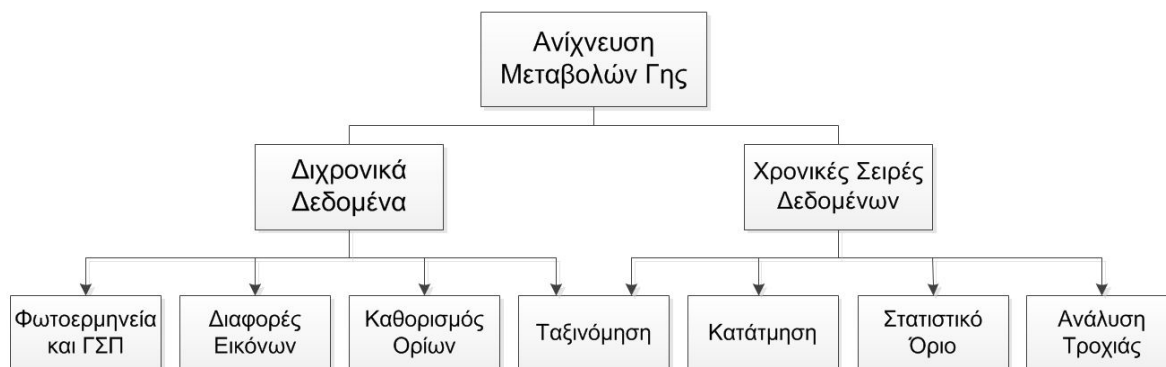
Προφανώς, απαιτείται η επεξεργασία και η ανάλυση όλων των διαθέσιμων γεωχωρικών δεδομένων από τις υπάρχουσες πηγές, που να καλύπτουν χωρικά, φασματικά και χρονικά την περιοχή έρευνας και να ανταποκρίνονται στον ερευνητικό σκοπό. Αυτό βέβαια ισχύει για όλες τις περιοχές και ειδικά σε περιοχές ανομοιογενείς, με μεγάλη δηλ. ποικιλότητα τοπίου και οριακές καταστάσεις κάλυψης, όπως είναι η περιοχή της παρούσας έρευνας.

Επίσης, διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια διαρκής ερευνητική προσπάθεια για την ανάπτυξη αποτελεσματικών αυτόματων και ημι-αυτόματων μεθόδων για την παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σε όλα τα επίπεδα. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου έχει ιδιαίτερη σημασία, διότι έχει επιπτώσεις στην ποιότητα του τελικού χάρτη μεταβολών (Lu et al., 2004).

Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την ανάλυση των αλλαγών στην κάλυψη γης με βάση δορυφορικά δεδομένα, είναι ποικίλες. Στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν εξαιρετικές ανασκοπήσεις των μεθόδων που χρησιμοποιούνται (Lu et al., 2004, Hussain et al. 2013· Lu, et al., 2014· Tewkesbury et al., 2015· Zhou, 2017). Η αποτελεσματικότητα της κάθε μεθόδου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (Bullock, 2020): την ποιότητα και ποσότητα των

δεδομένων, τη στιβαρότητα του αλγόριθμου στον θόρυβο εικόνας ή σε αναληθείς μεταβολές, στο είδος των μετρητικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται ως βάση για τη διάκριση των μεταβολών, στην απόδοση του δείκτη μεταβολής σε σχέση με τις υφιστάμενες μορφές κάλυψης και την κατάσταση μεταβολής τους, και από τις καθοριζόμενες από τον αναλυτή παραμέτρους με τις οποίες ρυθμίζεται ο αλγόριθμος. Κατά τον ίδιο, τα τυχόν σφάλματα σχετίζονται πλήρως με τον εκάστοτε εφαρμοζόμενο αλγόριθμο, για τους ως άνω λόγους. Είναι αυτονόητο ότι ο τελικός χάρτης μεταβολών που προκύπτει διαφέρει από μέθοδο σε μέθοδο.

Από την ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας, προκύπτει ότι οι εφαρμοζόμενοι μέθοδοι εμπίπτουν σε επτά (7) μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται είτε σε διχρονικά δεδομένα είτε σε χρονικές σειρές δεδομένων (Εικ. 3-8). Από αυτές, οι τρεις (3) εφαρμόζονται σε διχρονικά δεδομένα και οι υπόλοιπες τρεις (3) σε χρονικές σειρές δεδομένων. Η έβδομη κατηγορία «Ταξινόμηση» εφαρμόζεται τόσο σε διχρονικά δεδομένα όσο και σε χρονικές σειρές δορυφορικών εικόνων. Υπό το πρίσμα του παραγόμενου αποτελέσματος, οι αλγόριθμοι αυτοί είτε επιστρέφουν την τιμή λαμπρότητας ή την πιθανότητα μεταβολής (αλγόριθμοι άλγεβρας εικόνων, καθορισμού ορίων, στατιστικού ορίου), είτε το είδος/κατεύθυνση της μεταβολής (αλγόριθμοι μετασχηματισμού, κατάτμησης, ανάλυσης τροχιάς) ή απευθείας το χάρτη μεταβολής (αλγόριθμοι ταξινόμησης). Στους τελευταίους δεν απαιτείται περαιτέρω ανάλυση.



Εικόνα 3-8. Ταξινόμηση μεθόδων ανίχνευσης μεταβολών γης.

Οι κατηγορίες μεθόδων της Εικόνας 3-8 περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

Επίσης τα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες τους. Σε μερικές περιπτώσεις, υπάρχουν παραπομπές σε παραδείγματα αλλά δεν δίνονται λεπτομέρειες.

#### 3.5.4.1 Φωτοερμηνεία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Η φωτοερμηνεία είναι ο πλέον παραδοσιακός τρόπος διάκρισης μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και ανίχνευσης των μεταβολών τους στο χρόνο. Μονάδα ανάλυσης είναι το πολύγωνο διανυσματικής μορφής. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται η στερεοσκοπική και η μονοσκοπική φωτοερμηνεία. Η πρώτη εφαρμόζεται σε ένα ζεύγος αναλογικών αεροφωτογραφιών με τη χρήση ενός στερεοσκοπίου (π.χ. τσέπης ή κατοπτρικού) ή επί ζεύγους ψηφιακών αεροφωτογραφιών που προβάλλονται στην οθόνη ενός υπολογιστή. Με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού και εξοπλισμού (π.χ. φωτογραμμετρικός σταθμός) και τρισδιάστατων οπτικών επιτυγχάνεται η τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου και η στερεοσκοπική φωτοερμηνεία των εκτάσεων μιας περιοχής.

Βασικά ερμηνευτικά στοιχεία που λαμβάνονται υπόψιν για την αναγνώριση των αντικειμένων στις αεροφωτογραφίες είναι: ο φωτογραφικός τόνος του γκρι (για ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες) και το χρώμα (για έγχρωμες), το μέγεθος, το σχήμα, η σκιά, η υφή, η

διάταξη, και η σχέση με το περιβάλλον (Καρτέρης, 1995). Ενδεικτικά παράδειγμα εφαρμογής της στην Ελλάδα, είναι η κατάρτιση Δασικών Χαρτών.

Η μονοσκοπική φωτοερμηνεία εφαρμόζεται επί ψηφιακών ορθοεικόνων που προέρχονται είτε από αεροφωτογραφίες (ασπρόμαυρες ή έγχρωμες) είτε από δορυφορικές εικόνες. Ενδεικτικά πρόσφατα παραδείγματα στην Ελλάδα, όπου εφαρμόστηκε το ως άνω είδος φωτοερμηνείας, είναι η επικαιροποίηση των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου «Natura2000» (2015) και η παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης του προγράμματος «Copernicus» (2018), αντίστοιχα.

Όσο υψηλότερη είναι η ποιότητα του αεροφωτογραφικού υλικού (αντίθεση, χαρτί εκτύπωσης, κλίμακα, κ.λπ.) και η χωρική και η ραδιομετρική των δορυφορικών δεδομένων, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται στην αναγνώριση των αντικειμένων. Ο κύριος όμως παράγοντας στην επιτυχή άσκηση της φωτοερμηνείας πέραν της ποιότητας, είναι η εμπειρία του φωτοερμηνευτή και ο βαθμός γνώσης και εξοικειώσής του καταρχήν με τα χαρακτηριστικά του υλικού και των δεδομένων, την περιοχή μελέτης και τα υπό αναγνώριση αντικείμενα. Σε κάθε περίπτωση, η συλλογή και χρήση δεδομένων και πληροφοριών για την περιοχή μελέτης είναι αυτονόητη και κρίσιμη για την ακρίβεια της φωτοερμηνείας.

Ειδικότερα, στην περίπτωση φωτοερμηνείας δορυφορικών εικόνων σε ψηφιακή μορφή, βασικό ρόλο στη διάκριση και αναγνώριση αντικειμένων είναι η γνώση και επιλογή των κατάλληλων διαύλων του εκάστοτε δορυφόρου για την αναγνώριση της κάθε κατηγορίας κάλυψης γης. Για παράδειγμα, για την αναγνώριση της βλάστησης σε εικόνες Landsat 5 TM ενδείκνυται να χρησιμοποιούνται οι δίαυλοι 4,3,2 (υπέρυθρη έγχρωμη) ή 4,5,3 (RGB) ενώ σε εικόνες Sentinel-2 οι δίαυλοι B4, B3, B2 (φυσικά έγχρωμη) ή B8, B4, B3 (υπέρυθρη έγχρωμη) ή B12,B8A,B4 (RGB). Σε αντίθεση, για την αναγνώριση των αγροτικών εκτάσεων, σε εικόνες

Landsat 5 TM ενδείκνυται να χρησιμοποιούνται οι δίαυλοι 7,4,2 (RGB) ενώ σε εικόνες Sentinel-2 οι δίαυλοι B11, B8, B2 (RGB).

Αναφορικά ως προς την ψηφιακή απόδοση των ορίων των εκτάσεων μεταβαλλόμενων ή/και μη, επί χαρτογραφικού υποβάθρου, χρησιμοποιούνται τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, εμπορικά ή ελεύθερα. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την δημιουργία, ανάλυση, διαχείριση, επεξεργασία, και περιήγηση γεωχωρικών δεδομένων συμπεριλαμβανομένου των χαρακτηριστικών τους στη βάση δεδομένων και χρησιμοποιούνται σε χιλιάδες εφαρμογές σήμερα.

Ειδικότερα, ως προς την ανάλυση κάλυψης γης διαφορετικών ετών αναφοράς και τον προσδιορισμό χωρικά και ποσοτικά των μεταβολών, ενδιαφέρον παρουσιάζει το εξειδικευμένο λογισμικό «InterChange 4.0». Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει αναπτυχθεί από το Ευρωπαϊκό Θεματικό Κέντρο Συστημάτων Πολεοδομίας, Γης και Εδάφους (ETC/ULS), με έδρα την Ουγγαρία. Η ανάπτυξή του χρηματοδοτήθηκε από τον ΕΟΠ, για την υποστήριξη της υλοποίησης του προγράμματος «Copernicus» (2018).

Πρόκειται για ένα αυτοτελές πρόγραμμα που αναπτύχθηκε με βάση τα Embarcadero Delphi 10 και TatukGIS Developer Kernel. Παρέχει εργαλεία για την ενημέρωση, ανίχνευση μεταβολών γης, έλεγχο ποιότητας και διόρθωση της βάσης δεδομένων του Corine μέσω ψηφιακής φωτοερμηνείας και απόδοση των ορίων των κατηγοριών κάλυψης γης. Οι μεταβολές προσδιορίζονται ποσοτικά ανά κατηγορία κάλυψης και εξάγονται σε μορφή αρχείου. Συνεπώς, δεν απαιτείται η αγορά και εγκατάσταση άλλου λογισμικού για την ανίχνευση μεταβολών και χαρτογράφησης αυτών.

#### **3.5.4.2 Άλγεβρα εικόνων**

Η ανίχνευση των μεταβολών επιτυγχάνεται με την σύγκριση φασματικών διαύλων ή των εικόνων που προκύπτουν από την εφαρμογή δεικτών, σε εικόνες λήψης δύο χρονικών περιόδων.

Οι μεταβολές καθορίζονται χωρικά. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι αλγόριθμοι: α) Αφαίρεσης εικόνων, β) Λόγος εικόνων, γ) Δείκτες διαφοράς, και δ) Ανάλυσης Διανύσματος Μεταβολής.

Η μέθοδος της διαφοράς εικόνων αποτελεί έναν απλό τρόπο για την ανίχνευση μεταβολών σε δύο φασματικές εικόνες, οι οποίες αναπαριστούνται από δύο τυχαία διανύσματα  $E_1$  και  $E_2$  διαστάσεων  $N$ . Με την αφαίρεση αυτών, προκύπτει η εικόνα διαφορών  $D_i = E_{1i} - E_{2i}$ , για κάθε διάσταση  $i = 1, \dots, N$ . Μικρές διαφορές φωτεινότητας σημαίνουν καμία μεταβολή ενώ μεγάλες θετικές ή αρνητικές διαφορές σημαίνουν μεταβολή. Με τον καθορισμό στατιστικών ορίων, ελέγχεται η σημαντικότητα αυτών. Συνήθως οι τιμές των ορίων εκφράζονται με την τυπική απόκλιση από τον μέσο όρο διαφοράς των εικόνων, ο οποίος αντιστοιχεί στη κατηγορία «καμία μεταβολή». Αν οι εικόνες είναι στατιστικά ασυσχέτιστες, η διακύμανση ( $V$ ) της εικόνας διαφορών υπολογίζεται ως εξής:  $V(D_i) = V(E_{1i}) + V(E_{2i})$ ,  $i = 1, \dots, N$  ή περίπου διπλάσια του θορύβου των εκάστοτε διαύλων των δύο εικόνων. Όταν οι στατιστικά σημαντικές υπογραφές των φασματικών διαύλων συνδυάζονται για τον χαρακτηρισμό του είδους των μεταβολών, τότε πρόκειται για ανάλυση διανύσματος μεταβολής (Jensen, 2005).

Ως προς το λόγο δύο εικόνων, όταν η τιμή του είναι κοντά στη μονάδα τότε αυτή αντιστοιχεί σε «καμία μεταβολή» ενώ μικρές και μεγάλες τιμές υποδεικνύουν την ύπαρξη μεταβολής. Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής αποτελεί η περίπτωση στην οποία ο λόγος τυχαίων μεταβλητών να μην ακολουθεί την κανονική κατανομή ακόμη και στην περίπτωση που οι ίδιες τυχαίες μεταβλητές την ακολουθούν. Στην περίπτωση αυτή τα στατιστικά όρια που βασίζονται στη τυπική απόκλιση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθούν. Γενικώς, για δεδομένα με επιπρόσθετα σφάλματα, όπως είναι τα πολυφασματικά δεδομένα εικόνων, χρησιμοποιείται η γραμμική



συσχέτιση των παρατηρήσεων στην απόρριψη της υπόθεσης «καμία μεταβολή», παρά ο λόγος των δύο εικόνων.

Στους Δείκτες Διαφοράς, περιλαμβάνονται ο Κανονιοποιημένος Δείκτης Διαφορών Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) (Hayes and Sader, 2001), ο Κανονιοποιημένος Δείκτης Διαφορών Αντανάκλασης (Normalized Difference Reflectance Index - NDRI), ο Κανονιοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Υγρασίας (Normalized Difference Wetness Index - NDWI) (Jin and Sader, 2005), ο Δείκτης Διατάραξης (Disturbance Index - DI) (Neigh et al., 2014), και ο Δείκτης Πρωτογενών Φασματικών Διαύλων (Hagolle et al., 2010).

Ο αλγόριθμος της Ανάλυσης Διανύσματος Μεταβολής (Change Vector Analysis) εξετάζει την κατεύθυνση και το μέγεθος των μεταβολών στο φασματικό χώρο μεταξύ δύο χρονικών σημείων (Lambin και Strahler, 1994). Αναπτύχθηκε σε δεδομένα εικόνων Landsat με σκοπό την περιγραφή βιοφυσικών διαφορών (Allen και Kupfer, 2000). Η μέθοδος αυτή ελαχιστοποιεί τη συλλογή δεδομένων εκπαίδευσης και αναφοράς σε ιστορικά δορυφορικά δεδομένα. Ως δεδομένα αναφοράς χρησιμοποιούνται μη μεταβληθέντες περιοχές (Voronecii, 2014). Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει εφαρμοστεί στην παρακολούθηση δομημένων περιοχών σε λεκάνη απορροής με εικόνες Landsat (Mantas et al., 2016), στην ανίχνευση εποχιακών μεταβολών βλάστησης σε υδροτόπους με δεδομένα ραντάρ TerraSAR-X (Kuria et al., 2014) και στην ανίχνευση μεταβολών κάλυψης γης με εικόνες Landsat TM/ETM+ σε εθνικά πάρκα στον Καναδά, την περίοδο 1985–2005 (Fraser et al., 2009).

#### **3.5.4.3 Καθορισμός ορίων**

Η ανίχνευση μεταβολών ή «μη μεταβολής» καθορίζεται από όρια τιμών, τα οποία βασίζονται στην φασματική αντανάκλαση (είτε των φασματικών διαύλων των εικόνων είτε των εικόνων που προκύπτουν από την εφαρμογή δεικτών) για μια συγκεκριμένη κατηγορία κάλυψης γης και σε αλγόριθμους μετασχηματισμού των εικόνων. Στις μεθόδους αυτές, εφαρμόζονται δύο

βήματα: Στο πρώτο επιλέγονται κατάλληλοι διάυλοι των εικόνων, οι οποίοι αναδεικνύουν αποτελεσματικά τις διαφορές των υπό έρευνα κατηγοριών κάλυψης γης. Για την επιλογή κατάλληλων διαύλων, χρησιμοποιείται είτε η μέθοδος των Δεικτών είτε μέθοδοι μετασχηματισμού εικόνων, όπως η μέθοδος των κυρίων συνιστωσών (Principal Components Analysis – PCA) (Crapper και Mayo, 1980) και η μέθοδος «Tasselled Cap» (Christ και Cicone, 1984). Κατά τον τρόπο αυτό, μειώνεται η διάσταση των φασματικών διαύλων των δορυφορικών εικόνων. Στη συνέχεια, επιλέγονται κατάλληλα όρια τιμών και στις δύο πλευρές του ιστογράμματος. Για τον καθορισμό των ορίων χρησιμοποιούνται στατιστικοί παράμετροι (μέσος όρος και τυπική απόκλιση) της εξαγόμενης εικόνας με τις διαφορές. Τα όρια αυτά αντιπροσωπεύουν τη διάκριση των μεταβαλλόμενων και μη μεταβαλλόμενων περιοχών. Στην πράξη όμως ο καθορισμός των ορίων υπόκειται στην ικανότητα του αναλυτή και στη γνώση του για την περιοχή μελέτης (Lu et al., 2014). Οι μέθοδοι αυτοί έχουν εφαρμοστεί σε διχρονικής κλίμακας δεδομένα Landsat 5 TM και Landsat 8 (OLI) αποκλειστικά σε δάση (Vazquez-Jimenez et al., 2018).

Στην περίπτωση μεθόδων μετασχηματισμού, υπάρχουν έρευνες που εισάγουν μετασχηματισμούς, ως δεδομένα εισόδου στην ανάλυση μεταβολής κάλυψης. Παραδείγματα μετασχηματισμών αυτού του είδους είναι η χρήση του ψεύδοβαριογράμματος, ως στατιστική συνάρτηση για τον προσδιορισμό των μεταβολών (Berberoglou και Akin, 2009), το Ελάχιστο Κλάσμα Θορύβου (Minimum Noise Fraction - (MNF), η μέθοδος Gram-Schmidt, η Πολυ-παραμετρική Ανίχνευση Αλλαγών (Multivariate Alteration Detection - MAD), βασισμένη στην ανάλυση κανονικής συσχέτισης, ο Παράγοντας Μέγιστης Αυτοσυσχέτισης (Maximum Autocorrelation Factor - MAF) και η στατιστική συνάρτηση  $X^2$ , η οποία βασίζεται στην απόσταση Mahalanobis μεταξύ των εικονοστοιχείων διαφορετικών ημερομηνιών.

Οι περισσότερες των ερευνών με την μέθοδο καθορισμού ορίων χρησιμοποιούν χρονικές σειρές εικόνων Landsat. Η μέθοδος είναι απλή στην εφαρμογή της αλλά εξαρτάται από την τιμή του ορίου, η οποία καθορίζεται για μια συγκεκριμένη κατηγορία κάλυψης γης. Ανιχνεύονται όμως μόνο απότομες μεταβολές σε επίπεδο εικονοστοιχείου (Zhu, 2017).

#### **3.5.4.4 Ταξινόμηση**

Η σύγχρονη τηλεπισκόπηση και ανάλυση εικόνας, διευκολύνει τη σύγκριση εικόνων υπό διαφορετικά πλαίσια. Γενικώς, διακρίνονται δύο κύριες κατηγορίες ανάλυσης ανάλογα με την μονάδα ανάλυσης: α) με βάση το εικονοστοιχείο και β) με βάση τα αντικείμενα. Στην πραγματικότητα υπάρχουν και άλλοι περαιτέρω συνδυασμοί (Tewkesbury et al., 2015).

Στο πλαίσιο της διαδικασίας ανίχνευσης μεταβολών, οι μέθοδοι ταξινόμησης δύναται να διακριθούν σε τρεις (3) κατηγορίες ανάλογα με το χρονικό στάδιο εφαρμογής τους και το είδος των δορυφορικών δεδομένων (Lu et al., 2004· Jin et al., 2013b· Hecheltjen et al., 2014· Yu et al., 2016· Zhu, 2017): α) προ-ταξινόμηση β) μετα-ταξινόμηση και γ) ταξινόμηση χρονικών σειρών εικόνων.

Στην πρώτη κατηγορία, συγκρίνονται απευθείας δίαυλοι ή δείκτες εικόνων λήψης δύο αποκλειστικών διαφορετικών χρονικών σημείων  $t_1$  και  $t_2$ , σε επίπεδο εικονοστοιχείου (Deng et al., 2009· Ellis και Porter-Bolland, 2008· Yuan, et al., 2005). Ανεξαρτήτως του χρονικού διαστήματος λήψης των εικόνων που χρησιμοποιούνται, ο αλγόριθμος καταλήγει αποκλειστικά και μόνο σε δύο αποτελέσματα: «μεταβολή» και «μη μεταβολή». Οι μεταβολές δηλ. ταξινομούνται στις ως άνω δύο κατηγορίες. Το είδος όμως της συγκεκριμένης μεταβολής δεν προσδιορίζεται (Berberoglu and Akin, 2009· Lu et al., 2004).

Στην μετα-ταξινόμηση, ταξινομείται πρώτα ανεξάρτητα κάθε εικόνα λήψης διαφορετικών δύο διαφορετικών χρονικών σημείων  $t_1$  και  $t_2$ . Στη συνέχεια, αναγνωρίζονται και

προσδιορίζονται οι τυχόν μεταβολές κατόπιν σύγκρισης των ταξινομημένων εικόνων σε επίπεδο εικονοστοιχείου ή σε επίπεδο αντικειμένου εικόνας.

Η μετα-ταξινόμηση για την ανίχνευση μεταβολών ίσως είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος στην πράξη (Hussain et al., 2013). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατ' αυτήν αποφεύγονται οι επιδράσεις εξωτερικών παραγόντων στα αποτελέσματα της ανίχνευσης μεταβολών (Lu et al., 2012). Όμως επιδέχεται κριτικής για την αδυναμία της να επιλύσει το πρόβλημα των μικτών εικονοστοιχείων στις μεσαίας και μικρής χωρικής διακριτικής ικανότητας εικόνες και στην μεγάλη φασματική διακύμανση εντός της ίδιας κατηγορίας κάλυψης γης, σε εικόνες υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας (Lu et al., 2014). Τα αποτελέσματα της ανίχνευσης μεταβολών εξαρτώνται από την ακρίβεια της ταξινόμησης των εικόνων σε κάθε χρονική στιγμή (Jensen, 2005). Αυτό σημαίνει ότι τα σφάλματα ακρίβειας στην κάθε μεμονωμένη ταξινόμηση επιδρούν στην τελική ακρίβεια του χάρτη μεταβολών. Έχουν αναφερθεί διάφοροι τρόποι, όπως έλεγχος συμβατότητας και χωρο-χρονικές τεχνικές για την μείωση των σφαλμάτων αναπλήρωσης του τελικού χάρτη μεταβολών που προκύπτει (X. Li et al., 2015· Liu και Cai, 2012).

Τα πλεονεκτήματα της μετα-ταξινόμησης συνοψίζονται στην μείωση των επιδράσεων της ατμόσφαιρας, του ανιχνευτή και των περιβαλλοντικών συνθηκών στις δορυφορικές εικόνες που λαμβάνονται. Το κυριότερο όμως είναι ότι παρέχει πλήρεις και ποσοτικούς πίνακες μεταβολών κάλυψης γης, δηλ. «μετατροπή από/σε κατηγορία κάλυψης γης».

Οι συνήθεις μέθοδοι μετα-ταξινόμησης στην ανίχνευση μεταβολών μορφών κάλυψης/χρήσεων γης περιλαμβάνουν τις ακόλουθες μεθόδους (Yan et al., 2019): α) Απόφαση Δένδρου (Decision Tree) (Li et al., 2015· Punia et al., 2011), β) Τυχαίου Δάσους (Random Forest, RF) (Nitze et al., 2015, Jin et al., 2018), γ) Δικτύου του Bayes (Li et al., 2016), δ)

Μηχανή Διανύσματος Υποστήριξης (Support Vector Machine, SVM) (Vuolo και Atzberger, 2012, Ustuner et al., 2015), κ.λπ. όπως περιγράφονται στη συνέχεια.

Η μέθοδος της μετα-ταξινόμησης εφαρμόζεται σε συνδυασμό με άλλους αλγόριθμους εξαγωγής (άλγεβρα εικόνων, μετασχηματισμού, ανάλυσης αντικειμένων). Κατόπιν της εφαρμογής των τελευταίων για την εξαγωγή των διαφορών μεταξύ εικόνων ή δεικτών, ακολουθείται η μετα-ταξινόμηση για την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων των οποίων οι τιμές μεταβλήθηκαν, στις αντίστοιχες κατηγορίες κάλυψης γης.

Στην ταξινόμηση μεταβολών χρονικών σειρών δορυφορικών δεδομένων, δημιουργούνται χρονικές σειρές εικόνων της περιοχής μελέτης, αναλύονται και ελέγχονται τα εικονοστοιχεία ως προς την προσαρμογή των φασματικών τους χαρακτηριστικών στο χρόνο, υπολογίζονται και επιβεβαιώνονται τα σημεία ασυνέχειας, και τα οποία διαχωρίζονται και ταξινομούνται προκειμένου να δημιουργηθεί ο τελικός χάρτης μεταβολών (Yan et al., 2019). Ουσιαστικά δηλ. στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται πολλαπλοί χαρακτηρισμοί (επιγραφές) των εικονοστοιχείων από χρονικές σειρές εικόνων για την εκπαίδευση και πρόβλεψη των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σε τμήματα των εικόνων, για τα οποία δεν υπάρχουν στοιχεία (Gomez et al., 2016· Chen et al., 2017· Tian et al., 2017).

Όταν η μονάδα ανάλυσης είναι το αντικείμενο εικόνας, μια ομάδα δηλ. εικονοστοιχείων από όμοια χωρικά και φασματικά χαρακτηριστικά, τότε χρησιμοποιείται η αντικειμενοστραφής μέθοδος.

Η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας είναι σχετικά μια νέα μεθοδολογική προσέγγιση στο τομέα της ψηφιακής ανάλυσης εικόνας. Είναι πιο κοντά στις δυνατότητες της ανθρώπινης όρασης από ότι η ανάλυση που βασίζεται σε αυτοτελή εικονοστοιχεία. Αντικείμενα με σημασία

και νόημα τα οποία παράγονται από την ανάλυση εικόνας αντιπροσωπεύουν δομές του πραγματικού κόσμου (Baatz et al., 2002).

Η ταξινόμηση εικόνας βασιζόμενη στην ανάλυση αντικειμένων είναι μια μορφή επιβλεπόμενης ταξινόμησης, καθώς επιτρέπει το χρήστη να εκπαιδεύσει το σύστημα είτε με αντικείμενα δειγματοληψίας είτε με τον καθορισμό κανόνων. Η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση είναι συνδεδεμένη με την θεωρία ιεραρχίας, σύμφωνα με την οποία ένα σύστημα είναι οργανωμένο σε ιεραρχικά επίπεδα (Farina, 2000). Αυτά τα επίπεδα συνιστούν αύξουσες σειρές χωρικών και χρονικών κλιμάκων. Παρατηρήσεις σε μια συγκεκριμένη χωρική ή χρονική κλίμακα, οδηγούν σε συγκεκριμένες συναρτήσεις που εκφράζονται με μεγαλύτερη ένταση ή πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με άλλη κλίμακα (Patil et al., 2000). Τα χαμηλότερα επίπεδα στην ιεραρχία αντιστοιχούν σε μικρή κλίμακα και αντιστρόφως.

Η αντικειμενοστραφής ανάλυση αποτελείται από το στάδιο της κατάτμησης της εικόνας και το στάδιο της ταξινόμησης εικόνας. Στο 1<sup>ο</sup>, η εικόνα κατατμείται σε διακριτά αντικείμενα διαφορετικού μεγέθους, με όμοια χωρικά και φασματικά χαρακτηριστικά, σε συγκεκριμένη κλίμακα. Στο 2<sup>ο</sup>, τα αντικείμενα ταξινομούνται στην κλίμακά τους και σύμφωνα με το δομημένο πλαίσιο ιεράρχησης.

Στη διαδικασία ανίχνευσης μεταβολών, η μέθοδος είναι γνωστή ως «Αντικειμενοστραφής Ανίχνευση Αντικειμένων» (Object-Based Change Detection - OBCD). Για την καλύτερη κατανόηση αυτής, καθορίζεται ως η διαδικασία αναγνώρισης διαφορών γεωγραφικών αντικειμένων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές με τη χρήση της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας (Lu et al., 2014).

Η ανίχνευση μεταβολών με την μέθοδο αυτή πραγματοποιείται με την ανίχνευση αντικειμένων με διαφορετικά χωρικά και φασματικά χαρακτηριστικά διαχρονικά. Η ανάλυση

αντικειμένων δύναται να επιτευχθεί είτε με την απευθείας σύγκριση αντικειμένων εικόνας κατόπιν ανεξάρτητης κατάταξης δύο εικόνων είτε με την ταυτόχρονη κατάταξη πολυχρονικών σειρών εικόνων. Οι μεταβολές ανιχνεύονται με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων (τιμές διαύλων) είτε από την υφή ή τη γεωμετρία των αντικειμένων.

Η αντικειμενοστραφής ανάλυση ενδείκνυται για εικόνες με μεγάλη υφή και υψηλή ποικιλότητα, όπου αυτοτελή εικονοστοιχεία δεν συστήνουν λογικές ομάδες για ταξινόμηση (Baatz et al., 2002). Η προσέγγιση αυτή έχει αποδειχθεί ότι παράγει καλύτερα αποτελέσματα ταξινόμησης σε σύγκριση με τις παραδοσιακές ταξινομήσεις εικονοστοιχείων, ιδιαίτερα για εικόνες υψηλής διακριτικής ικανότητας (Lu και Weng, 2007). Από σημαντικό τμήμα ερευνών, προκύπτει ότι είναι ανώτερη της ταξινόμησης εικονοστοιχείων διότι μειώνει το φαινόμενο «salt and pepper» και είναι περισσότερο αποτελεσματική καθώς ενσωματώνει κριτήρια, όπως είναι το σχήμα, η υφή και η γειτνίαση στην ταξινόμηση και ανάλυση μεταβολών (Hansen και Loveland, 2012· Blaschke, 2010· Zhou και Troy, 2008).

Σε αντίθεση με τις μεθόδους ανίχνευσης μεταβολών σε επίπεδο εικονοστοιχείου, η ανάλυση αντικειμένων παρέχει ακριβέστερη οριοθέτηση αυτοτελών χαρακτηριστικών του τοπίου, τη δυνατότητα καθορισμού αντικειμένων από τον αναλυτή και περισσότερα ποσοτικά μετρήσιμα στοιχεία σε επίπεδο αντικειμένου εικόνας.

#### **3.5.4.5 Κατάταξη**

Στην μέθοδο της κατάταξης απαιτείται η διαθεσιμότητα όλων των χρονικών σειρών εικόνων. Με την κατάταξη αυτών σε ευθύγραμμα τμήματα, βάσει των εναπομείναντων σφαλμάτων και προσδιορισμού των γωνιών, τόσο οι απότομες όσο και οι σταδιακές μεταβολές δύναται να ανιχνευθούν σε επίπεδο εικονοστοιχείου. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει μεγάλες δυνατότητες στην ανίχνευση μεταβολών δασών σε μεγάλες περιοχές αλλά θεωρείται κοστοβόρος, λόγω των απαιτήσεων σε υπολογιστικούς πόρους (Zhu, 2017).

Ένα παράδειγμα αλγόριθμου της κατηγορίας αυτής αποτελεί ο αλγόριθμος «LandTrendr», ο οποίος δημιουργεί χρονικά τμήματα και στη συνέχεια συνενώνει και διαχωρίζει τα τμήματα που αντιστοιχούν σε διαφορετικά χρονικά στάδια κάλυψης και καταστάσεων (Kennedy et al., 2010). Για τον προσδιορισμό της θέσης των μεταβολών χρησιμοποιείται ένα στατιστικό τεστ σημαντικότητας. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος έχει επιτυχώς εφαρμοστεί αλλά μόνο στην παρακολούθηση μεταβολών των δασών (Pflugmacher et al., 2013· Fragal et al., 2016· Shimizu et al., 2017).

#### **3.5.4.6 Στατιστικό όριο**

Οι μέθοδοι στατιστικού ορίου βασίζονται στην υπόθεση ότι κάθε απόκλιση τιμών χρονικών σειρών εικόνων (δεικτών συνήθως) από ένα καθορισμένο όριο συνιστά μεταβολή (Zhu, 2017). Το στατιστικό αυτό όριο καθορίζεται με βάση τη θεωρία της οικονομετρίας και δημιουργίας μοντέλων. Σε όλες τις έρευνες με βάση τη μέθοδο του στατιστικού ορίου, έχουν χρησιμοποιηθεί χρονικές σειρές εικόνων Landsat υψηλής συχνότητας και μίας μεταβλητής (συνήθως NDVI).

Από τους πιο γνωστούς αλγόριθμους της κατηγορίας αυτής είναι ο ονομαζόμενος «Breaks for Additive Season and Trend» (BFAST) (Chu et al., 1995· Leisch et al., 2000· Zeileis et al., 2005). Ο αλγόριθμος αυτός διασπά τις χρονικές σειρές εικόνων σε στοιχεία τάσης, εποχής και θορύβου, προκειμένου να ανιχνευθούν απότομες αλλά και σταδιακές μεταβολές.

Ο αλγόριθμος με την ονομασία «Συνεχής Ανίχνευση Μεταβολών και Ταξινόμησης» (Continuous Change Detection and Classification – CCDC) ανήκει επίσης στην ίδια κατηγορία (Zhu and Woodcock, 2014). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος χρησιμοποιεί όλους τους διαύλους των εικόνων σε αντίθεση με τον BFAST. Έχει εφαρμοστεί στην ανίχνευση απότομων μεταβολών κάλυψης γης (Fu and Weng, 2016· Zhu and Woodcock, 2014) καθώς και στην ανίχνευση σταδιακών μεταβολών βλάστησης (Zhu, 2017).



#### **3.5.4.7 Ανάλυση τροχιάς**

Η μέθοδος της ανάλυσης τροχιάς επικεντρώνεται καταρχήν στην εξαγωγή πληροφορίας από χρονικές σειρές εικόνων Landsat για περιοχές που έχουν υποστεί συγκεκριμένες μεταβολές. Κατά τον τρόπο αυτό, συλλέγονται δεδομένα εκπαίδευσης και παράγονται οι φασματικές υπογραφές των μεταβολών. Στη συνέχεια, η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των υπόλοιπων περιοχών των εικόνων όλων των σειρών.

Η μέθοδος αυτή έχει κυρίως σχεδιαστεί για την ανίχνευση απότομων μεταβολών. Είναι όμως υπολογιστικά κοστοβόρος και απαιτείται πλήρη γνώση του είδους των μεταβολών (Zhu, 2017).

### **3.6 Ανασκόπηση Αλγόριθμων Ταξινόμησης Δορυφορικών Εικόνων**

Η ταξινόμηση δορυφορικής/ών εικόνας/-ων είτε εφαρμόζεται στη χαρτογράφηση μορφών κάλυψης/χρήσεων γης είτε στα διάφορα στάδια ανίχνευσης μεταβολών, υλοποιείται είτε ως επιβλεπόμενη είτε ως μη επιβλεπόμενη.

Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, η συλλογή δειγμάτων για την εκπαίδευση δεδομένων είναι προαπαιτούμενη. Με τη χρήση των δεδομένων αυτών, οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών γης προσδιορίζονται και στη συνέχεια ταξινομούνται τα άγνωστα εικονοστοιχεία ή αντικείμενα της εικόνας. Για το λόγο αυτό, η απόδοση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης εξαρτάται από τον αριθμό και την ποιότητα των δεδομένων εκπαίδευσης. Φυσικά εξαρτάται και από την επιδιωκόμενη ακρίβεια του παραγόμενου χάρτη. Συνεπώς, στις περιπτώσεις που επιδιώκεται μεγάλη ακρίβεια, ο αριθμός και η συλλογή τους αποδεικνύεται τόσο χρονοβόρος όσο και κοστοβόρος.

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, είναι μια διαδικασία ομαδοποίησης των φασματικών δεδομένων της εικόνας, βασιζόμενη σε ομοιότητες μεταξύ του μοτίβου τους. Η αντιστοίχιση

των φασματικών κατηγοριών που αναγνωρίζονται στην εικόνα, όπως προκύπτουν μετά από την εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, με τις προσδοκώμενες κατηγορίες μορφών κάλυψης/χρήσεων γης που υπάρχουν στην πραγματικότητα στην επιφάνεια της γης, είναι στην ευθύνη του αναλυτή. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, κάθε κατηγορία μορφής κάλυψης/χρήσης γης παρουσιάζει μεγάλη ποικιλότητα καθώς αποτελείται από περισσότερες της μίας φασματικές κατηγορίες. Τα κριτήρια που εφαρμόζονται για την αντιστοίχιση των φασματικών κατηγοριών και των κατηγοριών μορφής κάλυψης/χρήσης γης, επηρεάζουν την ακρίβεια του παραγόμενου χάρτη.

Διάφορες μέθοδοι πολυφασματικής ταξινόμησης έχουν χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, με την αντιστοίχιση κάθε εικονοστοιχείου ή αντικειμένου στην κατάλληλη θεματική κατηγορία μορφής κάλυψης/χρήσης γης. Οι μέθοδοι αυτοί χρησιμοποιούν τους λεγόμενους ταξινομητές. Οι ταξινομητές είναι συναρτήσεις/αλγόριθμοι που λαμβάνουν τις τιμές των εικονοστοιχείων ή των αντικειμένων που πρέπει να ενταχθούν σε μια από τις καθορισμένες/επιδιωκόμενες κατηγορίες γης και στοχεύουν στην ορθή χαρτογραφική τους απεικόνιση ή κατηγοριοποίησή τους (labeling, όπως συνήθως λέγεται).

Οι ταξινομητές διακρίνονται σε παραμετρικούς (π.χ. μέγιστης πιθανοφάνειας) και μη παραμετρικούς (π.χ. K-πλησιέστερης-γειτνίασης και τυχαίου δάσους). Οι παραμετρικοί βασίζονται στην υπόθεση ότι τα δείγματα εκπαίδευσης των χαρακτηριστικών υπό ταξινόμηση, ακολουθούν την κανονική ή περίπου την κανονική κατανομή (Jensen, 2005). Οι μη παραμετρικοί ταξινομητές δεν βασίζονται στην ως άνω υπόθεση.

Οι Heydari και Mountrakis (2017) μελέτησαν τις επιπτώσεις πέντε αλγόριθμων ταξινόμησης (Naïve Bayesian, K-NN, SVM, Tree ensemble, και Artificial Neural Network) στον

έλεγχο ακρίβειας της ταξινόμησης 26 εικόνων Landsat. Οι επιπτώσεις αξιολογήθηκαν σε σχέση με το μέγεθος δείγματος αναφοράς, την κατανομή του δείγματος και την ανομοιογένεια των εικόνων. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι SVM και K-NN ήταν οι καλύτεροι στην ταξινόμηση εικόνων Landsat.

Επίσης το ίδιο έτος, οι Noi και Kappas (2017) αξιολόγησαν την απόδοση των αλγόριθμων RF, K-NN, και SVM στην ταξινόμηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης με εικόνες Sentinel-2. Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους έδειξαν μεγάλη ολική ακρίβεια από 90% μέχρι 95%. Μεταξύ των τριών αλγόριθμων, ο SVM απέδωσε την υψηλότερη ακρίβεια με την ελάχιστη ευαισθησία στο μέγεθος δείγματος των δεδομένων εκπαίδευσης, με δεύτερο και τρίτο στη σειρά RF και τον K-NN αντίστοιχα. Σε σχέση με το μέγεθος δείγματος, και οι τρεις αλγόριθμοι πέτυχαν υψηλή ολική ακρίβεια (>93,85%) όταν το μέγεθος δείγματος των δεδομένων εκπαίδευσης ήταν αρκετά μεγάλο, π.χ. >750 εικονοστοιχείων ανά κατηγορία κάλυψης γης ή αντιστοιχούσε σε επιφάνεια ίσης με 0,25% της συνολικής περιοχής μελέτης.

Στις επόμενες παραγράφους, παρουσιάζονται συνοπτικά οι αλγόριθμοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα.

### **3.6.1 Μέγιστη πιθανοφάνεια**

Η μέθοδος αυτή ανήκει στις παραμετρικές, δεδομένου ότι πρόκειται για ένα στατιστικά βασισμένο ταξινομητή. Οι παραμετρικές μέθοδοι παραμένουν κύριο σημείο αναφοράς στην ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων (Maxwell et al., 2018). Σε έρευνα 1.651 άρθρων σχετικών με την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων, ο συγκεκριμένος ταξινομητής αναδείχθηκε ο πιο δημοφιλής, με εφαρμογή στο 32% αυτών (Yu et al., 2014).

Η ταξινόμηση μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood classification) βασίζεται στην παραδοχή ότι τα δείγματα εκπαίδευσης των χαρακτηριστικών υπό ταξινόμηση, ακολουθούν την κανονική ή περίπου την κανονική κατανομή (Jensen 2005). Με βάση αυτή την

παραδοχή, υπολογίζεται η στατιστική πιθανότητα ότι ένα άγνωστο εικονοστοιχείο ανήκει σε μια συγκεκριμένη κατηγορία. Κάθε άγνωστο εικονοστοιχείο ταξινομείται σε μια συγκεκριμένη κατηγορία γης, λαμβάνοντας υπόψη την διακύμανση και τη συνδιακύμανση της φασματικής αντανάκλασης της κάθε κατηγορίας (Lillesand et al., 2015).

Ωστόσο, οι στατιστικοί ταξινομητές επιδέχονται κριτική για την προϋπόθεση της κανονικής κατανομής διότι η υπόθεση αυτή παραβιάζεται συχνά, κυρίως όταν χρησιμοποιούνται δεδομένα από πολλαπλές πηγές (Candy, 2014). Όσον αφορά στους μη παραμετρικούς ταξινομητές, θεωρούνται ότι έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα από τους παραδοσιακούς παραμετρικούς ταξινομητές (Pal and Mather, 2003· Lu et al., 2004).

### **3.6.2 Κ-πλησιέστερης γειτνίασης**

Ο αλγόριθμος αυτός βασίζεται στην ελάχιστη απόσταση των αγνώστων εικονοστοιχείων από τα δεδομένα εκπαίδευσης, για τον προσδιορισμό των k-πλησιέστερων γειτνιαζόμενων εικονοστοιχείων στο φασματικό χώρο (Franco-Lopez et al., 2001· McRoberts and Tomppo, 2007). Στόχος της ταξινόμησης αυτής είναι ο προσδιορισμός της κατάλληλης τιμής k. Κάθε άγνωστο εικονοστοιχείο ταξινομείται στην κατηγορία με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης μεταξύ των k δεδομένων εκπαίδευσης, τα οποία βρίσκονται πιο κοντά σε αυτό. Για τη μέτρηση της απόστασης, χρησιμοποιείται η Ευκλείδεια απόσταση, η απόσταση Mahalanobis και η διαγώνια απόσταση Mahalanobis. Η τιμή k είναι θετικός ακέραιος αριθμός και αποτελεί επιλογή του χρήστη. Μια μεγάλη τιμή k μειώνει την επίδραση θορύβου στην ταξινόμηση αλλά δημιουργεί ασαφή όρια μεταξύ των παραγόμενων κατηγοριών κάλυψης γης. Μια μικρή τιμή k παράγει υπερεκτίμηση (overfit) και μειώνει την ακρίβεια ταξινόμησης (McRoberts et al., 2002).

Για την μείωση της επίδρασης της κατηγορίας με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης μεταξύ των k δεδομένων εκπαίδευσης, λόγω του μεγάλου μεγέθους της, εισάγονται διαφορετικοί συντελεστές βαρύτητας για κάθε όμορο εικονοστοιχείο. Ο συντελεστής βαρύτητάς του,

προστίθεται στη συνολική βαρύτητα της κατηγορίας που ανήκει το όμορο εικονοστοιχείο. Στο τέλος, κάθε άγνωστο εικονοστοιχείο αποδίδεται στην κατηγορία με τη μεγαλύτερη βαρύτητα.

### **3.6.3 Μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης**

Ο συγκεκριμένη μέθοδος είναι επιβλεπόμενη μη παραμετρική και χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές τηλεπισκόπησης για τους ακόλουθους λόγους (Mountrakis et al., 2011): α) Διαχειρίζεται δεδομένα εκπαίδευσης μικρού μεγέθους και συνήθως παράγει υψηλότερη ακρίβεια ταξινόμησης σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους των παραμετρικών ταξινομητών και β) παρουσιάζει τη δυνατότητα να εξισορροπεί μεταξύ της επιτυγχανόμενης ακρίβειας ταξινόμησης για συγκεκριμένο αριθμό δεδομένων εκπαίδευσης και της γενίκευσης των υπόλοιπων φασματικών δεδομένων προς ταξινόμηση (unseen data).

Σύμφωνα με την αρχική ανάπτυξη του αλγόριθμου, στόχος του είναι ο προσδιορισμός του βέλτιστου ορίου, σύμφωνα με τα δεδομένα εκπαίδευσης, για την ταξινόμηση των δεδομένων σε προκαθορισμένο αριθμό κατηγοριών. Ο προσδιορισμός του ορίου αυτού βασίζεται στην ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων ταξινόμησης. Συνεπώς, πρόκειται για μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία διάκρισης των δεδομένων εκπαίδευσης σε περισσότερες διαστάσεις και στη συνέχεια των υπόλοιπων δεδομένων υπό ταξινόμηση.

Βασική παραδοχή των γραμμικών μηχανών διανύσματος υποστήριξης είναι ότι τα πολυφασματικά δεδομένα διακρίνονται γραμμικώς. Στην πράξη όμως, σημειακά δεδομένα διαφορετικών κατηγοριών επικαλύπτονται. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, χρησιμοποιούνται διάφορες μαθηματικές συναρτήσεις, οι λεγόμενοι πυρήνες (kernels). Είναι ένας τρόπος για την επίλυση μη-γραμμικών προβλημάτων από γραμμικούς αλγόριθμους.

Στην έρευνα κάλυψης γης μέσω τηλεπισκόπησης, διαφαίνεται ότι ο πυρήνας με την ονομασία ακτινική συνάρτηση βάσης (Radial Basis Function) στο συγκεκριμένο αλγόριθμο είναι αποτελεσματικός (Knorn et al., 2009· Shi and Yang, 2015). Για τη χρήση αυτού, απαιτείται ο

καθορισμός δύο παραμέτρων: του κόστους (C) και του πλάτους του πυρήνα ( $\gamma$ ). Η πρώτη ορίζει το επιτρεπόμενο μέγεθος του σφάλματος ταξινόμησης των δεδομένων εκπαίδευσης ενώ η δεύτερη επηρεάζει την εξομάλυνση του σχήματος των διακρινόμενων κατηγοριών. Μεγάλες τιμές του C οδηγούν σε υπερεκτίμηση του μοντέλου ενώ μεγάλες τιμές του  $\gamma$  έχουν επιπτώσεις στο σχήμα των διακρινόμενων κατηγοριών και προφανώς στην ακρίβεια της ταξινόμησης (Noi και Kappas, 2017).

Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμοστεί στην ανίχνευση μεταβολών μορφών κάλυψης γης με βάση πολυφασματικά δεδομένα Landsat 7 ETM+ στην Ελλάδα, με ολική ακρίβεια ταξινόμησης 97.16% (Κολιός και Στύλιος, 2013).

#### **3.6.4 Τυχαίο δάσος**

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στην περίπτωση πολυδιάστατων δεδομένων και εφευρέθηκε από τον Breiman (2001). Κατά την εφαρμογή της, οι δειγματοληπτικές μονάδες και οι μεταβλητές επιλέγονται τυχαία και επαναλαμβανόμενα. Κατά τον τρόπο αυτό, δημιουργείται μια μεγάλη ομάδα ή ένα δάσος από ταξινομήσεις και λήψης αποφάσεων υπό τη μορφή δένδρου. Σε κάθε δένδρο επιλέγεται η πιο δημοφιλής κατηγορία για την ταξινόμηση ενός διανύσματος εισαγωγής. Πρόκειται για επαναλαμβανόμενη διαδικασία μέσω της οποίας τα δεδομένα διαχωρίζονται σε μικρότερα, με βάση καθορισμένα κριτήρια σε κάθε κόμβο ή κλαδί του δένδρου απόφασης. Το δένδρο αποτελείται από ένα κόμβο στην κορυφή (σχηματίζεται από τα δεδομένα εκπαίδευσης), ένα αριθμό ενδιάμεσων εσωτερικών κόμβων και ένα αριθμό τερματικών κόμβων (φύλλα). Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης αντιπροσωπεύει το στατιστικό είδος των αποφάσεων που λαμβάνονται σε κάθε επίπεδο του δένδρου.

Ο συγκεκριμένος ταξινομητής δομείται με την εκπαίδευση ενός συνόλου από δένδρα απόφασης (ntree) με δείγματα (ληφθέντα με αντικατάσταση) από τον πληθυσμό. Σε κάθε δένδρο, τα χαρακτηριστικά στρωματοποιούνται σε περιοχές με την εφαρμογή κανόνων

διάκρισης στα δείγματα σε κάθε κόμβο. Οι κανόνες διάκρισης βασίζονται σε τυχαίο δείγμα ανεξάρτητων μεταβλητών (mtry). Στην περίπτωση μας, οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι ο αριθμός των φασματικών διαύλων των εικόνων. Σε κάθε κόμβο υπολογίζεται ο συντελεστής Gini, ο οποίος μετρά την διακύμανση. Ο ταξινομητής επιλέγει την μεταβλητή με τη μεγαλύτερη τιμή Gini. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή Gini, τόσο μεγαλύτερη είναι η ομοιογένεια των κατηγοριών που διακρίνονται. Κάθε διαίρεση που υλοποιείται σε κάθε κόμβο καταλήγει σε δύο νέους κόμβους. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε κάθε νέο κόμβο με ένα νέο τυχαίο δείγμα ανεξάρτητων μεταβλητών.

Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής περιλαμβάνονται η εκτίμηση εσωτερικών σφαλμάτων, και η δυνατότητα διαχείρισης αδύναμων ανεξάρτητων μεταβλητών. Η επαναλαμβανόμενη φύση της μεθόδου, με την παροχή νέων τυχαίων δειγμάτων δεδομένων εκπαίδευσης στο πλαίσιο εφαρμογής της, μειώνει τη συσχέτιση των μεταβλητών μεταξύ των δένδρων (Breiman, (2001).

Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί στην ταξινόμηση δασών ανά δασικό είδος στη Σουηδία με χρονικές σειρές 4 εποχών εικόνων Sentinel-2, επιτυγχάνοντας ολική ακρίβεια 88,2% (Persson et al., 2018), στην ανίχνευση μεταβολών γης σε συνδυασμό με τη χρήση φίλτρων στη μετα-ταξινόμηση, με χρονικές σειρές εικόνων Landsat επιτυγχάνοντας ολική ακρίβεια 87,98% (Franklin et al., 2015).

### **3.6.5 Θεματική ακρίβεια**

Οι πληροφορίες για τις διάφορες μορφές κάλυψης γης καθώς και οι ενδεχόμενες μεταβολές αυτών, αφού εξαχθούν είτε αποκλειστικώς από δεδομένα τηλεπισκόπησης είτε σε συνδυασμό με άλλα δεδομένα, απεικονίζονται συνήθως σε ένα θεματικό χάρτη με τη χρήση διάφορων μεθόδων ταξινόμησης (Tso and Mather, 2009).

Οι χάρτες κάλυψης γης και μεταβολών εμπεριέχουν σφάλματα της ταξινόμησης, που οφείλονται σε εσφαλμένη απόδοση ή παράλειψη εικονοστοιχείων στην ορθή κατηγορία κάλυψης. Διαφορετικά δεδομένα εκπαίδευσης, διαφορετικοί αλγόριθμοι ταξινόμησης και διαφορετικά δορυφορικά δεδομένα παράγουν ανόμοιες απεικονίσεις της ίδιας γεωγραφικής περιοχής (Stehman και Foody, 2019). Με τον έλεγχο ακρίβειας του χάρτη αξιολογείται και πιστοποιείται η ποιότητά του. Χωρίς αυτόν ελλοχεύει ο κίνδυνος της παρερμηνείας των αντικειμένων και ουσιαστικά μειώνεται η αξία του. Δεδομένου ότι οι πληροφορίες ενός χάρτη κάλυψης ή μεταβολών γης χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη επιστημονικών ερευνών, διαχείρισης γης και λήψης αποφάσεων, ο έλεγχος ακρίβειας είναι ακόμη πιο σημαντικός.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιότητα ενός χάρτη κάλυψης ή μεταβολών κάλυψης γης η, ανεξαρτήτως της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της επιτυγχανόμενης θεματικής ακρίβειας με το αντίστοιχο σφάλμα. Διεθνώς, ο πιο διαδομένος τρόπος για τον υπολογισμό της ακρίβειας, είναι η μήτρα ή αλλιώς πίνακας σφαλμάτων. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τον χαρακτηρισμό της κατηγορίας στο χάρτη σε σχέση με τον χαρακτηρισμό της κατηγορίας στην πραγματική κατάσταση/πηγή αναφοράς (αυτοψίες στο πεδίο, δείγμα, αεροφωτογραφίες, δεδομένα μεγαλύτερης ακρίβειας έναντι των δορυφορικών, UAV, Lidar).

Με βάση τη μήτρα σφαλμάτων, υπολογίζεται η Ολική Ακρίβεια (ΟΑ) του χάρτη και τα επιμέρους στατιστικά μεγέθη, όπως είναι η ακρίβεια κάθε κατηγορίας, η Ακρίβεια Κατασκευαστή (ΑΚ) και η Ακρίβεια Χρήστη (ΑΧ). Η ακρίβεια για να είναι αποδεκτή απαιτείται να είναι τουλάχιστον ίση ή μεγαλύτερη με την απαιτούμενη ακρίβεια, όπως καθορίζεται εξ' αρχής από τον χρήστη για το εκάστοτε έργο. Διεθνώς, στην έρευνα για την ταξινόμηση μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, ως αποδεκτό όριο ολικής θεματικής ακρίβειας



θεωρείται η τιμή 85%. Όμως η τιμή αυτή, δεν έχει παγκόσμια ισχύ και εφαρμογή (Stehman και Foody, 2019). Η μήτρα σφαλμάτων δύναται να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό της ακρίβειας επιφανείας ανά κατηγορία. Άλλος τρόπος υπολογισμού της ακρίβειας παρέχεται από τον συντελεστή συμφωνίας «Kappa» (Congalton και Green, 2009). Αν και η χρήση του είναι πλατιά διαδεδομένη, θεωρείται ότι δεν ασκεί χρήσιμο ρόλο στον έλεγχο ακρίβειας (Olofsson et al., 2014). Στην περίπτωση που επιδιώκεται ακρίβεια στην χαρτογράφηση σπάνιων κατηγοριών κάλυψης γης, χρησιμοποιούνται άλλες μέθοδοι, όπως είναι η μέθοδος Αξιοπιστία/Ευαισθησία (Precision/Recall) ή καμπύλες Λειτουργικού Χαρακτηριστικού Δέκτη (Receiver Operating Characteristics - ROC).

Στην ανίχνευση μεταβολών όμως, ακολουθούνται δύο διαφορετικές πρακτικές (van Oort, 2007): η δυαδική (μεταβολή/μη μεταβολή) μήτρα σφαλμάτων και η μεταβατική. Στην πρώτη συγκρίνονται ο χάρτης και η πηγή αναφοράς για δύο καταστάσεις, μεταβολή και μη μεταβολή. Στην δεύτερη, συγκρίνεται η συμφωνία του χάρτη με την πηγή αναφοράς για κάθε πιθανό σενάριο μεταβολής από/προς καθεμία από τις κατηγορίες μορφών κάλυψης. Η πρώτη πρακτική, αν και πιο εύκολη, έχει δεχθεί κριτική διότι δεν λαμβάνει υπόψιν τους λανθασμένους χαρακτηρισμούς που οφείλονται σε σφάλμα της ταξινόμησης ή της μεθόδου εξαγωγής μεταβολών. Τα σφάλματα αυτά αφορούν στη λανθασμένη απόδοση της κατηγορίας κάλυψης γης είτε στη μία χρονική περίοδο είτε και στις δύο περιόδους σύγκρισης. Δηλ. ενώ έχει ταξινομηθεί και επιβεβαιωθεί από την πηγή αναφοράς, ότι υπάρχει μεταβολή στη δυαδική μήτρα σφαλμάτων, η μεταβολή αυτή (π.χ. από δάσος σε αγροτική μορφή) στην πραγματικότητα δεν αφορά τις συγκεκριμένες κατηγορίες κάλυψης γης αλλά άλλες (π.χ. από δάσος σε λιβάδι ή από θαμνώνα σε λιβάδι). Για την αποφυγή αυτού του είδους σφαλμάτων, συνιστάται η εφαρμογή της μεταβατικής μήτρας σφαλμάτων (Li et al., 2018). Όπως επισημαίνει όμως, η διάσταση

αυτού θα είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη της δυαδικής και συγκεκριμένα ίσης με το τετράγωνο του αριθμού των υφιστάμενων κατηγοριών κάλυψης γης (Foody, 2002). Συνεπώς, απαιτούνται πολύ περισσότερες δειγματοληπτικές μονάδες για τον υπολογισμό της ακρίβειας, βάσει της μεταβατικής μήτρας σφαλμάτων.

Σε κάθε περίπτωση, η διαμόρφωση ενός πλαισίου δειγματοληψίας και αναφοράς, θεωρείται κομβικής σημασίας τόσο για την υπολογισμό της ακρίβειας του χάρτη (της ταξινόμησης) όσο και για την εκτίμηση επιφάνειας (Stehman και Foody, 2019). Το πλαίσιο δειγματοληψίας αφορά στο είδος της δειγματοληψίας (απλή τυχαία, συστηματική, στρωματοποιημένη, ομαδοποιημένη ή συνδυασμό τους), συμπεριλαμβανομένου της εκτίμησης του μεγέθους του δείγματος προκειμένου να ανταποκρίνεται στην προ-καθορισμένη επιδιωκόμενη ακρίβεια και της κατανομής του στις διάφορες κατηγορίες κάλυψης γης (στρώματα). Το πλαίσιο αναφοράς αφορά στο είδος και την χωρική μονάδα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση της δειγματοληψίας, καθώς και του τρόπου συμφωνίας τους με τις εκτιμώμενες κατηγορίες της ταξινόμησης. Επισημαίνεται ότι τα δεδομένα αναφοράς πρέπει να είναι ανεξάρτητα από τα δεδομένα εκπαίδευσης που χρησιμοποιήθηκαν στην ταξινόμηση. Διαφορετικά, ο έλεγχος ακρίβειας καταλήγει σε σφάλματα.

Στην απλή τυχαία δειγματοληψία, για τον υπολογισμό του μεγέθους ( $n$ ) του συνολικού δείγματος, και της απαιτούμενης ολικής ακρίβειας του χάρτη, συνήθως χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος (Cochran, 1977, Εξ. (4.2)):

$$n = \frac{z^2 pq}{b^2}$$

όπου:

$z$ , είναι τιμή που προκύπτει από τον πίνακα της κανονικής κατανομής για επίπεδο σημαντικότητας « $\alpha$ » (π.χ. αυτή η τιμή είναι ίση με 1,96 για μονόπλευρο έλεγχο ορίου

εμπιστοσύνης και επίπεδο εμπιστοσύνης 95%),  $p$  είναι η απαιτούμενη ακρίβεια (85%),  $q$  είναι ίση με  $(1 - p)$  ή 15%,  $b$  είναι το απαιτούμενο περιθώριο σφάλματος (το μισό πλάτος του διαστήματος εμπιστοσύνης, δηλ. ίσο με 0,025). Όσο μεγαλύτερη είναι η απαιτούμενη ακρίβεια  $p$ , τόσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του συνολικού δείγματος.

Στην στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία, για τον υπολογισμό του μεγέθους ( $n$ ) του συνολικού δείγματος, και της απαιτούμενης ολικής ακρίβειας του χάρτη, χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος (Cochran, 1977, Εξ. (5.25)):

$$n = \left( \frac{\sum W_i S_i}{e} \right)^2$$

όπου:

$W_i$  είναι η το ποσοστό της χαρτογραφημένης επιφάνειας της κατηγορίας (στρώμα)  $i$ ,  $S_i$  είναι η τυπική απόκλιση της κατηγορίας  $i$ , και  $e$  είναι το τυπικό σφάλμα της εκτιμώμενης ολικής ακρίβειας που επιδιώκουμε.

Μόλις υπολογιστεί το συνολική μέγεθος δείγματος, ακολουθεί η κατανομή του δείγματος σε κάθε κατηγορία. Ο Stehman (2012) διακρίνει τέσσερις διαφορετικές προσεγγίσεις στην κατανομή του δείγματος: αναλογική, ίση, βέλτιστη και ισχυρή. Η κατανομή του δείγματος στα στρώματα έχει ως στόχο την αύξηση του μεγέθους δείγματος για τις σπάνιες κατηγορίες, την επίτευξη ενός αποδεκτού τυπικού σφάλματος για την προσδοκώμενη ακρίβεια του χρήστη και την κατανομή του εναπομείναντος δείγματος αναλογικά με την επιφάνεια της κάθε κατηγορίας.

Μέχρι σήμερα υπάρχουν μερικές μόνο βιβλιογραφικές αναφορές για τον υπολογισμό της ακρίβειας του τελικού χάρτη μεταβολής, με βάση ένα πλαίσιο δειγματοληψίας και αναφοράς (Almutairi και Warner, 2010· Foody, 2010· McRoberts et al., 2018). Οι Olofsson et al. (2014) δημοσίευσαν μια αξιολογή ανασκόπηση για την ακρίβεια και την εκτίμηση επιφάνειας στην ανάλυση μεταβολών κάλυψης γης. Οι Li et al. (2018) πρότειναν ένα θεωρητικό

επαναλαμβανόμενο πλαίσιο δειγματοληψίας, σύμφωνα με τις αρχές της στρωματοποιημένης δειγματοληψίας και με βάση τη μεταβατική μήτρα σφαλμάτων, προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη ακρίβεια στην ανίχνευση μεταβολών μορφών κάλυψης και χρήσεων γης. Το προτεινόμενο πλαίσιο είναι προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις του χρήστη όσον αφορά στο κόστος και την αβεβαιότητα. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής, ειδικά σε ανομοιογενείς περιοχές, συνιστώνται να λαμβάνονται δειγματοληπτικές μονάδες ανά στρώματα μεταβολής γενικής φύσης (π.χ. αποδάσωση, αστικοποίηση, κ.λπ.) αντί των υφιστάμενων κατηγοριών κάλυψης γης. Όμως οι επιτυγχανόμενες τιμές ακρίβειας δεν αναφέρονται.

### **3.7 Συμπεράσματα**

Σήμερα, διεθνώς, εφαρμόζονται διαφορετικά ιεραρχικά συστήματα ταξινόμησης μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, με βάση δορυφορικά και από αέρος δεδομένα των οποίων η χωρική και φασματική ανάλυση ποικίλει. Το εκάστοτε σύστημα ταξινόμησης διαφέρει ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιείται. Συνεπώς και η μεθοδολογία ανάπτυξής του διαφέρει. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, δεδομένου των εγγενών αδυναμιών του συστήματος ταξινόμησης του ευρωπαϊκού προγράμματος παρακολούθησης γης (Copernicus), η έρευνα και η υλοποίηση της αναμόρφωσής του συνεχίζεται. Στο επίπεδο της χώρας μας, απαιτείται να αναπτυχθεί ένα πολύ-επίπεδο ιεραρχικό σύστημα αναγνώρισης και ταξινόμησης μορφών κάλυψης γης, με βάση τη φωτοερμηνεία επί των χαρτογραφικών υποβάθρων του ΕΚ. Από ερευνητική σκοπιά, αποτελεί πρόκληση η διερεύνηση της εφαρμογής και αξιολόγησης ενός τέτοιου συστήματος με δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα. Η καθιέρωση ενός αξιόπιστου συστήματος αναγνώρισης και καταγραφής των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σε εθνική κλίμακα έχει μεγάλη σημασία για την έρευνα και παρακολούθησή τους στο μέλλον.

Αναφορικά με την παραγωγή και διάθεση γεωχωρικών δεδομένων, οι κύριοι πάροχοι δορυφορικών δεδομένων παγκοσμίως είναι οι υπηρεσίες USGS των Η.Π.Α. και ESA της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ωστόσο, στην Ευρώπη, δεν έχει επιτευχθεί ακόμη η παραγωγή ενός ενιαίου προϊόντος κάλυψης γης σε μορφή εικόνας, για την παρακολούθηση γης σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Σε επίπεδο δορυφορικών δεδομένων, η επιστημονική έρευνα επικεντρώνεται στην εναρμόνιση των εικόνων Landsat και Sentinel, για την παραγωγή ενιαίων προϊόντων με τα φασματικά χαρακτηριστικά και των δύο ανιχνευτών και με χωρική ανάλυση 30μ. Στην Ελλάδα, ο μεγαλύτερος παραγωγός και πάροχος γεωχωρικών δεδομένων είναι το ν.π.δ.δ. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ.

Ως προς τις μεθόδους ανίχνευσης μεταβολών κάλυψης γης, η ανάπτυξή τους κορυφώθηκε με την απελευθέρωση του αρχειακού υλικού εικόνων Landsat, την αποστολή νέων δορυφόρων Sentinel, την ελεύθερη πρόσβαση στις εικόνες τους και την παραγωγή νέων προϊόντων από τις αντίστοιχες υπηρεσίες. Η νέα προσέγγιση που ακολουθείται ευρέως από την επιστημονική κοινότητα στην ανίχνευση μεταβολών είναι η ανάπτυξη μεθόδων με βάση χρονικές σειρές εικόνων. Μέχρι σήμερα, η ανάλυση χρονικών σειρών εικόνων, με βάση δορυφορικές εικόνες Landsat, εφαρμόστηκε αποκλειστικώς στην ανίχνευση μεταβολών ενός μόνου στόχου ή ενός παράγοντα μεταβολής. Σύμφωνα με την προαναφερθείσα βιβλιογραφία, επισημαίνεται η ανάγκη λήψης επαρκών δειγμάτων εκπαίδευσης, σε χωρικό και χρονικό επίπεδο, και η αξιοποίηση διαθέσιμων στοιχείων για τη διάκριση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και των μεταβολών τους με ακρίβεια στο χρόνο. Αυτό ειδικώς συνίσταται σε περιοχές με μεγάλη ποικιλότητα τοπίου και παρουσία κατηγοριών κάλυψης γης με διαφορετική χωρική/χρονική κατανομή, σχήμα και μέγεθος, όπως είναι η περιοχή έρευνας. Συνεπώς, σε ερευνητικό επίπεδο, η αναζήτηση μεθόδων για την ανίχνευση μεταβολών πολλαπλών στόχων

(διαφόρων κατηγοριών μεταβολής), με βάση χρονικές σειρές εικόνων, αποτελεί πρόκληση στον τομέα της τηλεπισκόπησης.

Τέλος, ως προς τις μεθόδους ταξινόμησης, χρησιμοποιούνται διεθνώς διάφοροι μέθοδοι σε συνδυασμό με διαφορετικούς αλγόριθμους και προσεγγίσεις. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι διαφορετικά δεδομένα εκπαίδευσης, διαφορετικοί αλγόριθμοι ταξινόμησης και διαφορετικά δορυφορικά δεδομένα παράγουν ανόμοιες απεικονίσεις της ίδιας γεωγραφικής περιοχής. Για το λόγο αυτό, απαιτείται έλεγχος της θεματικής ακρίβειας του τελικού χάρτη, με τον οποίο αξιολογείται και πιστοποιείται η ποιότητά του. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται η διαμόρφωση ενός πλαισίου δειγματοληψίας και αναφοράς, στατιστικά τεκμηριωμένο, για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων ως προς την ακρίβεια της ταξινόμησης και του τελικού χάρτη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται ο σχεδιασμός της έρευνας και η προτεινόμενη μεθοδολογία. Σύμφωνα με την ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας (Κεφάλαιο 3), ένα ενιαίο σύστημα ταξινόμησης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, με βάση δεδομένα τηλεπισκόπησης, δεν υφίσταται στην Ελλάδα. Για τη διάκριση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και των μεταβολών τους με ακρίβεια στο χρόνο, απαιτείται η αξιοποίηση όλων των διαθέσιμων δεδομένων και πληροφοριών. Διεθνώς χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι σε συνδυασμό με διαφορετικούς αλγόριθμους και προσεγγίσεις. Για την εφαρμογή οποιασδήποτε μεθόδου, απαιτείται η διαμόρφωση ενός πλαισίου δειγματοληψίας και αναφοράς, στατιστικά τεκμηριωμένο, για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων ως προς την ακρίβεια της ταξινόμησης και του τελικού χάρτη.

Οι μέχρι σήμερα εφαρμοσθείσες μεθοδολογίες, περιορίζονται είτε ως προς το ερευνητικό θεματικό αντικείμενο (πυρκαγιές δασών, βλάστηση, δόμηση, κ.λπ.) είτε από την χωρική διακριτική ικανότητα των δορυφορικών εικόνων. Σε αντιδιαστολή, η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται στην εφαρμογή και αξιολόγηση διαφορετικών μεθόδων ταξινόμησης και στην ανάλυση κάλυψης γης χωρίς θεματικούς περιορισμούς, με τη χρήση πολυφασματικών εικόνων, μεγάλης και μεσαίας διακριτικής χωρικής ικανότητας, από διαφορετικούς δορυφόρους (Landsat και Sentinel-2).

### 4.2 Προτεινόμενα Υλικά και Μέθοδοι

#### 4.2.1 Ανάπτυξη θεωρητικού μοντέλου

Για την ολοκληρωμένη καταγραφή και παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, απαιτείται η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου θεωρητικού μοντέλου. Με την έννοια

ολοκληρωμένο, νοείται η αξιοποίηση όλων των διαθέσιμων γεωχωρικών δεδομένων και πληροφοριών ανεξαρτήτως της κλίμακας και της ανάλυσής του. Επιπρόσθετα, ένα ολοκληρωμένο μοντέλο διασφαλίζει: α) τη συνεχή συλλογή δεδομένων και πληροφοριών στο χρόνο και β) την απεικόνιση των υφιστάμενων μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, σε διάφορα επίπεδα χωρικής ανάλυσης και σε διαφορετικές κλίμακες. Το προτεινόμενο θεωρητικό μοντέλο καταγραφής και παρακολούθησης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-1.

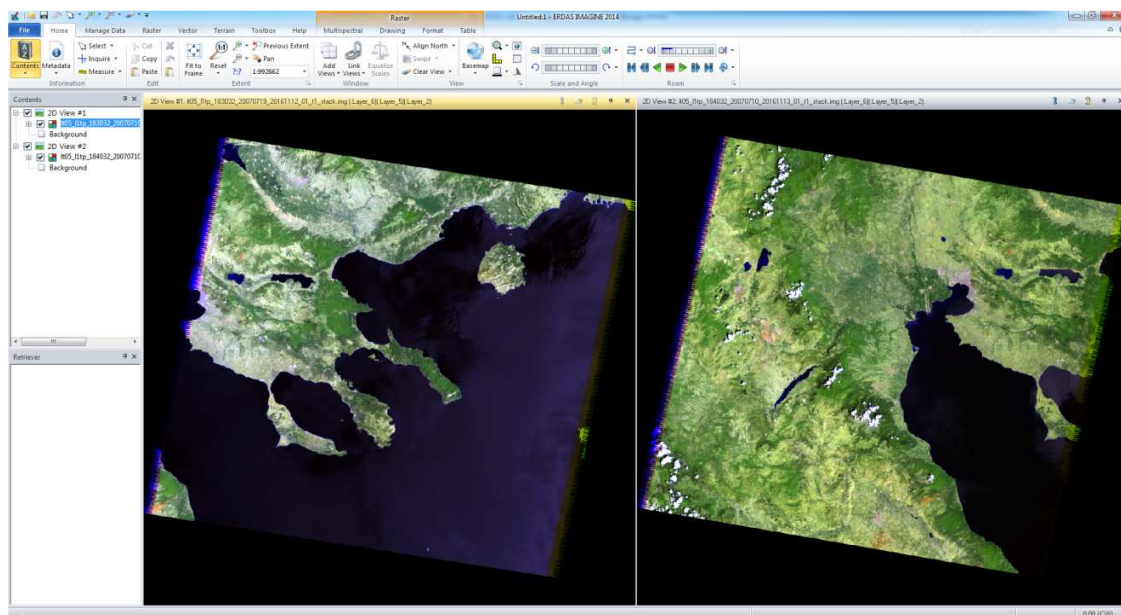


Εικόνα 4.1. Θεωρητικό μοντέλο καταγραφής και παρακολούθησης μορφών κάλυψης/χρήσεων γης.



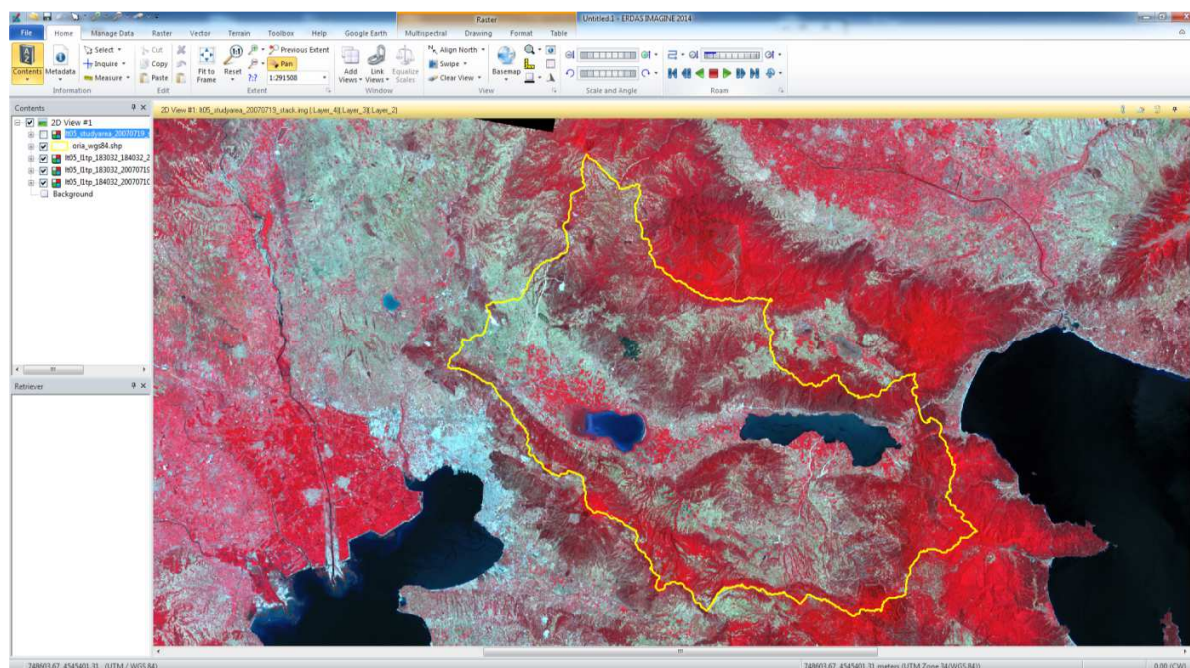
#### 4.2.2 Δορυφορικά δεδομένα

Με βάση το προαναφερθέν θεωρητικό μοντέλο, θα συλλεχθούν κατόπιν έρευνας και επεξεργαστούν τα διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα (Επίπεδο 1) που καλύπτουν πλήρως την περιοχή έρευνας, για την περίοδο αναφοράς 2008-2018. Ειδικότερα, απαιτούνται δύο εικόνες Landsat (path/row: 183/032 και 184/032) για την πλήρη κάλυψη της περιοχής μελέτης (Εικόνα 4-2).



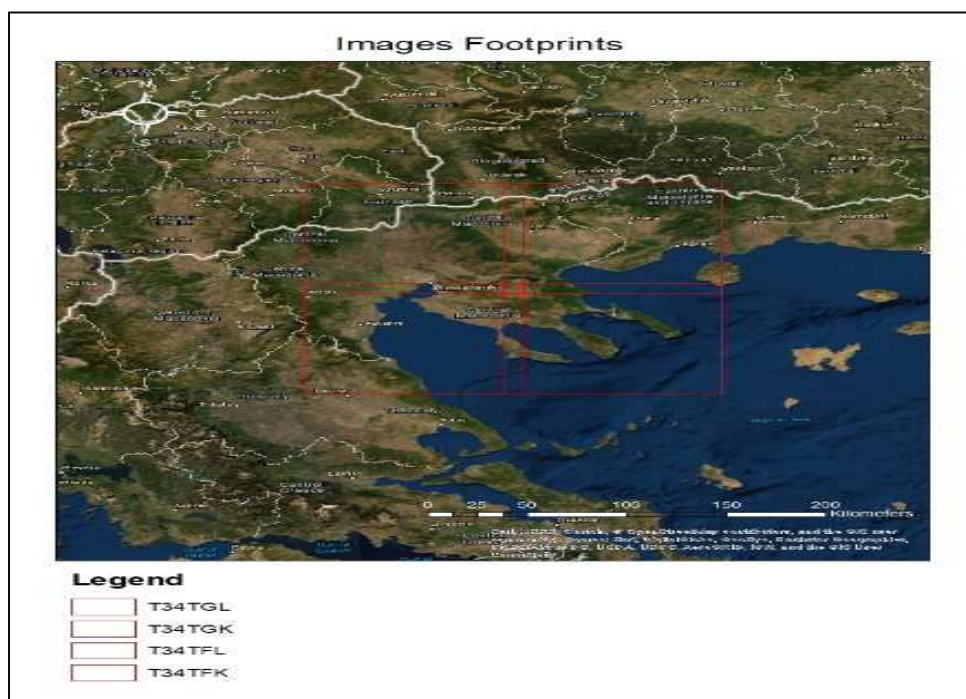
Εικόνα 4-2. Κάλυψη περιοχής έρευνας από εικόνες Landsat TM.

Για κάθε έτος και εποχή που θα επιλεγεί, θα δημιουργηθεί μωσαϊκό εικόνων με χωρική διακριτική ικανότητα 30μ. (Εικόνα 4-3).



Εικόνα 4-3. Μωσαϊκό εικόνων Landsat TM (διάλυτοι 4,3,2).

Για το έτος 2018, η περιοχή μελέτης καλύπτεται πλήρως από τέσσερις εικόνες του δορυφόρου Sentinel-2 (Εικόνα 4-4). Για κάθε εποχή, οι εικόνες θα ενοποιηθούν, με χωρική διακριτική ικανότητα 10 μέτρων.



Εικόνα 4-4. Κάλυψη περιοχής μελέτης από εικόνες Sentinel-2.

#### 4.2.3 Γεωχωρικά δεδομένα

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία εκπόνησης της έρευνας, θα συλλεχθούν και χρησιμοποιηθούν μια σειρά από υφιστάμενα γεωχωρικά δεδομένα που καλύπτουν την περιοχή έρευνας (Πίνακας 4-1).

Πίνακας 4-1. Υφιστάμενα γεωχωρικά δεδομένα.

α/α	Είδος Δεδομένων	Ονομασία	Ημ/νία Παραγωγής	Κλίμακα (χωρική ανάλυση)	Πηγή/Μορφή
1.	Ενιαία Χαρτογραφικά Υπόβαθρα ΕΚ	LSO	2007-2009	50cm	ΕΚ/Ορθοεικόνες
2.	Ενιαία Χαρτογραφικά Υπόβαθρα ΕΚ	LSO-25	2014-2015	25cm	ΕΚ/Ορθοεικόνες
3.	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους	DEM	2014-2015	10m	ΕΚ/Εικόνες
4.	Δεδομένα αγροτικών καλλιεργειών	LPIS	2018	1:5.000	ΟΠΕΚΕΠΕ/Διανυσματικής μορφής
5.	Μορφές κάλυψης/χρήσεων γης Copernicus	CLC2018	2018	1:100.000	ΕΟΠ/Διανυσματικής μορφής
6.	Τύποι Οικοτόπων Προστατευόμενων Περιοχών του δικτύου NATURA2000	NATURA 2000	2017	1: 5.000	ΕΚ/ Διανυσματικής μορφής
7.	Όρια Πόλεων και Οικισμών	Οικισμοί	2018	1:5.000	ΕΚ/Διανυσματικής μορφής
8.	Όρια Δασών και εν γένει δασικών εκτάσεων	Δασικός Χάρτης	2021	1:5000	ΕΚ/Διανυσματικής μορφής
9.	Δασικά συμπλέγματα και συστάδες	Μελέτες Διαχείρισης Δασών	2007-2018	1:20.000	Δασική Υπηρεσία/ Διανυσματικής μορφής
10.	Επιβεβαίωση Μορφών κάλυψης/χρήσεων γης	Δειγματοληψίες	2008 και 2018	10μx10μ 30μx30μ.	Σε επίπεδο εικονοστοιχείου

#### 4.2.4 Προτεινόμενη μεθοδολογία

Για την καταγραφή μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, προτείνεται κατ' αρχήν ο καθορισμός ενός συστήματος ταξινόμησης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης. Σκοπός του

συστήματος είναι η αναγνώριση και ταυτοποίηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης μέσω φωτοερμηνείας επί των ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων του ΕΚ (LSO και LSO25). Με βάση τα αποτελέσματα της ως άνω αναγνώρισης, θα διαμορφωθεί ένα νέο ιεραρχικό σύστημα ταξινόμησης για τον ελλαδικό χώρο.

Στη συνέχεια, θα ακολουθήσει έρευνα και επιλογή κατάλληλων δορυφορικών εικόνων Landsat και Sentinel-2. Ως κριτήρια για την επιλογή εικόνων είναι το ποσοστό νέφωσης (< 10%) και η απουσία θορύβου ή άλλων προβλημάτων που ενδέχεται να έχουν οι εικόνες, καθώς και η εποχή. Ως κριτήριο για την εποχή λαμβάνεται υπόψη η εποχιακή διακύμανση της βλάστησης, των δασών και των αγροτικών καλλιεργειών.

Ως προς το πλαίσιο δειγματοληψίας που θα ακολουθεί, θα εφαρμοστεί η τυχαία στρωματοποιημένη δειγματοληψία με μονάδα ανάλυσης το εικονοστοιχείο της εκάστοτε εικόνας Landsat και Sentinel-2. Για τον υπολογισμό του μεγέθους του δείγματος, θα εφαρμοστεί ο τύπος της παραγράφου 3.6.5 του Κεφαλαίου 3. Πεδίο εφαρμογής του συγκεκριμένου τύπου, θα είναι οι κατηγορίες κάλυψης γης του προγράμματος «Copernicus» (CLC2018). Το συνολικό δείγμα θα κατανεμηθεί στις κατηγορίες κάλυψης γης αναλογικά με την έκταση που η καθεμία καλύπτει στο σύνολο της περιοχής έρευνας. Τα στοιχεία για τον χαρακτηρισμό της κατηγορίας κάλυψης σε κάθε δειγματοληπτική μονάδα, θα ληφθούν από τις ακόλουθες ανεξάρτητες πηγές μεγαλύτερης ακρίβειας: α) τις επίγειες δειγματοληψίες στις προστατευόμενες περιοχές του δικτύου Natura2000, β) τις μελέτες διαχείρισης δασών ως εφαρμόστηκαν στα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα του ΕΚ και γ) τα δεδομένα του LPIS. Ο χαρακτηρισμός των δειγματοληπτικών μονάδων στα υπόλοιπα τμήματα της περιοχής, για τα οποία δεν υπάρχουν πηγές, θα αποδοθεί κατόπιν φωτοερμηνείας στα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα του ΕΚ (LSO LSO25 και εικόνες Google Earth) για κάθε έτος αναφοράς.

Μετά την επιλογή κατάλληλων εικόνων και το χαρακτηρισμό των δειγματοληπτικών μονάδων, θα διερευνηθεί η σχέση μεταξύ των υφιστάμενων μορφών κάλυψης γης και των τιμών αντανάκλασής τους σε χρονικές σειρές εικόνων Landsat. Στόχος του σταδίου αυτού είναι η παρακολούθηση της φασματικής αντανάκλασης της επιφάνειας των μορφών κάλυψης γης και η διερεύνηση της διακύμανσής τους από εποχή σε εποχή και ανά έτος σε βάθος χρόνου. Η διερεύνηση θα βασίζεται σε δείγματα εικονοστοιχείων των οποίων η κατηγορία κάλυψης παρέμεινε σταθερή στο χρόνο και σε δείγματα των οποίων η μορφή μεταβλήθηκε. Διάφοροι φασματικοί δείκτες (NDVI, EVI, SAVI, MSAVI, MNDWI και NDMI) θα εφαρμοστούν και θα αξιολογηθούν ως προς τη χρησιμότητά τους στη διάκριση των μορφών κάλυψης γης και στην ανίχνευση μεταβολών τους. Η ανωτέρω διερεύνηση και επιλογή κατάλληλων δεικτών θα τεκμηριώνεται μέσω παραδειγμάτων ανά εποχή, έτος και είδος μεταβολής.

Το δεύτερο στάδιο της έρευνας αφορά τη διερεύνηση της ταξινόμησης των μορφών κάλυψης/χρησεων γης ανά περίοδο αναφοράς, με σκοπό την χαρτογράφησή τους και την αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων. Με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου σταδίου, θα εφαρμοσθούν οι κατάλληλοι φασματικοί δείκτες και διαφορετικά φασματικά δεδομένα εισαγωγής στον εκάστοτε αλγόριθμο ταξινόμησης. Σε κάθε σενάριο θα χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέσα από το περιβάλλον του λογισμικού επεξεργασίας εικόνων Erdas Imagine (έκδοση 2018).

Για τη δημιουργία των περιοχών εκπαίδευσης θα χρησιμοποιηθούν όλοι οι δίαυλοι (1, 2, 3, 4, 5, και 6) των εικόνων Landsat 5 TM, οι δίαυλοι (2, 3, 4, 5, 6, και 7) των εικόνων Landsat 8 OLI καθώς και οι παραγόμενοι δείκτες και οι δίαυλοι (B02, B03, B04, B05, B06, B07, B08, B8A, B11, B12) των εικόνων Sentinel-2,. Κατά αυτό τον τρόπο, επιδιώκεται η ύπαρξη όσο το δυνατόν περισσότερης πληροφορίας για τον έλεγχο των φασματικών υπογραφών ανά κατηγορία

κάλυψης γης. Κατόπιν του χαρακτηρισμού του συνολικού δείγματος, σύμφωνα με τα προαναφερόμενα, θα ακολουθήσει η επιλογή προτύπων (prototypes) εικονοστοιχείων, υπό μορφή ομάδας, από κάθε κατηγορία κάλυψης γης, τα οποία και θα αποτελέσουν τις περιοχές εκπαίδευσης. Οι περιοχές εκπαίδευσης θα είναι φασματικά ομοιογενείς και διαφορετικές από το δείγμα που θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο ακρίβειας. Οι ίδιες περιοχές εκπαίδευσης θα χρησιμοποιηθούν στην ταξινόμηση των εικόνων για κάθε έτος αναφοράς ώστε να μειωθούν τυχόν σφάλματα. Για τον έλεγχο ακρίβειας της εκάστοτε ταξινόμησης, θα χρησιμοποιηθεί περίπου το 1/3 του συνολικού μεγέθους του δείγματος.

Λόγω της μεγάλης ετερογένειας και ποικιλότητας του τοπίου ενδέχεται τα αποτελέσματα της εκάστοτε ταξινόμησης να είναι μειωμένης ακρίβειας σε επίπεδο συνολικής περιοχής έρευνας (λεκάνη απορροής). Στην περίπτωση αυτή, η περιοχή έρευνας θα καταταμηθεί σε τρεις υποπεριοχές-ζώνες και η επιβλεπόμενη ταξινόμηση θα εφαρμοστεί εκ νέου σε κάθε υποπεριοχή-ζώνη. Οι τρεις ζώνες είναι: α) οι υγροτοπικές (μόνο φυσικοί τύποι οικοτόπων, εξαιρουμένων των εκτάσεων δασικού χαρακτήρα) συμπεριλαμβανομένου των λιμναίων υδάτων στο κέντρο της περιοχής έρευνας, με βάση τις θεσμοθετημένες προστατευόμενες περιοχές του δικτύου «Natura2000», β) τα δάση και οι δασικές εν γένει εκτάσεις που καλύπτουν τις ημι-ορεινές περιοχές μέχρι και τις πλαγιές των ορέων στα όρια της περιοχής, με βάση τον Δασικό Χάρτη, και γ) οι υπόλοιπες μορφές κάλυψης/χρήσεις γης (αγροτικές, τεχνητές επιφάνειες, και οδικό δίκτυο), σύμφωνα με την προτεινόμενη ροή μεθοδολογίας (Εικόνα 4-5).

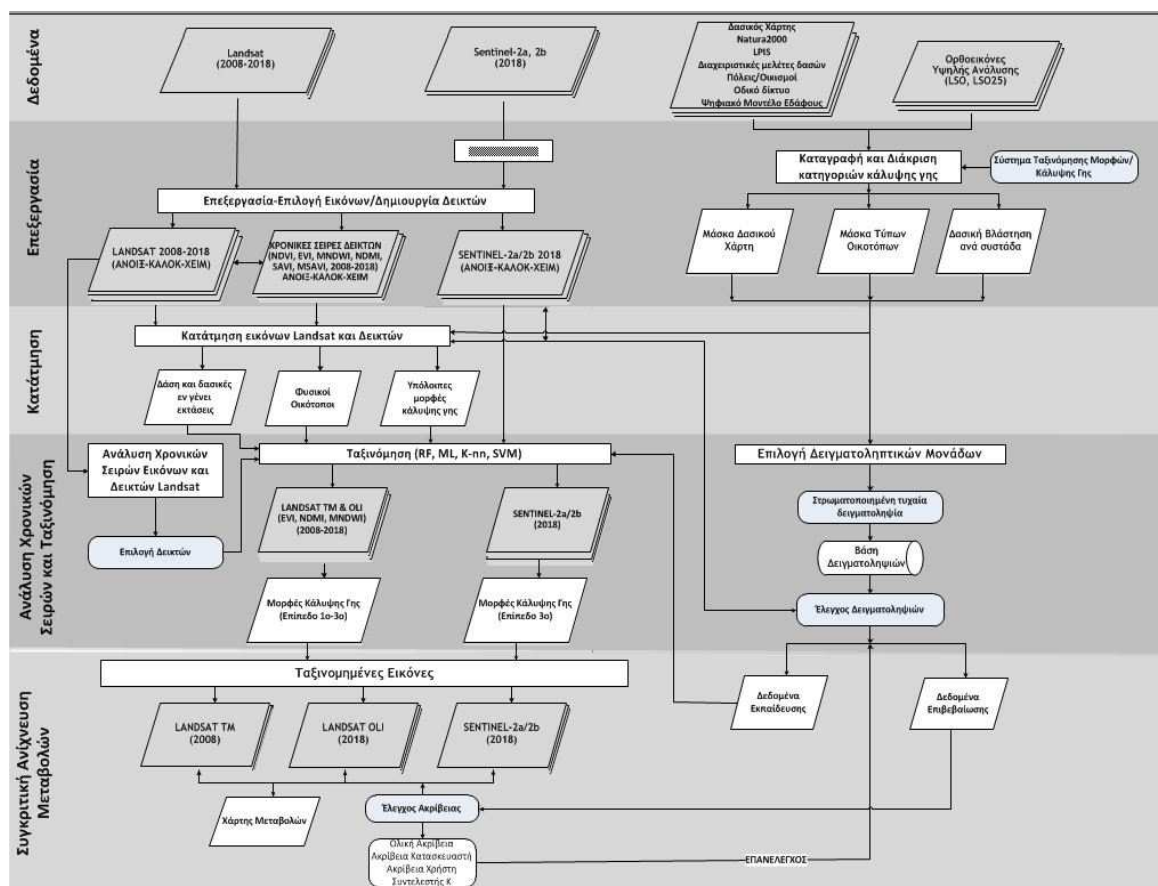
Προτείνεται η εφαρμογή των διαθέσιμων αλγόριθμων ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας, της k-πλησιέστερης γειτνίασης, και του τυχαίου δάσους, προκειμένου να υπάρξει συγκριτική αξιολόγηση της απόδοσής τους. Οι ως άνω αλγόριθμοι ταξινόμησης θα εφαρμοσθούν σε κάθε σενάριο ταξινόμησης είτε σε επίπεδο συνολικής περιοχής είτε σε επίπεδο

θεματικού αντικειμένου (δάση, υγρότοποι και λοιπές μορφές κάλυψης γης). Για την αξιολόγηση της ακρίβειας της ταξινόμησης και του τελικού χάρτη του εκάστοτε έτους αναφοράς και σεναρίου ταξινόμησης, θα δημιουργηθεί μήτρα σφαλμάτων (confusion matrix) και θα υπολογιστεί η Ολική Ακρίβεια (OA), η Ακρίβεια Χρήστη (AX), η Ακρίβεια Κατασκευαστή (AK) και ο Συντελεστής Kappa (ΣΚ). Συνεπώς, η απόδοση του εκάστοτε ταξινομητή υπολογίζεται με βάση τα ως άνω στατιστικά μεγέθη ανά σενάριο και δορυφορικό ανιχνευτή.

#### **4.3 Επισημάνσεις επί της Προτεινόμενης Μεθοδολογίας**

Η εφαρμογή του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου οδηγεί στην ολοκληρωμένη εξέταση του ζητήματος της καταγραφής των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης. Μέσω της εφαρμογής διαφορετικών σεναρίων και αλγόριθμων ταξινόμησης είναι δυνατόν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την αναγνώριση και διάκρισή τους αλλά και για την ακρίβεια της χαρτογράφησης σε κάθε σενάριο. Το βασικό πλεονέκτημα της προτεινόμενης μεθοδολογίας έγκειται στην αξιοποίηση όλων των διαθέσιμων γεωχωρικών δεδομένων και πηγών και η ενσωμάτωση εκείνων των φασματικών χαρακτηριστικών των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητά της.





Εικόνα 4-5. Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας.

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζεται λεπτομερώς η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΣΕ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΕΙΡΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ LANDSAT

### 5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται παραδείγματα από την περιοχή μελέτης, τα οποία προβάλλουν τις δυνατότητες χρονικών σειρών εικόνων Landsat για χαρτογράφηση και παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης. Τα συγκεκριμένα παραδείγματα χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση και ερμηνεία διαφόρων κατηγοριών μορφών/κάλυψης γης από χρονικές σειρές εικόνων διαφορετικής εποχής ανά έτος αλλά και διαφορετικών ετών. Συνεπώς διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) εποχιακού χαρακτήρα, όπου λαμβάνονται υπόψιν επιλεγμένες παρατηρήσεις ανά εποχή για τον προσδιορισμό της διεποχιακής διακύμανσης, και β) χρονικής τροχιάς, όπου λαμβάνονται υπόψιν επιλεγμένες παρατηρήσεις διαφορετικών ετών, για τον προσδιορισμό της κατάστασης ή τάσης των υπό μελέτη μορφών κάλυψης γης σε βάθος χρόνου. Σκοπός είναι η διερεύνηση της διασύνδεσης ή σχέσης των χαρακτηριστικών των μορφών κάλυψης γης και οικοσυστημάτων με χρονικές σειρές εικόνων Landsat και η αναγνώριση τυχόν μεταβολών.

### 5.2 Υλικά και Μέθοδοι

Η ελεύθερη πρόσβαση στη λήψη χρονικών σειρών εικόνων Landsat και Sentinel μέσω διαδικτύου από την USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>) είναι πλέον γενικευμένη και έχει καταστεί δυνατή η επεξεργασία και ερμηνεία τους για οποιονδήποτε τόπο της υδρογείου. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται οι εικόνες που επιλέχθηκαν για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης και οι φασματικοί μετασχηματισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την παρατήρηση και ερμηνεία χρονικών σειρών εικόνων των ανιχνευτών των ως άνω δορυφόρων.

### 5.2.1 Δορυφορικά δεδομένα Landsat

Αναφορικά με τις εικόνες Landsat επιλέχθηκαν χρονικές σειρές εικόνων Landsat 5 TM (2008-2011) και εικόνες Landsat 8 OLI (2013-2020) για τρεις διαφορετικές εποχές: άνοιξη, καλοκαίρι και χειμώνας. Δύο εικόνες καλύπτουν πλήρως την περιοχή μελέτης (Path/Row: 183/032 και 184/032). Για το έτος 2012 δεν κατέστη δυνατόν να επιλεγθεί εικόνα Landsat σε οποιαδήποτε εποχή για την περιοχή μελέτης λόγω κακής ποιότητας.

Όλες οι εικόνες λήφθηκαν τόσο σε επίπεδο Collection 2 Level-2 (surface reflectance - Bottom of Atmosphere) όσο και σε επίπεδο Collection 2 Level-1. Όλες οι εικόνες ανεξαρτήτως επιπέδου έχουν γεωαναφορά στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS84 (UTM 34N). Το ποσοστό κάλυψης νεφών είναι μικρότερο από 10%. Οι εικόνες C2L2 έχουν μεγαλύτερη γεωμετρική ακρίβεια και είναι διορθωμένα χρονικά, χωρικά και φασματικά για την μείωση των επιπτώσεων της διάχυσης και απορρόφησης του φωτός λόγω ύπαρξης ατμοσφαιρικών αερίων και της εξάτμισης νερού. Κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η απευθείας σύγκριση μεμονωμένων εικονοστοιχείων στο χρόνο, μεταξύ διαφορετικών ανιχνευτών.

Μετά τη λήψης τους από την USGS, δημιουργήθηκε στοίβα και μωσαϊκό ανά εποχή και έτος και διαχωρίστηκε η περιοχή μελέτης από την υπόλοιπη περιοχή. Πριν την περαιτέρω επεξεργασία τους και την ανάπτυξη φασματικών δεικτών, οι τιμές αντανάκλασης των πρωτογενών εικόνων Landsat C2L2 surface reflectance επαναπροσδιορίστηκαν με την εφαρμογή συντελεστών (scaling factor), σύμφωνα με τις οδηγίες της USGS (<https://www.usgs.gov/faqs/how-do-i-use-scale-factor-landsat-level-2-science-products>).

### 5.2.2 Φασματικοί μετασχηματισμοί

Πέραν της χρήσης του συνόλου των καναλιών κάθε εικόνας Landsat σε βάθος δεκαετίας, επιλέχθηκε και η χρήση συγκεκριμένων φασματικών δεικτών, όπως είναι οι δείκτες NDVI, EVI, MNDWI, SAVI, MSAVI, και NDMI. Οι φασματικοί δείκτες αναπτύχθηκαν για την βελτίωση

της ανίχνευσης των βλαστητικών χαρακτηριστικών ενώ συγχρόνως μειώνουν την επίδραση παραγόντων, όπως είναι η αντανάκλαση του εδάφους, η κατεύθυνση της αντανάκλασης και οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις. Ειδικότερα, οι δείκτες βλάστησης αναπτύχθηκαν με βάση την αντανάκλαση σε 2-3 φασματικά κανάλια, κυρίως στο κόκκινο και το κοντινό υπέρυθρο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ουσιαστικά εκμεταλλεύονται την ισχυρή αντίθεση αντανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο και στο κόκκινο, καθώς η βλάστηση παρουσιάζει ισχυρή αντανάκλαση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο κοντινό υπέρυθρο και ισχυρή απορρόφηση στο κόκκινο. Συνεπώς, είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι σε εφαρμογές πολυφασματικών εικόνων. Οι μετασχηματισμοί που περιγράφονται ακολούθως και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα δημιουργήθηκαν από εικόνες Landsat Level-2 (BOA).

Επιπλέον, διερευνώνται οι τιμές των δεικτών ανά είδος μεταβολής, προκειμένου να επιλεγθούν κατάλληλα όρια τιμών για την ανίχνευσή τους. Οι συγκεκριμένοι δείκτες σχετίζονται άμεσα με τον ερευνητικό σκοπό της παρούσας διατριβής, ήτοι η διαχρονική παρακολούθηση της κατάστασης των μορφών κάλυψης γης των χερσαίων και υδάτινων οικοσυστημάτων και η ανίχνευση μεταβολών.

Ο δείκτης NDVI φέρει τη δυνατότητα όχι μόνο απόδειξης παρουσίας βλάστησης σε επίπεδο εικονοστοιχείου αλλά παρέχει και εκτίμηση της ποσότητας ή της κατάστασης της βλάστησης σε ένα εικονοστοιχείο. Ο δείκτης NDVI (Εξ. (1)) είναι ο λόγος της διαφοράς προς το άθροισμα των καναλιών του κοντινού υπέρυθρου (NIR) και του κόκκινου (RED) για την καταγραφή της δυναμικής της βλάστησης.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

Τα δάση, οι ημι-φυσικές περιοχές, οι υγροτοπικές και αγροτικές περιοχές με βλάστηση εμφανίζουν σαφώς υψηλότερες τιμές NDVI σε σύγκριση με άλλες μορφές κάλυψης γης

(αστικές, εγκαταστάσεις, ύδατα, κ.λπ.). Ειδικότερα, οι τιμές του δείκτη είναι κοντά στο 0 ή αρνητικές για τις υπόλοιπες περιοχές, συμπεριλαμβανομένων των βράχων, δομημένων επιφανειών και αμμωδών περιοχών (Pettorelli et al., 2005). Μεγάλες τιμές του δείκτη αντιπροσωπεύουν περιοχές με υγιή βλάστηση σε πλήρη ανάπτυξη (Huang et al., 2020). Οι αγροτικές καλλιέργειες παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της ανάπτυξής τους, οι οποίες δύναται να λαμβάνονται μέσω διεποχικών εικόνων (Ouzemou et al., 2018). Έχει αποδειχθεί ότι η χρονική ανάλυση της τάσης του δείκτη NDVI είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την παρακολούθηση της κάλυψης γης, όπως μεταβάλλεται στο χρόνο, από φαινόμενα που οφείλονται σε απότομα φυσικά ή ανθρωπογενή περιστατικά (Hu et al., 2021), και από διακυμάνσεις της φαινολογίας της βλάστησης οφειλόμενες είτε σε μεταβολές θερμοκρασίας ή βροχοπτώσεων είτε σε σταδιακή κλιματική αλλαγή (Berveglieri et al., 2021· Siachalou et al., 2017· Vogelmann et al., 2012).

Ο δείκτης EVI (Εξ. 2) αναπτύχθηκε ως πρότυπο προϊόν βλάστησης του δορυφορικού φασματοραδιόμετρου MODIS (Terra and Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Ο συγκεκριμένος δείκτης παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία σε περιοχές με μεγάλη βιομάζα (π.χ. πυκνά δάση) ενώ ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις του εδάφους και της ατμόσφαιρας σε αντίθεση με τον δείκτη NDVI (Chang et al., 2014· Jian et al., 2008). Επίσης, έχει αναφερθεί ότι συσχετίζεται με τον δείκτη Leaf Area Index (LAI), τη βιομάζα, το βαθμό συγκόμωσης και μέρος της απορροφημένης φωτοσυντιθέμενης ακτινοβολίας (Gao et al., 2000). Συνεπώς, είναι χρήσιμος για την παρακολούθηση εποχιακών και ετήσιων διακυμάνσεων σε βάθος χρόνου της δομής της βλάστησης (Huete et al., 2002).

$$EVI = 2.5 * ((NIR - RED) / (NIR + 6 * RED - 7.5 * BLUE + 1)) \quad (2)$$

Ο δείκτης SAVI (Εξ. 3) χρησιμοποιείται για τη μείωση της επίδρασης της αντανάκλασης του εδάφους σε περιοχές με χαμηλό ποσοστό κάλυψης από βλάστηση.

$$SAVI = ((NIR-RED)/(NIR+RED+L)) * (1+L) \quad (3)$$

Ο συντελεστής L χρησιμοποιείται για την μείωση της επίδρασης της αντανάκλασης του εδάφους. Λαμβάνει τιμές από το μηδέν ως το άπειρο ως συνάρτηση του βαθμού συγκόμωσης. Σύμφωνα με την USGS, για εικόνες Landsat ο συντελεστής L είναι ίσος με 0,5. Εάν L=0, τότε η τιμή του δείκτη SAVI είναι ίση με την τιμή του δείκτη NDVI. Συνεπώς ο δείκτης SAVI διορθώνει τον δείκτη NDVI.

Για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης του γυμνού εδάφους στον δείκτη SAVI χρησιμοποιείται ο δείκτης MSAVI (Εξ. 4).

$$MSAVI = (2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - RED)}) / 2 \quad (4)$$

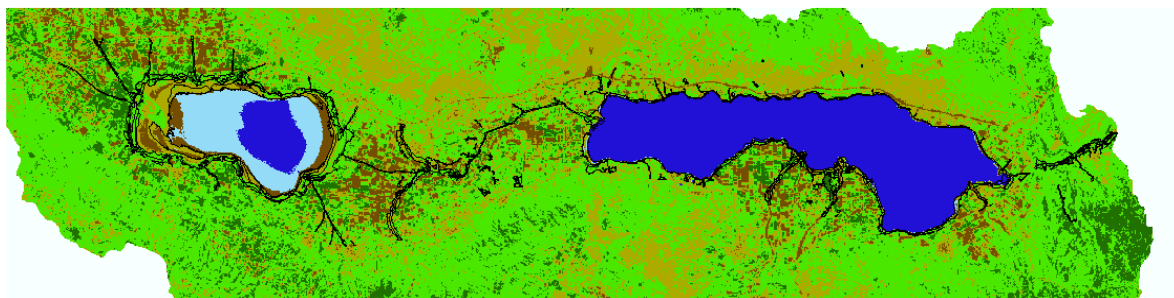
Ο δείκτης NDMI χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ποσότητας υγρασίας της βλάστησης. Σε παρελθούσες έρευνες έχει αποδειχθεί ότι είναι σημαντικός στην διάκριση αγροτικών καλλιεργειών (Kyere et al., 2019· Nguyen et al., 2018). Ο NDMI (Εξ. 5) είναι ο λόγος της διαφοράς προς το άθροισμα των καναλιών του κοντινού υπέρυθρου NIR και του μακρινού SWIR 1.

$$NDMI = (NIR-SWIR1)/(NIR+SWIR1) \quad (5)$$

Ο δείκτης MNDWI (Εξ. 6) είναι ένας από τους δείκτες ύδατος με ευρεία εφαρμογή, όπως στην χαρτογράφηση επιφάνειας υδάτων, στην παρακολούθηση μορφών κάλυψης /χρήσεων γης και στην οικολογική έρευνα (Feyisa et al., 2014, Duan και Bastiaanssen, 2013· Hui et al., 2008· Xu, 2006).

$$MNDWI = (GREEN-SWIR1)/(GREEN+SWIR1) \quad (6)$$

Θεωρητικά, οι θετικές τιμές του δείκτη αντιπροσωπεύουν περιοχές με νερό ενώ τιμές μικρότερες του μηδενός περιοχές χωρίς νερό. Στην πράξη όμως, οι υδάτινες επιφάνειες δύνανται να έχουν τιμές μικρότερες του μηδενός λόγω της παρουσίας ιζημάτων στο νερό ποταμών και λιμνών. Στην παρούσα έρευνα, ο συγκεκριμένος δείκτης χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση διεποχιακών μεταβολών των επιφανειακών λιμναίων υδάτων. Το όριο τιμών του δείκτη για την διάκριση των μόνιμων λιμναίων υδάτων από τα εποχιακά ύδατα είναι ίσο με 0,05 ενώ είναι μικρότερο και ίσο με 0 για τις περιοχές όπου δεν υπάρχουν λιμναία ύδατα (Εικόνα 5-1).



Εικόνα 5-1. Διάκριση μόνιμων (μπλε) και εποχιακών (κυανούν) λιμναίων υδάτων με βάση το όριο τιμών δείκτη  $MNDWI = 0,05$  (184/032 Landsat TM C2L2 SR, 05/07/2008).

Οι ανωτέρω δείκτες παρέχουν τη δυνατότητα για τη διάκριση μορφών κάλυψης γης και δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως προσεγγιστικές μεταβλητές (proxy) σε μοντέλα εκτίμησης βιοφυσικών χαρακτηριστικών τους. Επιπρόσθετα, στην ταξινόμηση και χαρακτηρισμό διαφορετικών μορφών κάλυψης/χρήσεων γης δύνανται να χρησιμοποιηθούν με κατάλληλα όρια τιμών (Chen et al., 2006). Για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας στην ταξινόμηση, η άλγεβρα Boolean δύναται να εφαρμοστεί στις φασματικές τιμές των δεικτών. Για παράδειγμα, οι τιμές των δεικτών  $MNDWI = 0$  and  $NDVI > 0,33$  χρησιμοποιήθηκαν ταυτόχρονα για την απόδοση της βλάστησης, στις υγροτοπικές περιοχές. Ομοίως, οι τιμές  $NDVI < 0$  and  $MNDWI > 0$  χρησιμοποιήθηκαν ταυτόχρονα για την απόδοση των λιμναίων υδάτων είτε

μόνιμων είτε εποχιακών. Επισημαίνεται όμως ότι τα ανωτέρω όρια διαφέρουν χρονικά και γεωγραφικά λόγω διαφορετικών ατμοσφαιρικών συνθηκών.

Οι ανωτέρω δείκτες επιλέχθηκαν με βάση την αποδεδειγμένη ευαισθησία και αποτελεσματικότητά τους στην παρακολούθηση των μορφών κάλυψης γης. Συνεπώς, ενδείκνυνται σε περιοχές, όπου παρατηρείται ετερογένεια φυσικών οικοσυστημάτων (δασικών, ημι-φυσικών, υδάτινων και υγροτοπικών σε συνδυασμό με άλλες μορφές κάλυψης γης), όπως είναι η περιοχή έρευνας (Hill, 2013· Marsett et al., 2006).

### **5.2.3 Παρατήρηση και ερμηνεία**

Η παρατήρηση χρονικών σειρών εικόνων έχει ως στόχο την παρακολούθηση της φασματικής αντανάκλασης της επιφάνειας των μορφών κάλυψης γης και την διερεύνηση της διακύμανσής τους από εποχή σε εποχή και ανά έτος σε βάθος χρόνου. Για την ανάλυση της διεποχιακής διακύμανσης τιμών, οι χρονικές σειρές εικόνων οργανώνονται με βάση την ημερομηνία λήψης τους (Day-of-Year, DOY). Όταν η διερεύνηση αφορά σε περίοδο διαφορετικών ετών, οργανώνονται με βάση τη χρονολογική τους σειρά (π.χ. από το καλοκαίρι 2008 έως το καλοκαίρι 2018).

Προς επίρρωση του σκοπού του κεφαλαίου αυτού, χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές ομάδες δειγμάτων επιλεγμένων εικονοστοιχείων από χρονικές σειρές εικόνων Landsat: α) Δείγμα εικονοστοιχείων από κατηγορίες μορφών κάλυψης γης των οποίων ο χαρακτήρας δεν μεταβλήθηκε ανά εποχή και έτος στην περίοδο 2008-2020 (Πίνακας 5-1) και β) δείγμα εικονοστοιχείων καλοκαιριού, που άλλαξαν μορφή, σε κάποιο έτος της περιόδου 2008-2020. Αντικειμενικός σκοπός είναι η ανάδειξη χρονικών σειρών εικόνων Landsat (διεποχιακών και χρονικής τροχιάς) στην διερεύνηση της κατάστασης μορφών κάλυψης γης και τυχόν διαχρονικών μεταβολών διαφορετικού είδους.

Πίνακας 5-1. Δείγμα σταθερών μορφών κάλυψης γης διαχρονικά.

Κατηγορία	Είδος/Υποκατηγορία	Πλήθος δειγμάτων
Δάση	Δρυς	26
	Οξυά	7
	Πλάτανος	10
	Καστανιά	5
	Πεύκη θαλάσσια	6
	Πεύκη μαύρη	30
	Πεύκη τραχεία	18
	Θάμνοι	23
Υγρότοποι	Λειμώνες	15
	Αρμυρίκια	5
	Καλαμώνες	12
	Λιμναία ύδατα	20
Γεωργία	Αρώσιμες εκτάσεις	23
	Αρδεύσιμες εκτάσεις	34
	Ελαιώνες	20
	Οπωρώνες	12
	Φυτείες δασικών ειδών	15
Τεχνητές επιφάνειες	Οικισμοί	85
	Εγκαταστάσεις	11
	Οδικό δίκτυο	12
Σύνολο:		389

Η επιλογή των ως άνω εικονοστοιχείων, ανεξαρτήτως της ομάδας δείγματος, και η κατάταξή τους σε κατηγορίες μορφών κάλυψης γης, βασίστηκε σε επιλογή εικονοστοιχείων από τυχαίο δείγμα επί των εικόνων Landsat, οι οποίες λήφθηκαν στο πλαίσιο της έρευνας. Για την επιβεβαίωση του χαρακτηρισμού κάθε εικονοστοιχείου διεξήχθη φωτοερμηνεία επί των ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων διαφορετικών περιόδων (LSO και LSO25) του ΕΚ και εικόνων Google Earth, οι οποίες λήφθηκαν στο πλαίσιο της έρευνας. Η επιλογή των εικονοστοιχείων του δείγματος βασίστηκε στο ποσοστό κάλυψης της υποκατηγορίας σε κάθε εικονοστοιχείο, το



οποίο ανέρχεται σε 100%. Ειδικότερα, όσον αφορά στα είδη βλάστησης, τα δείγματα επιλέχθηκαν με βάση το βαθμό συγκόμωσης του κυρίαρχου είδους > 80% ανά εικονοστοιχείο. Ο κατάλληλος χαρακτηρισμός αποδόθηκε μοναδικά σε κάθε εικονοστοιχείο για κάθε έτος αναφοράς (2008, 2015 και 2020) και εποχή αφού διασταυρώθηκε και επιβεβαιώθηκε με τα υπόλοιπα διαθέσιμα δεδομένα αναφοράς (δεδομένα τύπων οικοτόπων του δικτύου «Natura2000», LPIS, και μελέτες διαχείρισης δασών).

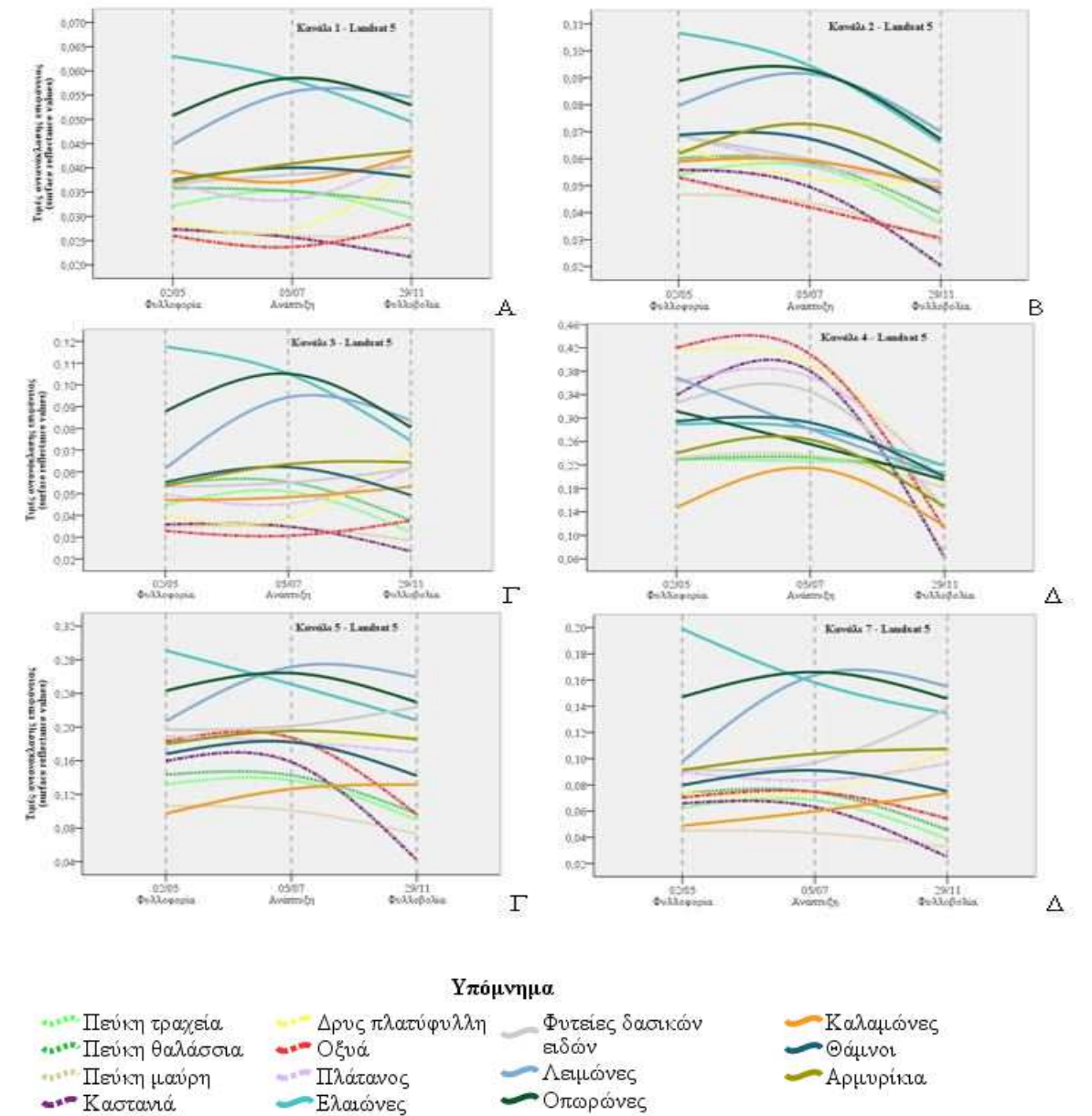
Για την ανάλυση των διεποχιακών διακυμάνσεων των μορφών κάλυψης, από δείγματα, αμετάβλητα στο χρόνο, χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες NDVI, EVI, SAVI, MSAVI και NDMI εικόνων Landsat 5 και 8 SR, όπως παρήχθησαν και αποστάλθηκαν από την USGS. Για την ανάλυση των διαχρονικών μεταβολών ανά έτος, χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες NDVI, EVI, και MNDWI εικόνων Landsat 5 και 8 SR. Οι τελευταίοι αναπτύχθηκαν με τη χρήση του λογισμικού Erdas Imagine 2018. Οι τιμές τους υπολογίστηκαν ανά εικονοστοιχείο του δείγματος. Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά απόσπασμα εικονοστοιχείου επί των ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων του ΕΚ και εικόνων Google Earth 2019 προς υποστήριξη της ερμηνείας.

### **5.3 Αποτελέσματα**

Η διερεύνηση και αξιολόγηση της διακύμανσης διαφόρων κατηγοριών μορφών κάλυψης της περιοχής μελέτης, με βάση χρονικές σειρές εικόνων Landsat 5 TM και 8 OLI (διεποχιακών και διαχρονικών) και επιλεγμένων φασματικών δεικτών, παρουσιάζεται στις επόμενες παραγράφους.

#### **5.3.1 Εποχιακές διακυμάνσεις**

Για την ανάλυση και κατανόηση εποχιακών πολυφασματικών δεδομένων Landsat, διερευνήθηκε καταρχήν η εποχιακή διακύμανση της φασματικής αντανάκλασης των κύριων



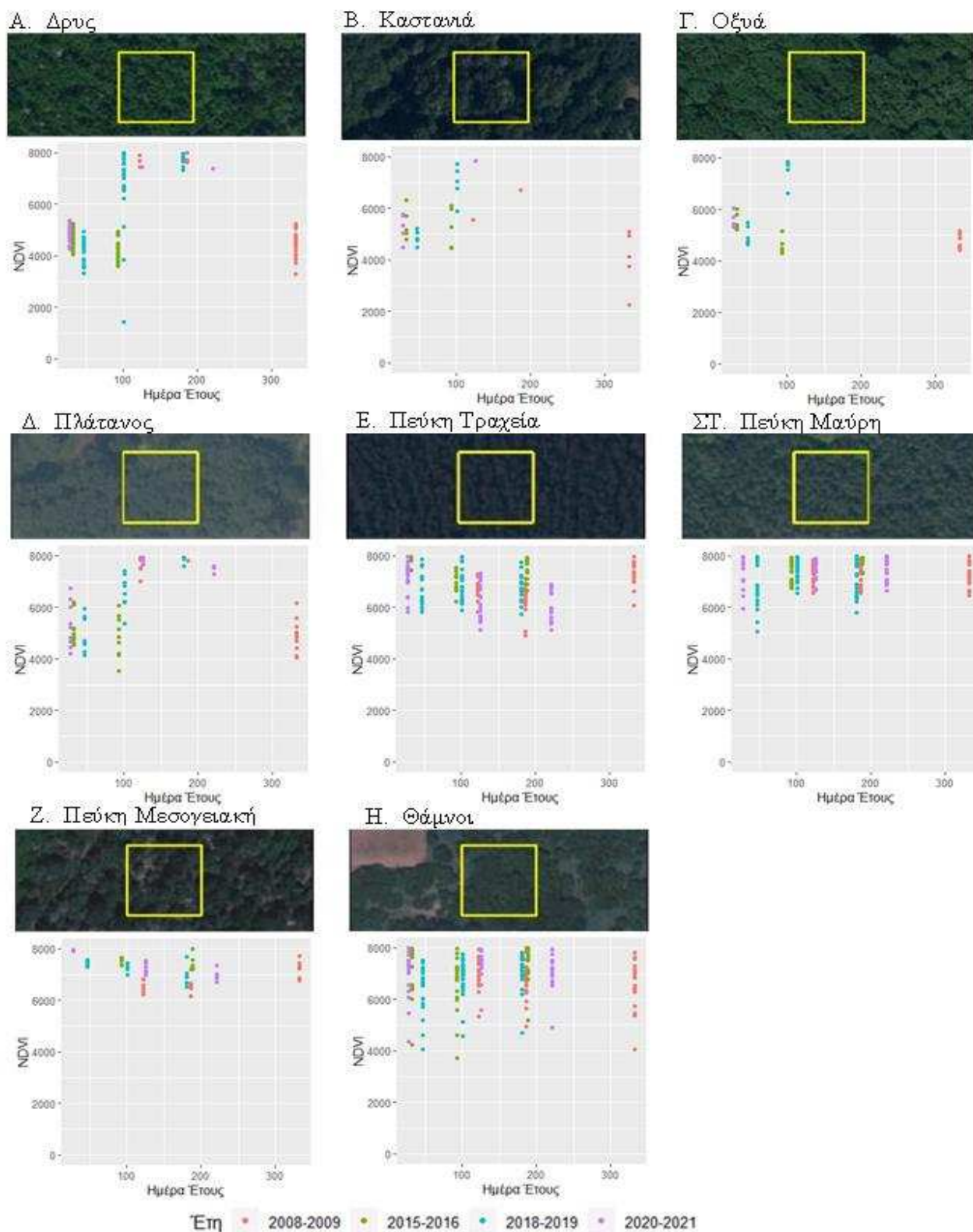
Από την ανάλυση της εποχιακής διακύμανσης των τιμών αντανάκλασης των συγκεκριμένων ειδών βλάστησης ανά κανάλι, διαπιστώνονται τα ακόλουθα: α) Οι μεγαλύτερες τιμές αντανάκλασης όλων των ειδών εντοπίζονται όπως αναμένονταν στο κοντινό υπέρυθρο φάσμα (NIR) της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας 0,76-0,90μm (κανάλι 4) και στην μεταβατική περίοδο μεταξύ φυλλοφορίας και ανάπτυξης, β) Τα κωνοφόρα παρουσιάζουν μικρότερες τιμές σε σύγκριση με τα φυλλοβόλα δασικά είδη σε όλα τα κανάλια και εποχές, προφανώς λόγω της οξυκόρυφης κόμης τους αλλά και της περισσότερο ανοιχτής κομοστέγης τους. Επισημαίνεται ότι η τραχεία και θαλάσσια πεύκη δεν αποτελούν παραγωγικά δάση αλλά προϊόν τεχνητής αναδάσωσης, που για διάφορους λόγους (κλίμα, έδαφος, υγεία, κ.λπ.) η ανάπτυξή τους είναι περιορισμένη, γ) Στο μακρινό υπέρυθρο 1 (SWIR 1) όμως φάσμα 1,55-1,75μm (κανάλι 5), και στο μακρινό υπέρυθρο 2 (SWIR 2) 2.08-2,35 (κανάλι 7), παρουσιάζεται μια ποιοτική διαφορά μεταξύ των ελαιώνων και οπωρώνων (αμυγδαλιές, φυστικιές, κ.λπ.) στην περίοδο της φυλλοφορίας, την άνοιξη. Συγκεκριμένα, οι ελαιώνες παρουσιάζουν μεγαλύτερη τιμή αντανάκλασης την άνοιξη από ότι οι οπωρώνες, λόγω της ταχύτερης χρονικά ανάπτυξης του φυλλώματός τους. Στη συνέχεια βέβαια των επόμενων μηνών, η κατανομή τους ακολουθεί καθοδική τροχιά, προφανώς λόγω μερικής φυλλοβολίας, και δ) ομοίως στα κανάλια 5 και 7 παρατηρείται επίσης μεγαλύτερη τιμή αντανάκλασης των υγροτοπικών λειμώνων αυξανόμενη έως και το καλοκαίρι. Συμπερασματικά, στις ως άνω περιπτώσεις γ) και δ), οι ελαιώνες, οπωρώνες και λειμώνες διαφοροποιούνται από τα υπόλοιπα είδη λόγω υψηλότερων τιμών αντανάκλασης. Από τα ανωτέρω συνάγεται ότι η συμπερίληψη και εικόνων λήψης κατά την περίοδο της φυλλοφορίας την άνοιξη, στην ταξινόμηση των μορφών κάλυψης γης ανά έτος αναφοράς, θα βοηθήσει στην φασματική διάκρισή τους.

Για την ανάλυση διεποχιακών διακυμάνσεων σε βάθος χρόνου, παρουσιάζονται παραδείγματα τα οποία καταδεικνύουν ότι η διεποχιακή διακύμανση με βάση φασματικούς δείκτες εικόνων χρονικής τροχιάς, δύναται να χρησιμοποιηθεί για τον ακριβέστερο χαρακτηρισμό των διαφόρων μορφών κάλυψης γης. Τα παραδείγματα ομαδοποιούνται σε τέσσερις κατηγορίες (δάση, υγρότοποι, γεωργία, και τεχνητές επιφάνειες).

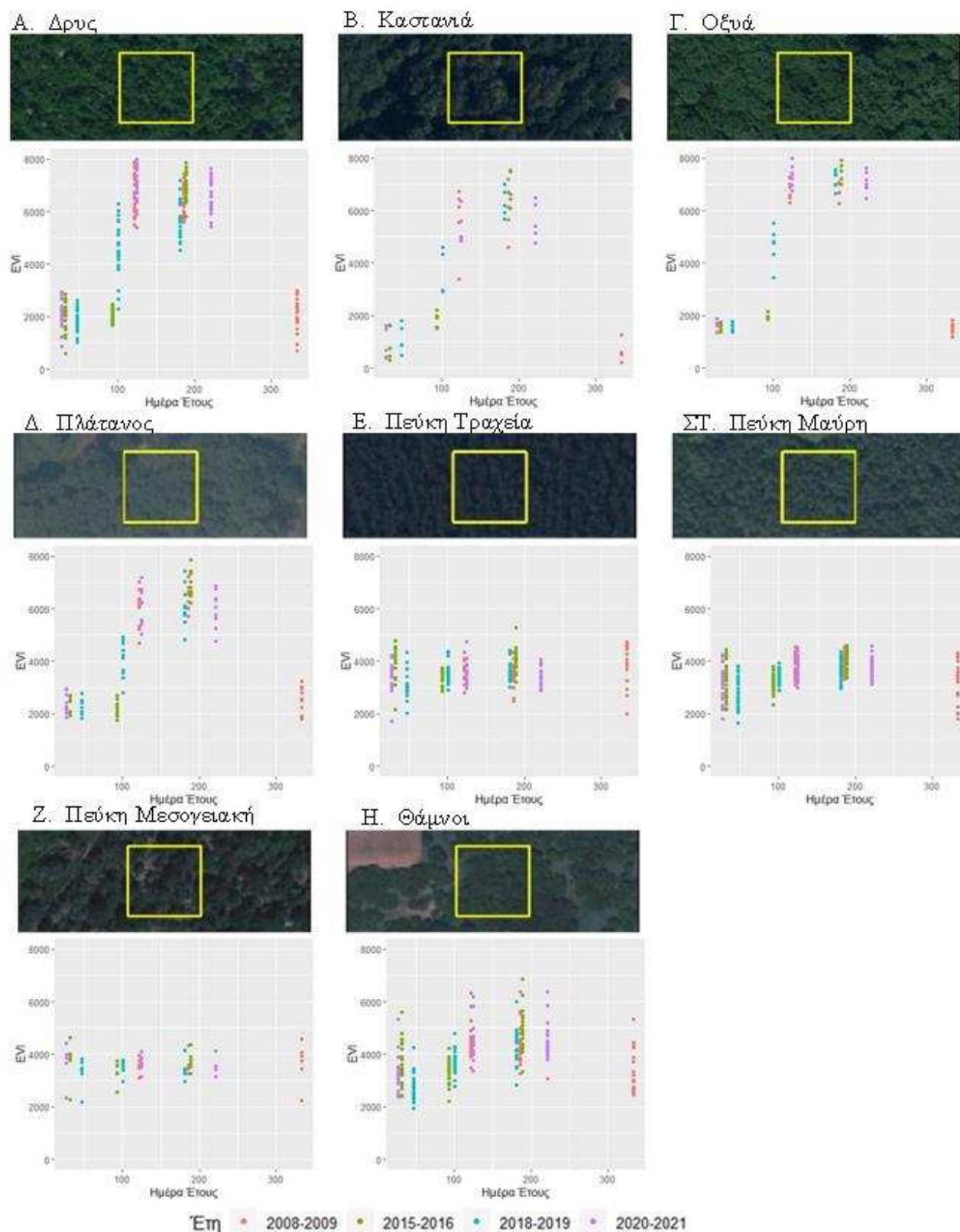
#### **5.3.1.1 Δάση**

Οι εποχιακές διακυμάνσεις των δασών όπως απεικονίζονται σε διάφορους φασματικούς δείκτες οφείλονται σε διάφορους παράγοντες όπως το είδος, η ηλικία, η υγεία, η δομή και ο βαθμός συγκόμωσής τους. Στην Εικόνα 5-3 και 5-4 παρουσιάζονται οι εποχιακές διακυμάνσεις των φασματικών δεικτών NDVI και EVI εικόνων Landsat 5 και 8 SR, που σχετίζονται με την υγεία και την πυκνότητα της βλάστησης, για διάφορα δασικά είδη που απαρτίζουν τα δασικά οικοσυστήματα της περιοχής μελέτης.

Από την ανάλυση των τιμών των ως άνω δεικτών, διαπιστώνεται ότι τα κωνοφόρα δεν παρουσιάζουν εποχιακές διακυμάνσεις σε αντίθεση με τα πλατύφυλλα είδη και τους θάμνους. Υψηλότερες τιμές καταγράφονται στα πλατύφυλλα, μικρότερες στους θάμνους και πιο χαμηλές στα κωνοφόρα. Ειδικότερα, στα πλατύφυλλα είδη, η καταγραφή τιμών και το χειμώνα, μικρότερου βέβαια εύρους έναντι της άνοιξης και του θέρους, καταδεικνύει την ύπαρξη αειφύλλων πλατυφύλλων στον υπόροφο. Το ίδιο φαινόμενο παρουσιάζεται και στους θαμνώνες, και άρα συνάγεται ότι υπάρχει μίξη αειθαλών (υπόροφος) και φυλλοβόλων ειδών (ανώροφος). Στα ίδια επίπεδα βρίσκονται οι διακυμάνσεις των δεικτών SAVI και MSAVI, δεδομένου ότι τα δείγματα καλύπτονται εξ ολοκλήρου από βλάστηση (Εικόνα 5-5 και 5-6).

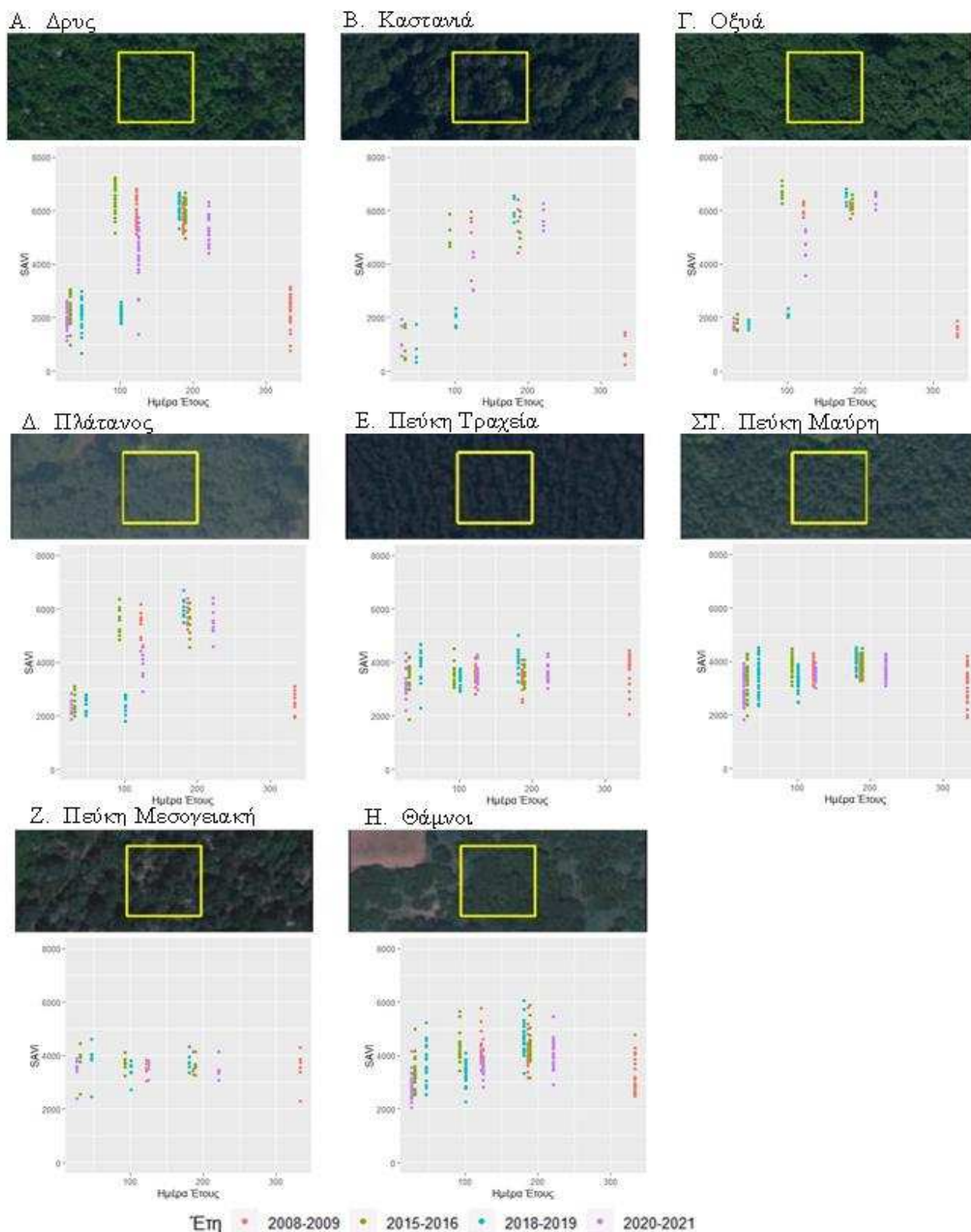


Εικόνα 5-3. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη NDVI ανά δασικό είδος.

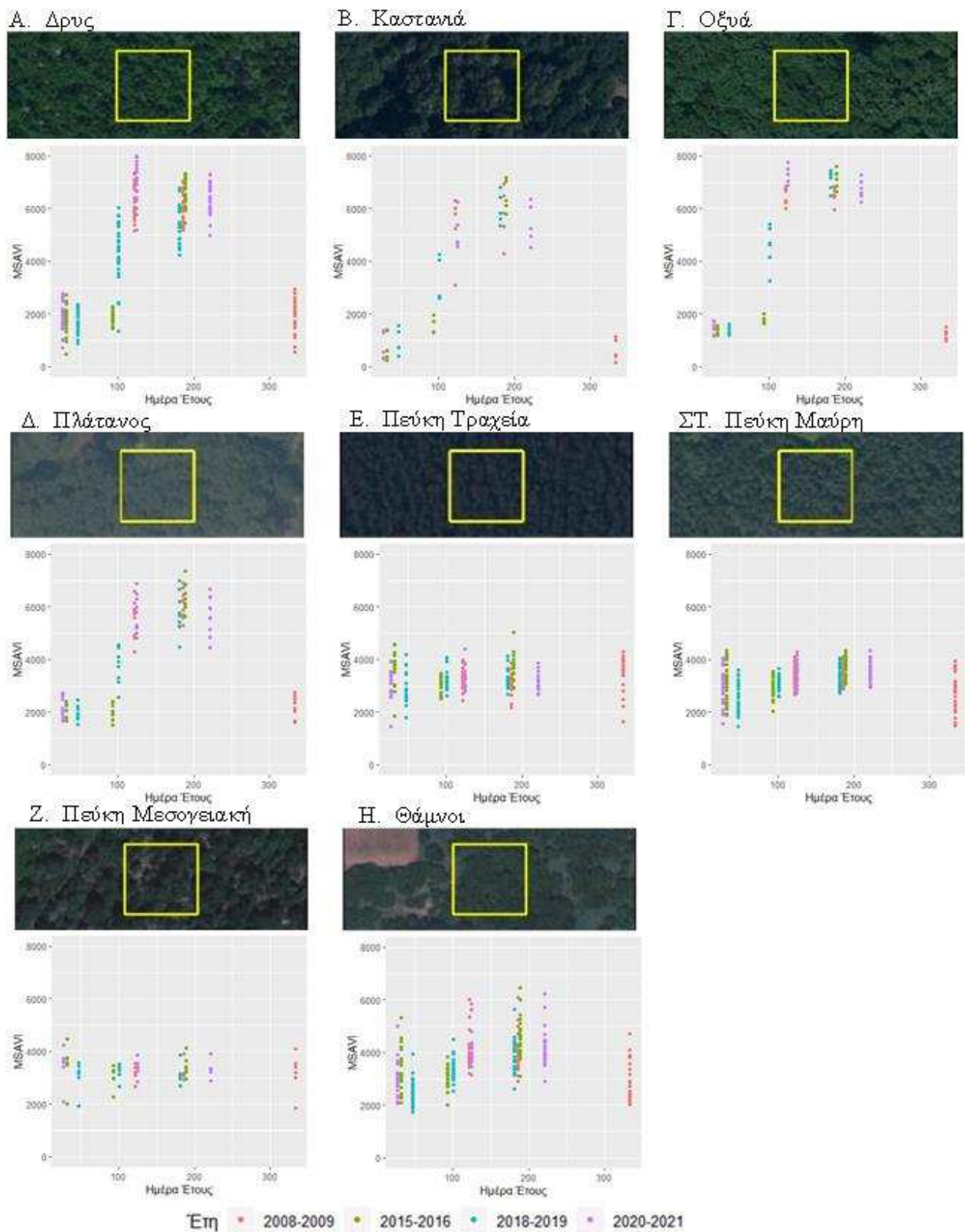


Εικόνα 5-4. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη EVI ανά δασικό είδος.



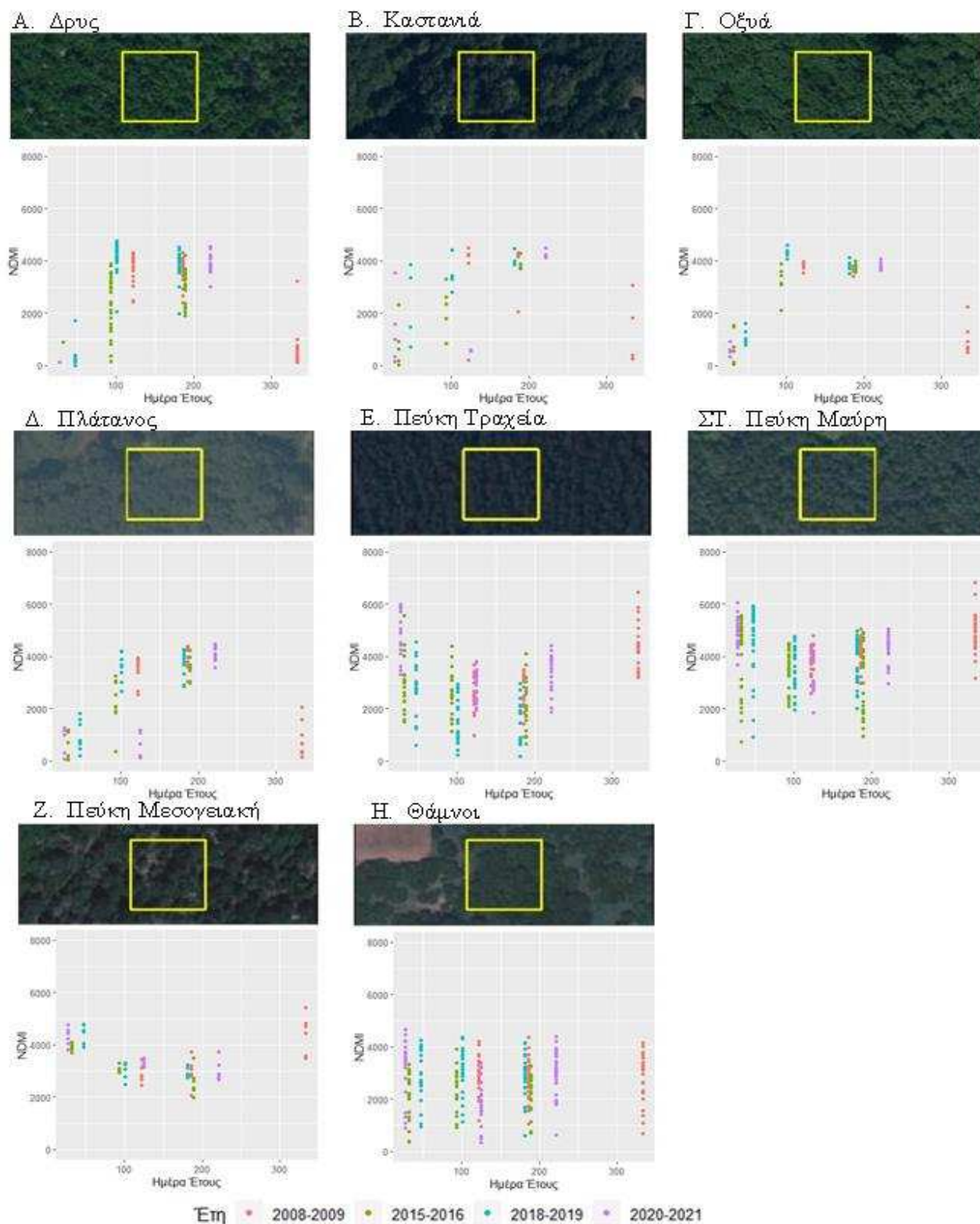


Εικόνα 5-5. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη SAVI ανά δασικό είδος.



Εικόνα 5-6. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη MSAVI ανά δασικό είδος.





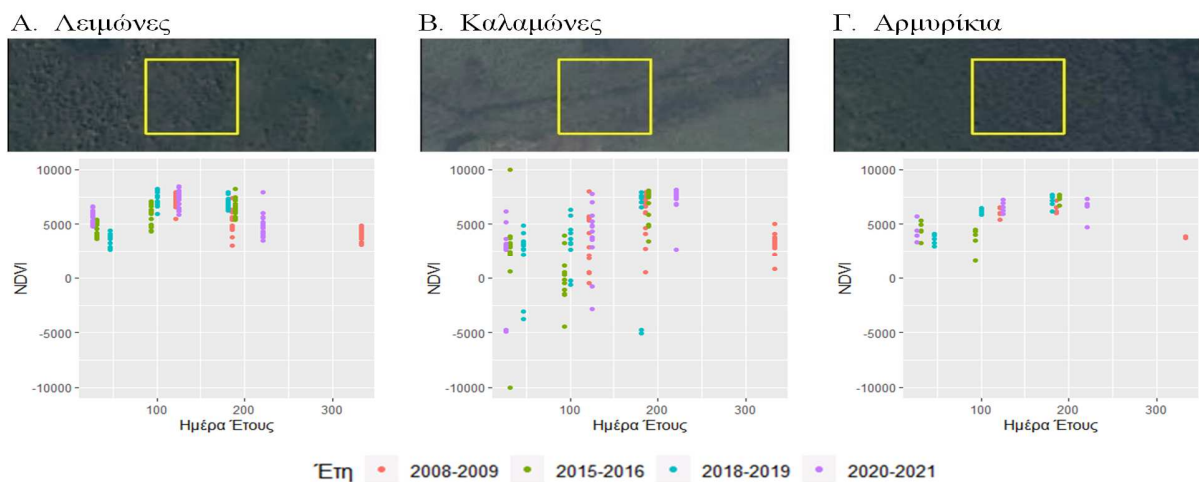
Εικόνα 5-7. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη NDMI ανά δασικό είδος

Αξίζει όμως να σημειωθεί η διακύμανση του δείκτη NDMI στα κωνοφόρα και στους θάμνους (Εικόνα 5-7). Παρατηρούνται αυξημένες τιμές υγρασίας το χειμώνα σε σύγκριση με τα φυλλοβόλα είδη. Οι τιμές αυτές δικαιολογούνται για τα κωνοφόρα δεδομένου ότι πρόκειται για αιθαλή είδη και η συμπαγή κόμη τους διατηρεί κάποια επίπεδα υγρασίας. Για τους θαμνώνες, συνάγεται ότι αποτελούνται κυρίως από αιθαλή είδη, τουλάχιστον στα δείγματα που επιλέχθηκαν.

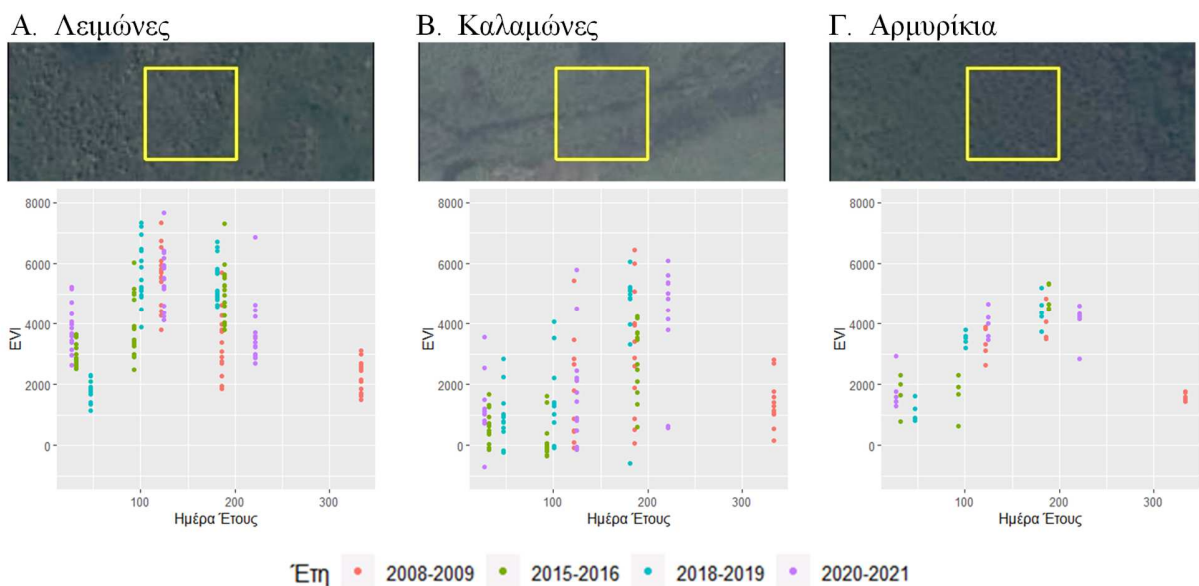
#### **5.3.1.2 Υγρότοποι**

Παρουσιάζονται οι εποχιακές διακυμάνσεις φασματικών δεικτών για συγκεκριμένους τύπους οικοτόπων, λειμώνες (6420) καλαμώνες (72A0), αρμυρίκια (92D0) που απαντώνται ευρέως στην υγροτοπική περιοχή.

Διαπιστώνεται ότι ο δείκτης EVI σε σχέση με τον NDVI αποτυπώνει σαφέστερα τις εποχιακές διακυμάνσεις για τον εκάστοτε τύπο οικοτόπου (Εικόνα. 5-8 και Εικόνα 5-9). Στον δείκτη EVI, οι λειμώνες παρουσιάζουν την υψηλότερη τιμή έναντι των υπολοίπων σε όλες τις εποχές. Το γεγονός ότι οι λειμώνες παρουσιάζουν τιμές  $EVI > 0$  και το χειμώνα σημαίνει την ύπαρξη και άλλων ειδών, πιθανώς θάμνων, πέραν της ετήσιας ποώδης βλάστησης. Σε όλες τις εποχές, τα αρμυρίκια παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές εκ των οποίων οι ελάχιστες εντοπίζονται το χειμώνα. Το τελευταίο θεωρείται λίαν φυσιολογικό δεδομένου ότι πρόκειται για φυλλοβόλο είδος και προφανώς δεν σχηματίζει πυκνές λόχμες.

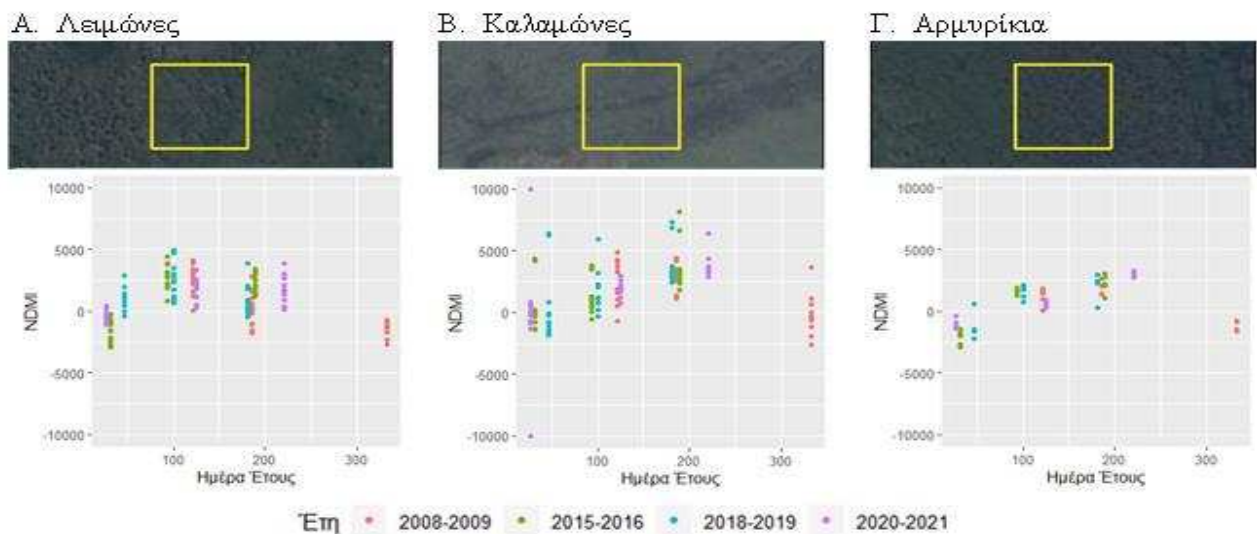


Εικόνα 5-8. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη NDVI ανά τύπο οικοτόπου.



Εικόνα 5-9. Διεποχιακή διακύμανση του δείκτη EVI ανά τύπο οικοτόπου.

Όσον αφορά στον δείκτη NDMI, υψηλότερες τιμές παρουσιάζουν οι καλαμώνες αν και στο μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων οι τιμές συγκλίνουν με τις τιμές των λειμώνων (Εικόνα 5-10). Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι πρόκειται για είδος που τυπικά αναπτύσσεται μέσα ή πολύ κοντά σε γλυκέα ύδατα (ρηχές λίμνες, υδατορεύματα και πλημμυρικές περιοχές) ενώ οι λειμώνες σε υγρά εδάφη.



Εικόνα 5-10. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών NDMI ανά τύπο οικοτόπου.

### 5.3.1.3 Γεωργία

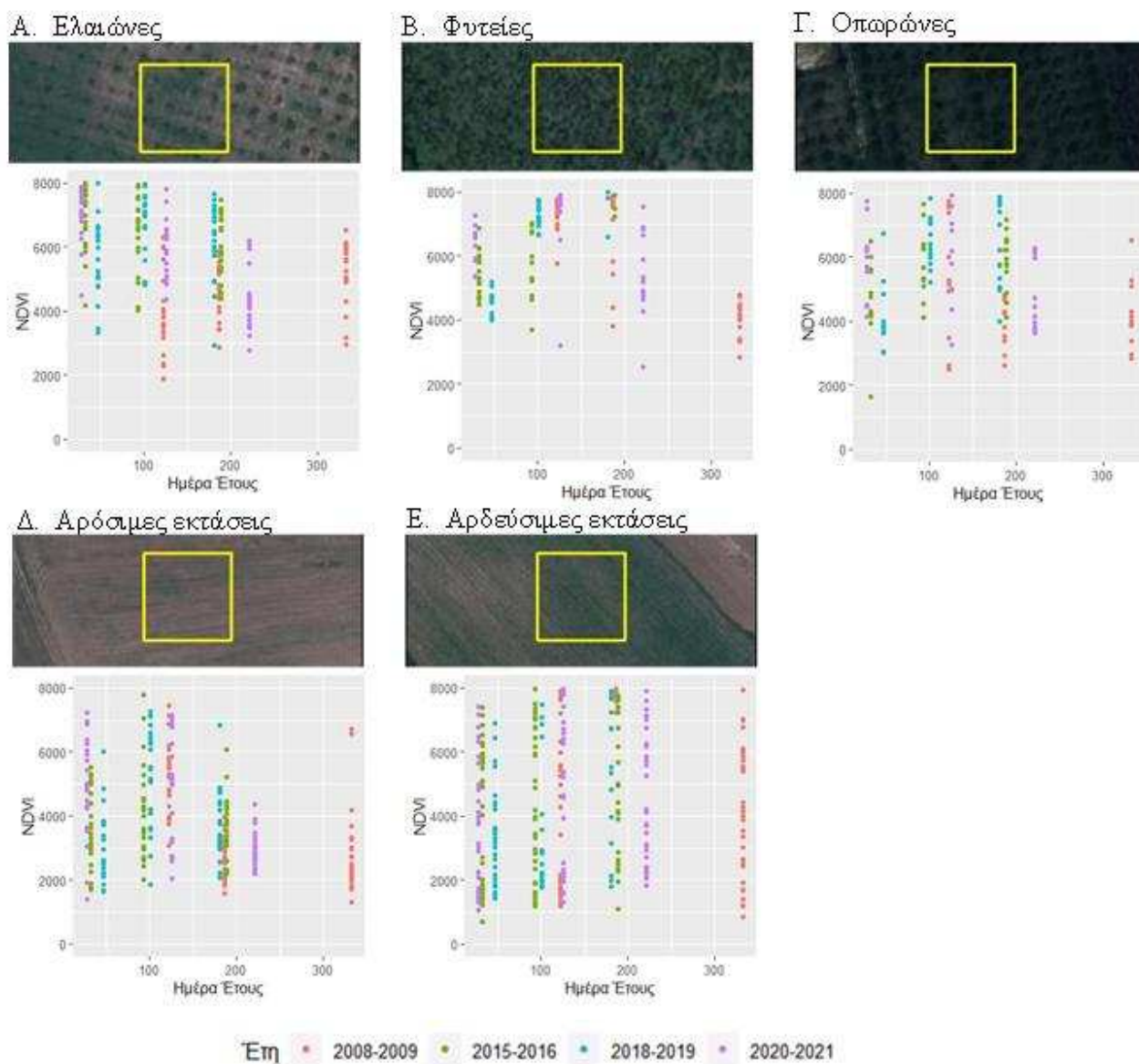
Στην Εικόνα 4-11 έως 4-15 παρουσιάζονται οι εποχιακές διακυμάνσεις των φασματικών δεικτών για το σύνολο των καλλιεργειών που απαντώνται στη περιοχή έρευνας, ήτοι ελαιώνες, φυτείες δασικών ειδών, οπωροφόρων δένδρων, αρόσιμων και αρδεύσιμων καλλιεργειών.

Ως προς τον δείκτη NDVI και EVI, διαπιστώνεται ότι αποτυπώνονται οι εποχιακές διακυμάνσεις όλων των κατηγοριών και με μεγαλύτερη σαφήνεια στον τελευταίο (Εικόνα 5-11 και 5-12). Ειδικότερα, οι ελαιώνες παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές το χειμώνα και την άνοιξη σε σύγκριση με τους οπωρώνες. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στις αρόσιμες καλλιέργειες καθώς πρόκειται κυρίως για σιτηρά. Οι τιμές του δείκτη έχουν πτωτική πορεία στην διάρκεια του έτους και για τις τρεις ως άνω κατηγορίες. Αυτό οφείλεται για τους μεν ελαιώνες και οπωρώνες στη σταδιακή φυλλοβολία τους και για τις δε αρόσιμες καλλιέργειες στο θερισμό τους το καλοκαίρι. Σε αντίθεση, οι τιμές του δείκτη αυξάνονται στις φυτείες δασικών ειδών, και κορυφώνονται το καλοκαίρι, όπου σημειώνεται η μέγιστη ανάπτυξή τους.

Αξιοσημείωτη πάντως, είναι η διακύμανση του δείκτη στις αρδεύσιμες καλλιέργειες, όπου οι

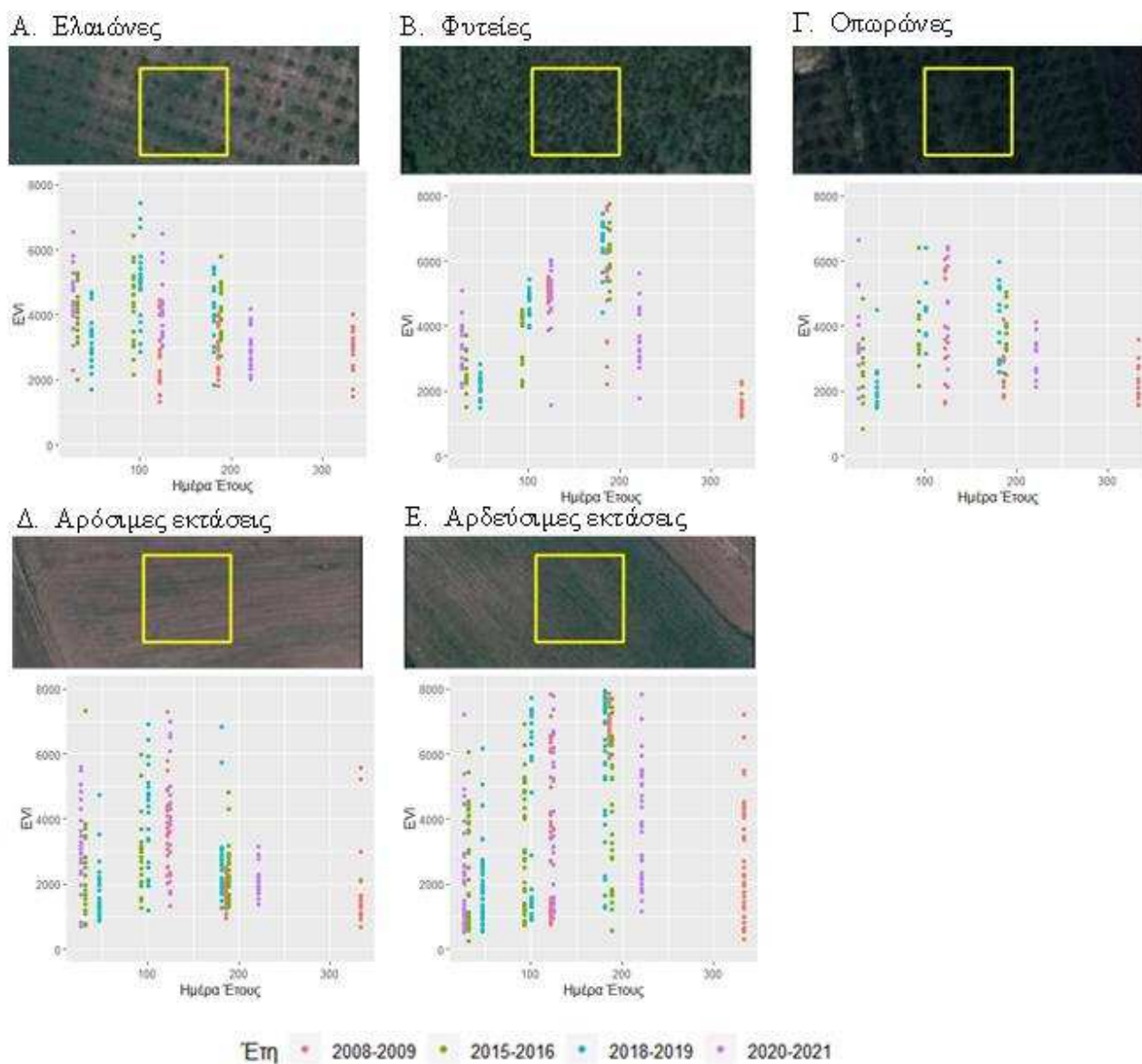
τιμές τους παραμένουν υψηλές την άνοιξη και το καλοκαίρι καθώς πρόκειται κυρίως για καλλιέργειες αραβόσιτου, μειώνονται στις άλλες εποχές αλλά δεν εκμηδενίζονται. Είναι προφανές ότι καλλιεργούνται και στις υπόλοιπες εποχές.

Οι τιμές των δεικτών SAVI και MSAVI κυμαίνονται μεταξύ 0,2 και 0,6 σε όλες τις υπό εξέταση αγροτικές καλλιέργειες, κυρίως το χειμώνα μέχρι το καλοκαίρι. Οι τιμές αυτές οφείλονται στην επίδραση της αντανάκλασης του εδάφους που αποκαλύπτεται εσωτερικά στις κάθε είδους δενδροκαλλιέργειες και του μικρού βαθμού συγκόμωσης αυτών αλλά και στις αρόσιμες εκτάσεις όπου δεν παρατηρείται ύπαρξη βλάστησης το χειμώνα μέχρι την άνοιξη. Οι υψηλότερες τιμές ( $>0,6$ ) των συγκεκριμένων δεικτών αποτυπώνονται μόνο στις αρδεύσιμες καλλιέργειες, κυρίως από την άνοιξη προς το καλοκαίρι. Προφανώς πρόκειται για αροτριάδες εκτάσεις, οι οποίες προτειμάζονται για σπορά και αρδεύονται την συγκεκριμένη εποχή για την ανάπτυξη της εκάστοτε καλλιέργειας είτε έχουν συγκομιθεί το καλοκαίρι.

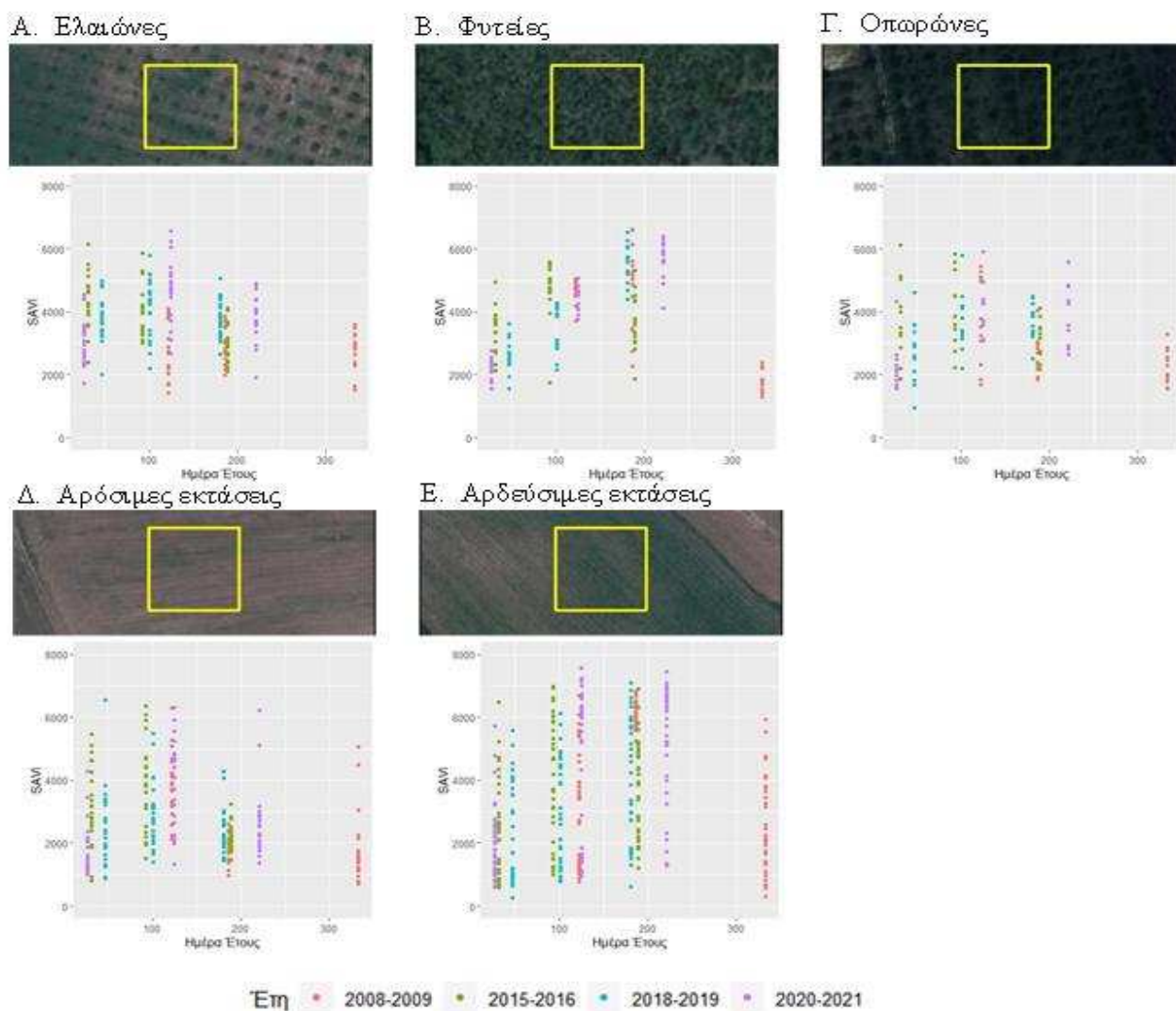


Εικόνα 5-11. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών NDVI ανά αγροτική καλλιέργεια.



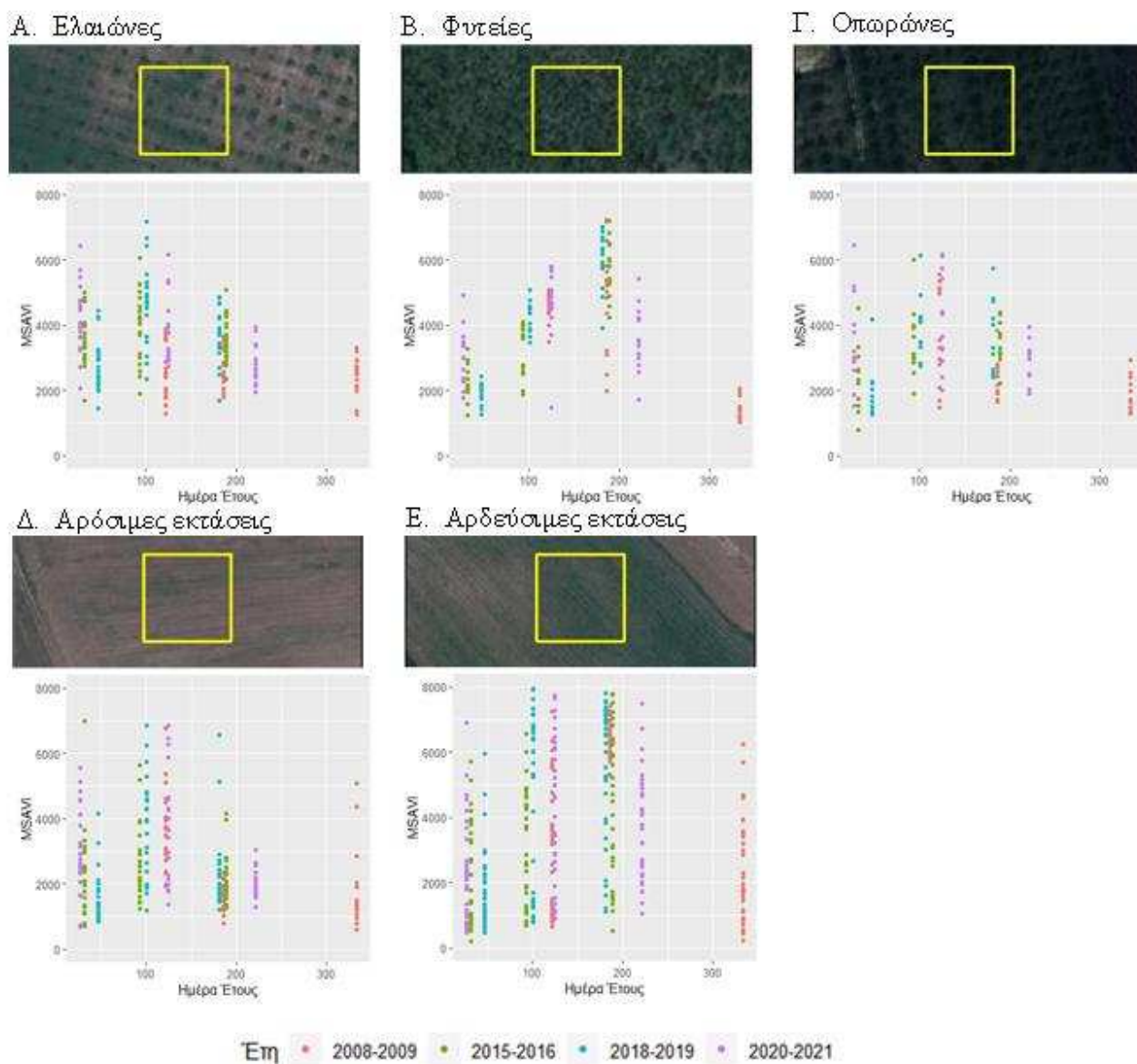


Εικόνα 5-12. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών EVI ανά αγροτική καλλιέργεια.



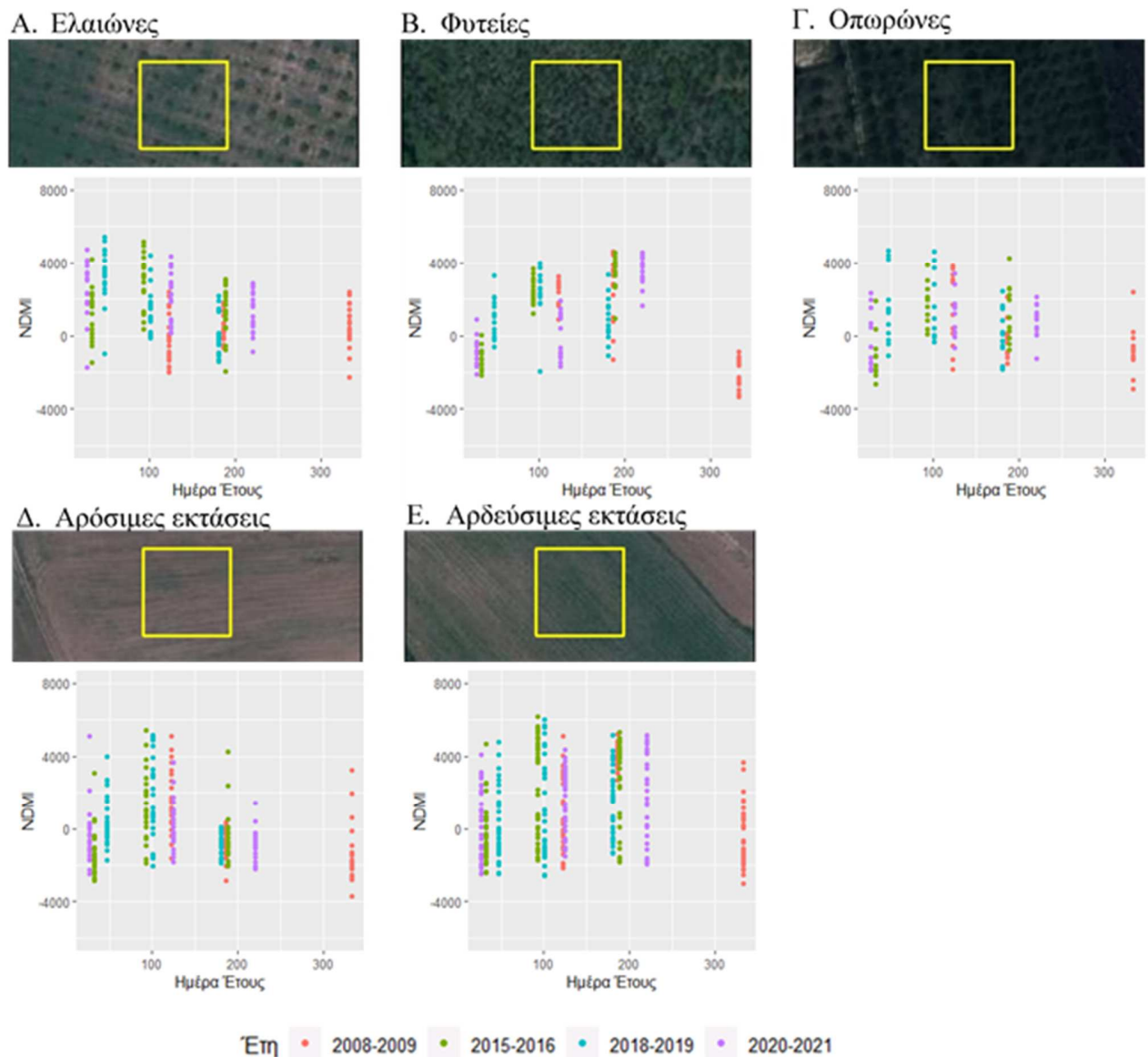
Εικόνα 5-13. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών SAVI ανά αγροτική καλλιέργεια.





Εικόνα 5-14. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών MSAVI ανά αγροτική καλλιέργεια.

Αναφορικά με τον δείκτη NDMI, καταγράφονται και αρνητικές τιμές σε όλες τις κατηγορίες, όλες τις εποχές (Εικόνα 5-15). Οι μεγαλύτερες εξ' αυτών καταγράφονται το καλοκαίρι και το χειμώνα, ενώ οι υψηλότερες θετικές στις αρδευόμενες καλλιέργειες και φυτείες.

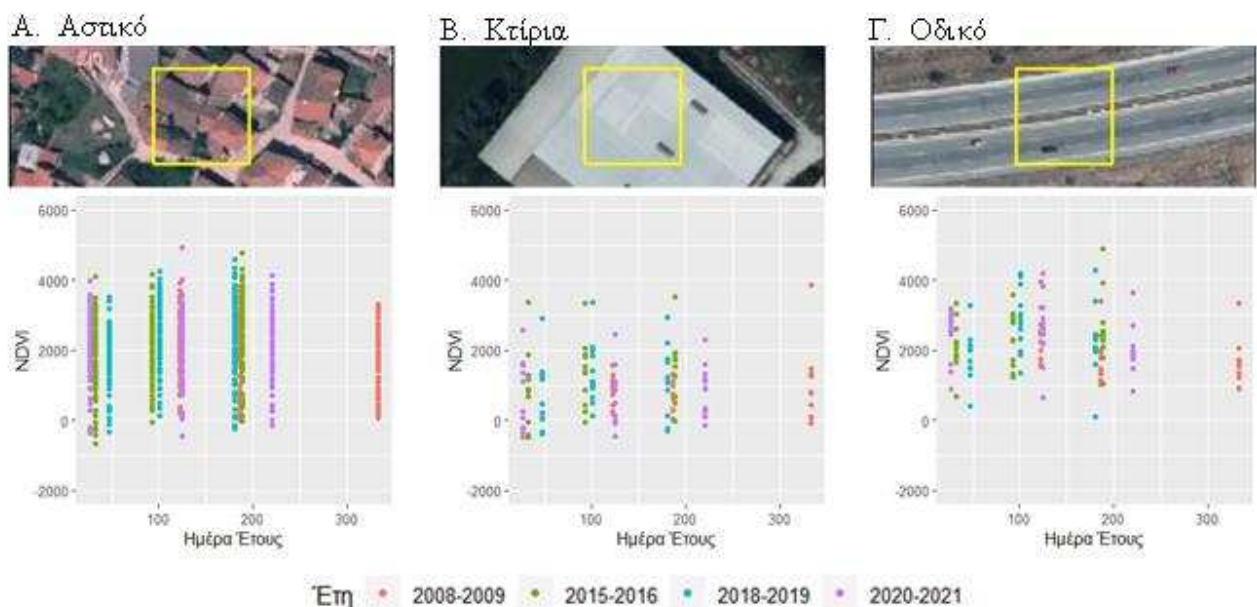


Εικόνα 5-15. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών NDMI ανά αγροτική καλλιέργεια.

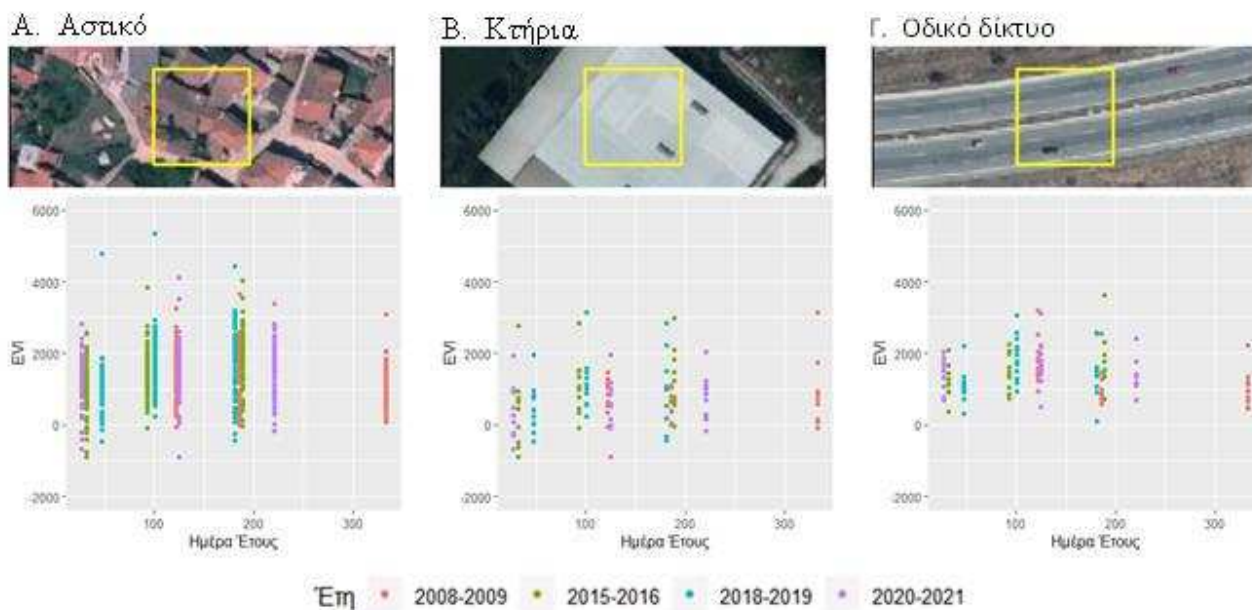
#### 5.3.1.4 Τεχνητές επιφάνειες

Η χρήση πολυφασματικών δεδομένων μεσαίας διακριτικής ικανότητας στην ανίχνευση χαρακτηριστικών τεχνητών επιφανειών είναι δύσκολη λόγω της μικρής κλίμακας, της ασυνέχειάς του και της μικρής επιφάνειάς τους. Ωστόσο, διερευνήθηκαν οι εποχιακές διακυμάνσεις τριών κατηγοριών τεχνητών επιφανειών, ήτοι οικισμών, μεμονωμένων κτηρίων/εγκαταστάσεων και οδικών αξόνων, δεδομένου ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων βρίσκονται σε μίξη είτε με βλάστηση είτε με γυμνό έδαφος.

Από την κατανομή των δεικτών NDVI και EVI διαπιστώνεται ως αναμενόμενo ότι οι τιμές τους είναι χαμηλές και σε ορισμένα δείγματα αρνητικές (Εικόνες 5-16 και 5-17). Ωστόσο, αποτυπώνεται κάποια εποχιακή διακύμανση προφανώς λόγω ύπαρξης μικρού ποσοστού βλάστησης εντός των δειγμάτων ή τυχόν περιβάλλουσας βλάστησης. Ειδικότερα, στην περίπτωση των κτηρίων, δεν παρουσιάζεται εποχιακή διακύμανση και η κατανομή των τιμών είναι επίπεδη. Η ίδια εικόνα παρουσιάζεται και στους υπόλοιπους δείκτες.



Εικόνα 5-16. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών NDVI ανά είδος τεχνητής επιφάνειας.



Εικόνα 5-17. Διεποχιακή διακύμανση των τιμών EVI ανά είδος τεχνητής επιφάνειας.

### 5.3.2 Διαχρονικές μεταβολές

Οι μεταβολές στην κάλυψη γης προκαλούμενες από φυσικές διεργασίες ή ανθρωπογενή αίτια προκύπτουν στην επιφάνεια της γης με υψηλή χρονική και χωρική μεταβλητότητα (Cohen et al., 2016). Αποτελούν σημαντικό στοιχείο των οικοσυστημάτων, τα οποία επηρεάζουν σε διάφορες κλίμακες. Το χρονικό και χωρικό τους μοτίβο μεταβάλλεται ραγδαία (Zhu et al., 2020). Οι μεταβολές γης ορίζονται διαφορετικά στην βιβλιογραφία. Στην εργασία αυτή, ως μεταβολή γης νοείται κάθε διακριτό φαινόμενο, το οποίο συμβαίνει στην επιφάνεια της γης και πέραν της φυσικής μεταβλητότητάς του. Αντικειμενικός στόχος της έρευνας αυτής είναι η ανίχνευση μεταβολών κάθε είδους. Σε αντίθεση με άλλες έρευνες, οι οποίες υποθέτουν ότι όλες οι μεταβολές γης έχουν επιπτώσεις στην βλάστηση (Cohen et al., 2018· Healey et al., 2018· Milesi et al., 2003), η παρούσα έρευνα δεν υιοθετεί την υπόθεση αυτή.

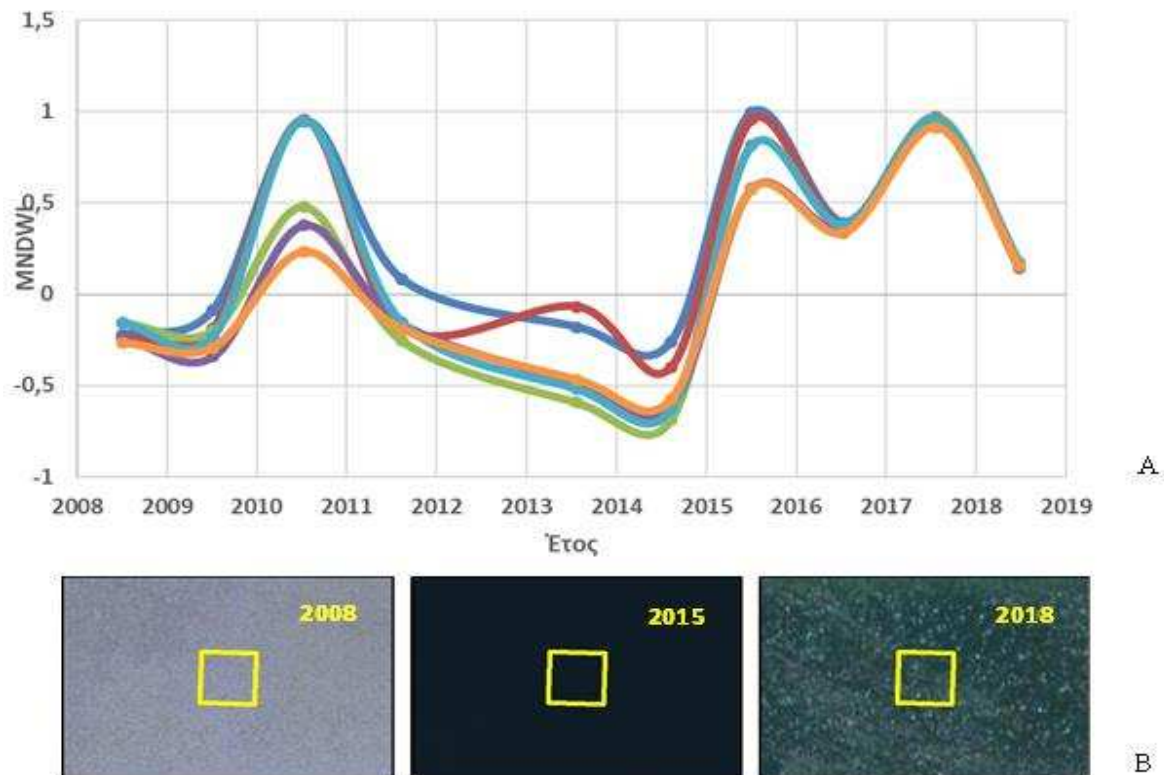
Οι παρατηρούμενες μεταβολές γης κατατάχτηκαν με βάση το είδος και την λειτουργικό διαχωρισμό τους σε: α) κυκλικές, β) απότομες, γ) αποκατάστασης μετά από διατάραξη και δ) σταδιακές μεταβολές (Kennedy et al., 2014· Pasquarella, 2016).

#### **5.3.2.1 Κυκλικές μεταβολές**

Οι κυκλικές μεταβολές συνήθως σχετίζονται με την αλλαγή των εποχών αλλά παρατηρούνται και μεταξύ διαφορετικών ετών είτε λόγω ανθρωπογενούς επέμβασης είτε λόγω των εκάστοτε κλιματικών συνθηκών που επικρατούν. Ως παραδείγματα κυκλικών μεταβολών αναφέρονται η ετήσια εναλλαγή αγροτικών καλλιεργειών, και η μετακίνηση υδάτων της λίμνης Κορώνειας λόγω κλιματικών συνθηκών και διάνοιξης καναλιών. Για την αναγνώριση της τελευταίας περίπτωσης επιλέχθηκαν 6 χαρακτηριστικά δείγματα εικονοστοιχείων (Εικόνα 5-18).

Από τα διαγράμματα της εποχιακής διακύμανσης του δείκτη MNDWI διαπιστώνεται ότι υπάρχουν τρία χρονικά σημεία μεταβολής της τιμής του. Ειδικότερα, το 2008, είναι εμφανής η αποκάλυψη του πυθμένα της λίμνης, όπως και αποτυπώνεται στην τιμή  $MNDWI < 0$ , τεκμηριώνεται δηλ. η απουσία ύδατος. Στη συνέχεια όμως, μετά τη διάνοιξη καναλιών για την τροφοδοσία της λίμνης, η εισροή υδάτων στη λίμνη, επιφέρει μεταβολή στην τιμή αντανάκλασης του δείκτη καθώς προκαλείται περιοδική μεταφορά υδάτων μέσω καναλιών και αυξομείωση της ποσότητας τους. Τα σημεία αυτά εντοπίζονται το 2010, 2015, και 2017 όταν  $MNDWI > 0,5$ . Ενδιαφέρουσα είναι η αυξομείωση των τιμών του δείκτη ανάλογα με την ποσότητα και το χρόνο πλήρωσης των υδάτων της λίμνης.





Εικόνα 5-18. Κυκλική μεταβολή λόγω τροφοδοσίας της λίμνης Κορώνειας με νερό.  
 Α) Διαχρονική διακύμανση τιμών MNDWI, Β) Αποσπάσματα ορθοεικόνων ΕΚ 2008 και 2015 και εικόνας Google Earth 2018 για την αποτύπωση της κατάστασης στα αντίστοιχα έτη.

### 5.3.2.2 Απότομες μεταβολές κατάστασης

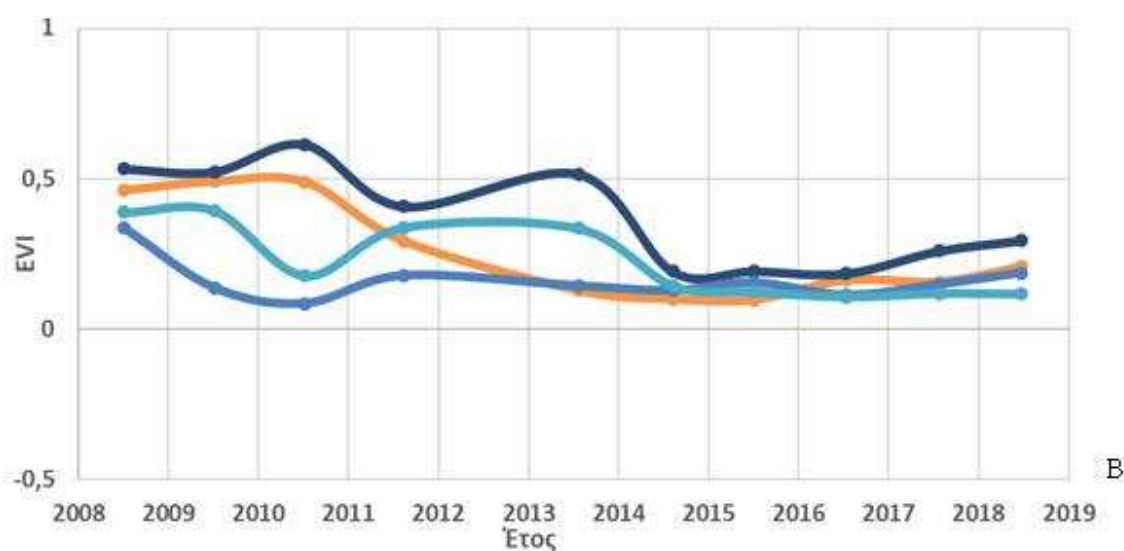
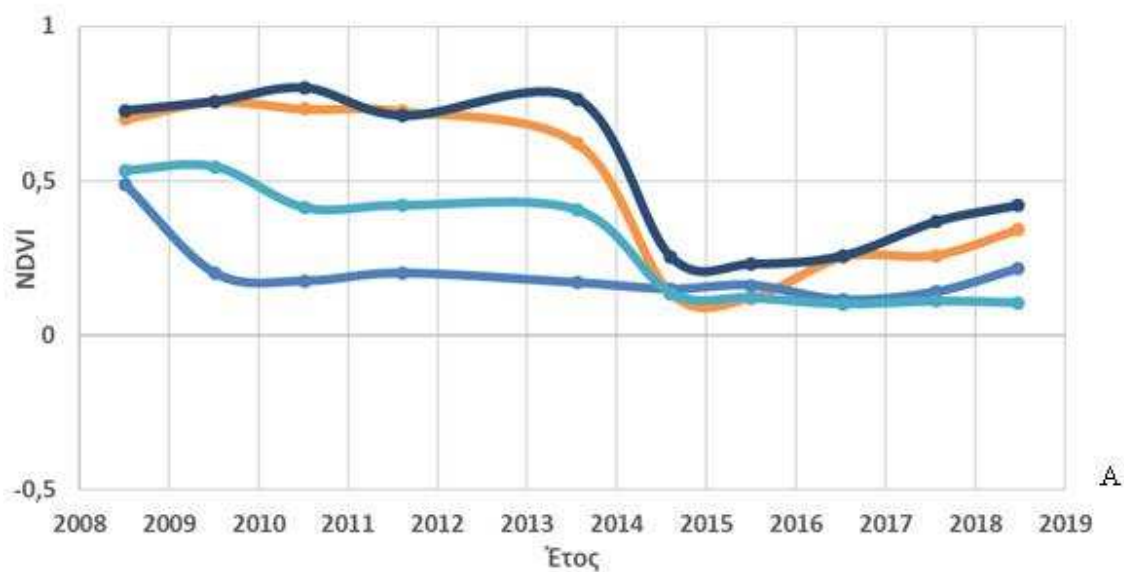
Οι μεταβολές αυτές προκαλούνται είτε από φυσικές καταστροφές (πυρκαγιά, πλημμύρα, κ.λπ.) είτε από ανθρωπογενείς επεμβάσεις (εκχέρσωση δάσους προς αγροτική καλλιέργεια ή δόμηση, αλλαγή χρήσης γεωτεμαχίου, ήτοι από ετήσια αγροτική καλλιέργεια σε δενδροφυτεία, εγκατάσταση ανανεώσιμης πηγής ενέργειας ή άλλη κατασκευή. Για την αναγνώριση απότομων μεταβολών κατάστασης επιλέχθηκαν είκοσι δύο (22) χαρακτηριστικά δείγματα.

Η ανίχνευση απότομων μεταβολών κάλυψης γης με βάση τη χρήση αεροφωτογραφιών ή δι-χρονικών δορυφορικών εικόνων (προ και μετά της μεταβολής) έχει μεγάλη παράδοση και εφαρμογή. Στις χρονικές σειρές εικόνων, οι απότομες μεταβολές απεικονίζονται ως ένα σημείο καμπής (break point) στην τιμή αντανάκλασης του εικονοστοιχείου. Η αναζήτηση και εύρεση

σημείων καμπής σε χρονικές σειρές εικόνων αποδεικνύουν τόσο το χρόνο μεταβολής όσο και τον τόπο όπου έλαβε χώρα η απότομη μεταβολή.

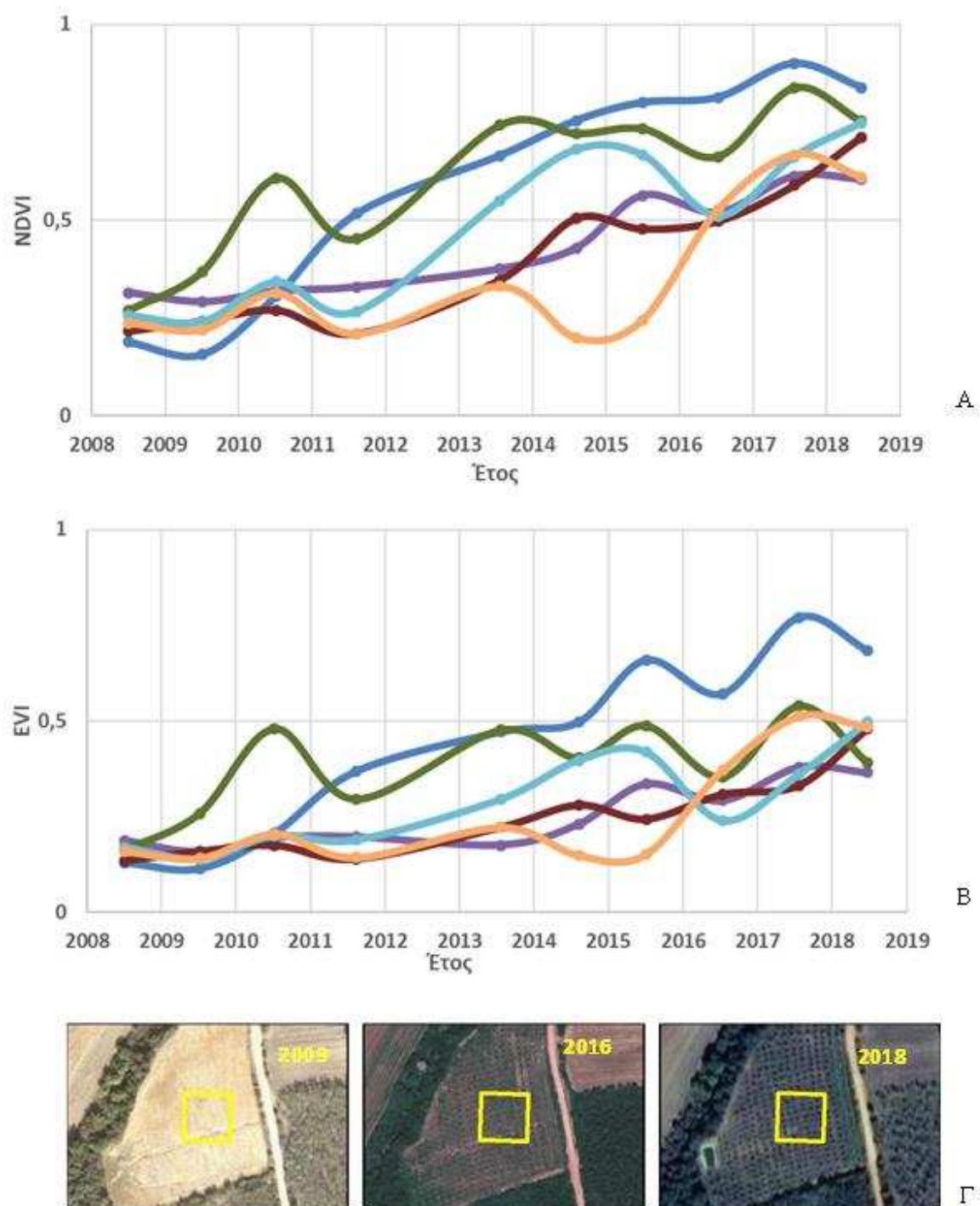
Ειδικότερα, παρατίθενται παραδείγματα απότομης μεταβολής από την περιοχή μελέτης. Στην Εικόνα 5-19 παρουσιάζεται η χρονική σειρά τιμών του δείκτη NDVI και EVI σε τέσσερα (4) δείγματα δάσους, τα οποία εκχερσώθηκαν για τη διάνοιξη οδοποιίας. Κατά το χρόνο της εκχέρσωσης (2014), παρατηρείται απότομη μείωση των τιμών των δεικτών ( $NDVI < 0,2$  και  $EVI < 0,2$ ) λόγω αποψίλωσης της βλάστησης. Στη συνέχεια οι τιμές των δεικτών παραμένουν στα ίδια επίπεδα αλλά δεν μεταβάλλονται σε αρνητικές λόγω της αντανάκλασης της εναπομείνουσας βλάστησης εντός των εικονοστοιχείων αλλά και της περιβάλλουσας.

Στην Εικόνα 5-20 παρουσιάζεται η χρονική σειρά τιμών του δείκτη NDVI και EVI σε έξι (6) δείγματα αγρών, τα οποία μετατράπηκαν σε δενδροκαλλιέργειες το 2011. Οι χαμηλές τιμές των δεικτών ( $NDVI \leq 0,3$  και  $EVI \leq 0,2$ ) που παρατηρούνται το 2008, αρχίζουν να αυξάνονται σταδιακά τα επόμενα χρόνια ανάλογα με την ηλικία και την αύξηση των δένδρων. Παρά την ανοδική πορεία των τιμών αντανάκλασης στο χρόνο, χαρακτηριστικές είναι οι αυξομειώσεις των δεικτών σε διαφορετικά έτη, οι οποίες αποτυπώνουν την βλαστητική ανάπτυξη των δένδρων και της κόμης τους σε συγκεκριμένο χρόνο.



Εικόνα 5-19. Απότομη μεταβολή λόγω εκχέρσωσης. Α) Διαχρονική διακύμανση τιμών NDVI, Β) Διαχρονική διακύμανση τιμών EVI, Γ) Αποσπάσματα ορθοεικόνων ΕΚ 2008 και 2014 και εικόνας Google Earth 2018 για την αποτύπωση της κατάστασης στα αντίστοιχα έτη.





Εικόνα 5-20. Απότομη μεταβολή αγρών που μετατράπηκαν σε ελαιώνες. Α) Διαχρονική διακύμανση τιμών NDVI, Β) Διαχρονική διακύμανση τιμών EVI, Γ) Αποσπάσματα ορθοεικόνων ΕΚ 2009 και 2016 και εικόνας Google Earth 2018 για την αποτύπωση της κατάστασης στα αντίστοιχα έτη.

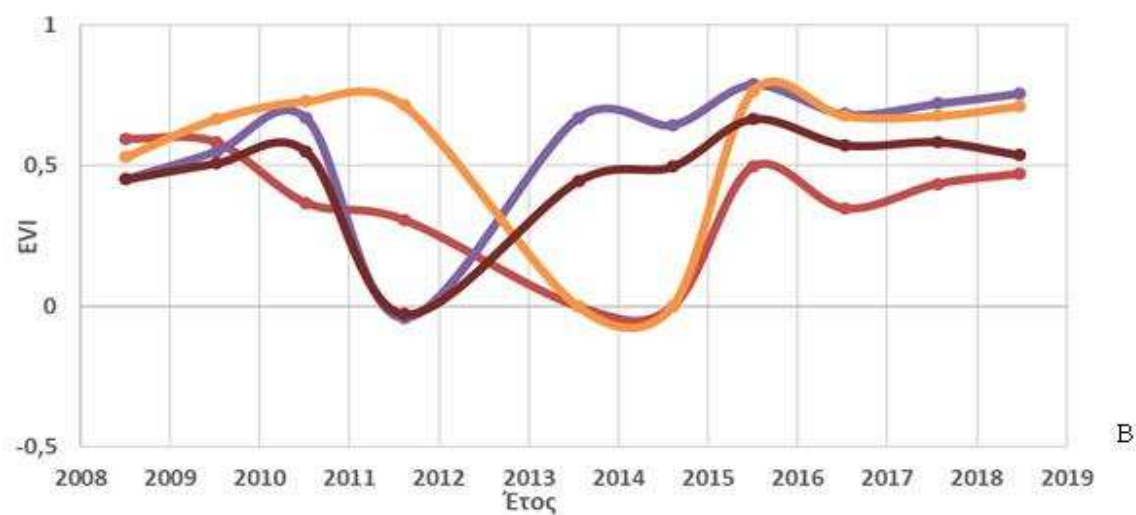
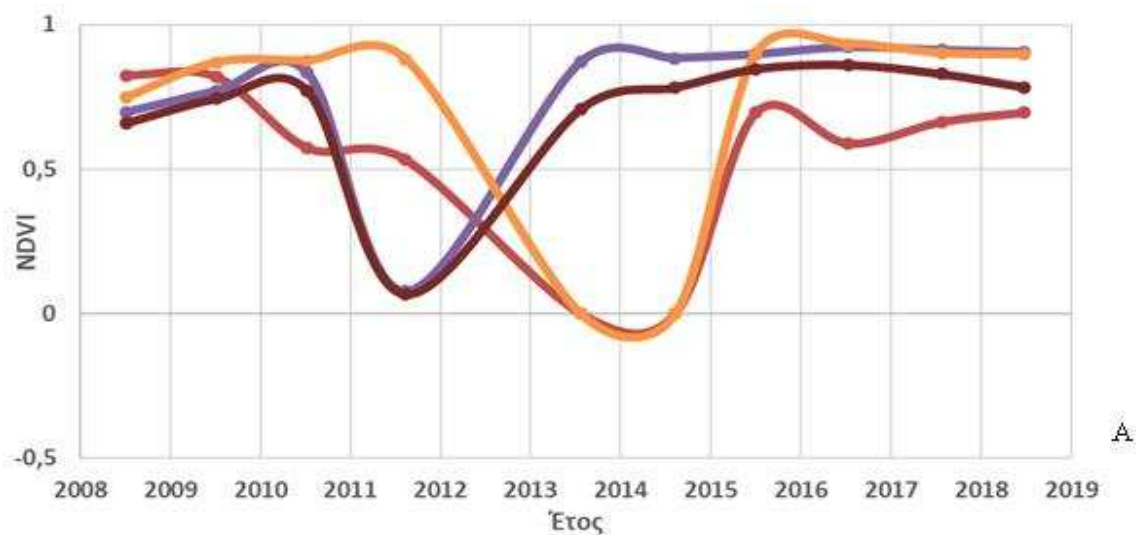
Σε όλες τις περιπτώσεις μετατροπής αρόσιμων καλλιεργειών σε δενδροκαλλιεργείες, ελαιώνες ή δασικές φυτείες, παρατηρείται σταδιακή αύξηση των τιμών των δεικτών ανά έτος λόγω της αύξησης της ηλικίας των δενδροκαλλιεργειών και της ανάπτυξης της κόμης τους στο πέρασμα του χρόνου. Διαπιστώνεται ότι οι απότομες μεταβολές κατάστασης είναι ορατές στις χρονικές σειρές εικόνες Landsat, όπως καταγράφονται στις τιμές των δεικτών NDVI και EVI των δειγμάτων ανά έτος.

### **5.3.2.3 Διατάραξη και αποκατάσταση**

Σε αντίθεση με τις απότομες μεταβολές, το είδος αυτό των μεταβολών αφορά όχι μόνο την διατάραξη ενός οικοσυστήματος λόγω μια απότομης επέμβασης ή γεγονότος αλλά και την αποκατάστασή του σε βάθος χρόνου. Ως παραδείγματα τέτοιου είδους μεταβολής αναφέρονται δάση που υλοτομήθηκαν αποψιλωτικά αλλά στην συνέχεια αναγεννήθηκαν φυσικά ή καταστράφηκαν λόγω πυρκαγιάς και αναγεννήθηκαν φυσικά ή αναδασώθηκαν τεχνητά.

Ειδικότερα, παρατίθεται παράδειγμα τμήματος δάσους που υλοτομήθηκε αποψιλωτικά (Εικόνα 5-21). Για την αναγνώριση διατάραξης και αποκατάστασης επιλέχθηκαν τέσσερα (4) χαρακτηριστικά δείγματα. Στην Εικόνα 5-21 παρουσιάζεται η χρονική σειρά τιμών των δεικτών NDVI και EVI σε δείγματα δάσους, εκ των οποίων δύο υλοτομήθηκαν αποψιλωτικά το 2012 και τα υπόλοιπα το 2014. Κατά το χρόνο της υλοτομίας, παρατηρείται απότομη μείωση των τιμών των δεικτών, οι οποίες από υψηλά θετικές ( $>0,5$ ) καταλήγουν αρνητικές λόγω αποψίλωσης της βλάστησης. Στα επόμενα έτη, οι τιμές των δεικτών αυξάνονται σταδιακά και πλησιάζουν το ανώτερο όριο, ανάλογα με την ηλικία και την πυκνότητα της βλάστησης.

Διαπιστώνεται ότι και αυτού του είδους μεταβολές είναι ορατές στις χρονικές σειρές εικόνες Landsat, όπως καταγράφονται στις τιμές του δείκτη NDVI και EVI των δειγμάτων ανά έτος. Κατά το χρόνο αποψίλωσης, οι τιμές τους προσέγγισαν το 0 ενώ στη συνέχεια βαίνουν αύξουσες λόγω ανάπτυξης της βλάστησης.

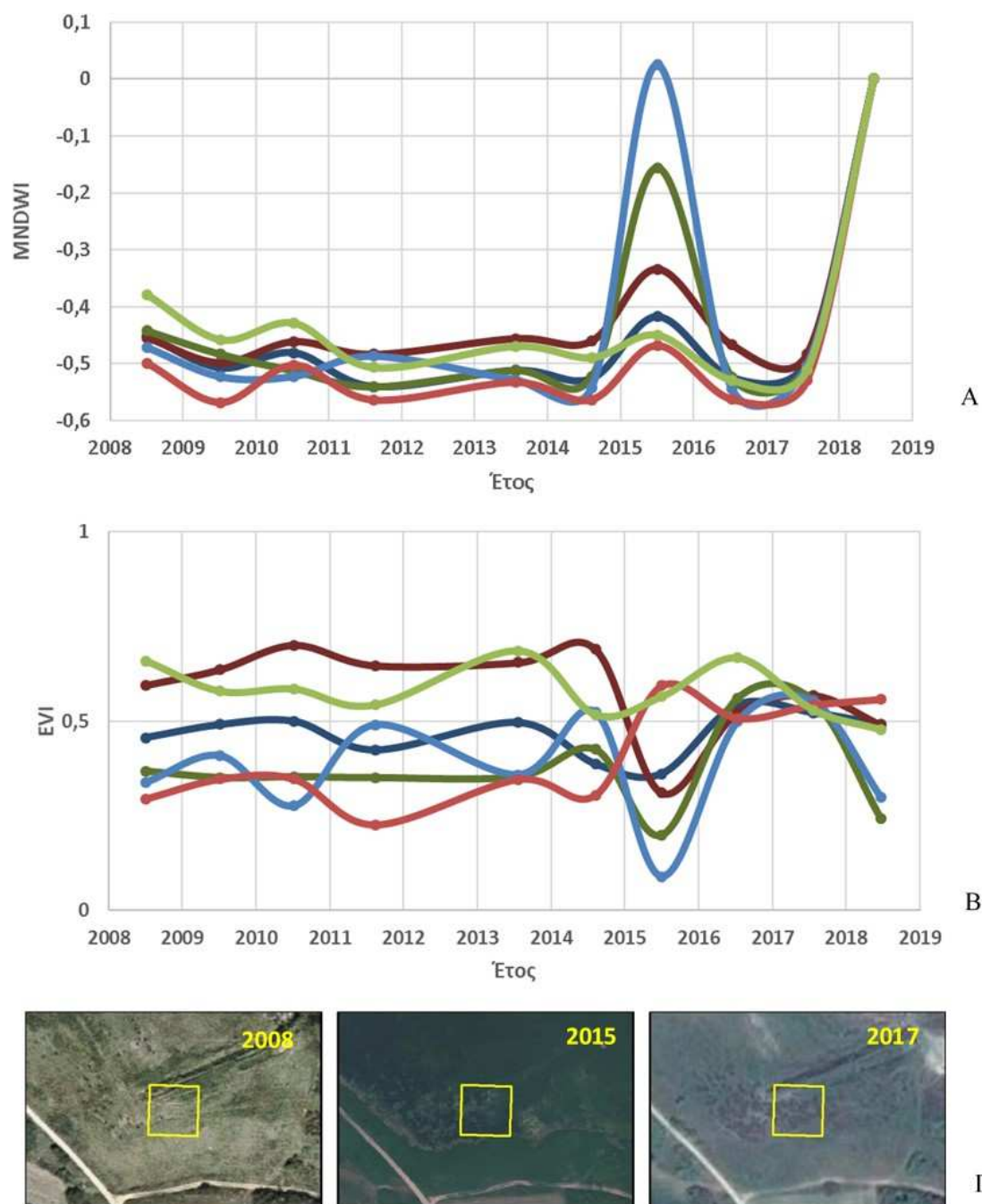


Εικόνα 5-21. Διατάραξη και αποκατάσταση τμήματος δάσους λόγω υλοτομίας. Α) Διαχρονική διακύμανση τιμών NDVI, Β) Διαχρονική διακύμανση τιμών EVI, Γ) Αποσπάσματα ορθοεικόνων ΕΚ 2008 και 2015 και εικόνας Google Earth 2017 για την αποτύπωση της κατάστασης στα αντίστοιχα έτη.

#### 5.3.2.4 Σταδιακές μεταβολές

Οι μεταβολές αυτές αφορούν αλλαγές μικρής κλίμακας της κατάστασης ενός οικοσυστήματος σε βάθος χρόνου. Συνήθως συμβαίνουν σε τμήματά του και όχι στο σύνολό του. Οι σταδιακές αυτές μεταβολές οφείλονται κυρίως στην φυσική διαδοχή του οικοσυστήματος από στάδιο σε στάδιο. Για το λόγο αυτό, οι σταδιακές μεταβολές πραγματοποιούνται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα και η ανίχνευσή τους είναι δύσκολη. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η φυσική δάσωση μεμονωμένων τμημάτων εντός δασικών συμπλεγμάτων που ενώ κάποτε αποτελούσαν φυσικά διάκενα με ποώδη βλάστηση ή καλλιεργούνταν (1945) αλλά εγκαταλείφθηκαν στη συνέχεια λόγω των τότε κοινωνικο-οικονομικών συνθηκών, δασώθηκαν φυσικώς στο πέρασμα του χρόνου. Επίσης, η εναλλαγή φυσικών τύπων οικοτόπων βλάστησης σε υγροτοπικές περιοχές σε βάθος χρόνου, αποτελεί άλλο ένα προφανές παράδειγμα σταδιακής μεταβολής.

Ειδικότερα, παρατίθεται ως παράδειγμα σταδιακής μεταβολής, η οικολογική διαδοχή σε τύπους οικοτόπων (Εικόνα 5-22). Για την αναγνώριση σταδιακών μεταβολών επιλέχθηκαν έξι (6) χαρακτηριστικά δείγματα. Πρόκειται κυρίως για παραλίμνιους υγροτοπικούς λειμώνες (6420), με τιμή  $EVI > 0,3$ , οι οποίοι το 2016 κατακλύστηκαν από λιμναία ύδατα. Είναι χαρακτηριστικό ότι το 2016, η τιμή του MNDWI αυξήθηκε απότομα ανάλογα με την ποσότητα ύδατος ενώ αντίστοιχα η τιμή του EVI μειώθηκε. Στη συνέχεια όμως το 2017, λόγω της ύπαρξης υδάτων ευνοήθηκε και κυριάρχησε ο τύπος οικοτόπου καλαμώνες (72A0). Στην Εικόνα 5-22 παρουσιάζεται η χρονική σειρά τιμών του δείκτη MNDWI και EVI στα δείγματα τύπων οικοτόπων. Είναι εμφανής η μεταβολή των τιμών τους το 2016.



Εικόνα 5-22. Σταδιακή μεταβολή λόγω οικολογικής διαδοχής. Α) Διαχρονική διακύμανση τιμών MNDWI, Β) Διαχρονική διακύμανση τιμών EVI, Γ) Αποσπάσματα ορθοεικόνων ΕΚ 2008 και 2015 και εικόνας Google Earth 2017 για την αποτύπωση της κατάστασης στα αντίστοιχα έτη.

## 5.4 Συμπεράσματα

Από την παρατήρηση και ερμηνεία συγκεκριμένων φασματικών δεικτών εικόνων Landsat, στα αναφερόμενα παραδείγματα, συμπεραίνουμε τα ακόλουθα:

Η διεποχιακή διακύμανση με βάση φασματικούς δείκτες εικόνων χρονικής τροχιάς Landsat, δύναται να χρησιμοποιηθεί για τον ακριβέστερο χαρακτηρισμό των διαφόρων μορφών κάλυψης γης και των μεταβολών τους χωρο-χρονικά. Ειδικότερα, αποδεικνύεται ότι ο δείκτης MNDWI είναι ο πλέον κατάλληλος για την καταγραφή των λιμναίων υδάτων, και στην διάκριση μόνιμων και εποχιακών γλυκέων υδάτων. Ο δείκτης EVI συμβάλλει στην καλύτερη αποτύπωση των διεποχιακών διακυμάνσεων της εκάστοτε μορφής βλάστησης αλλά και μεταξύ διαφορετικών μορφών βλάστησης (δασικής, υγροτοπικής και αγροτικών καλλιεργειών). Ο δείκτης NDMI παρέχει επιπλέον πληροφορίες (ποσοστό υγρασίας) για διαφορετικές μορφές βλάστησης ανά εποχή. Συνεπώς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην διάκριση των κωνοφόρων, των τύπων οικοτόπων στις υγροτοπικές περιοχές αλλά και στην διάκριση αρδευόμενων καλλιεργειών.

Πιστεύουμε ότι η χρήση διεποχιακών εικόνων Landsat/δεικτών συμβάλλει ιδιαίτερα στη φασματική διάκριση των δασικών ειδών και δασικών τύπων, τύπων οικοτόπων, της επιφάνειας πλήρωσης λιμναίων υδάτων, και αγροτικών καλλιεργειών.

Από τη σύγκριση χρονικών σειρών δεικτών στην περιοχή μελέτης δεν παρατηρούνται εκτεταμένες μεταβολές στις μορφές κάλυψης/χρήσης γης και στα οικοσυστήματα πλην της λίμνης Κορώνειας. Ειδικότερα, σε επίπεδο υγροτοπικής περιοχής, παρατηρούνται κυκλικές και σταδιακές μεταβολές λόγω τροφοδοσίας της με ύδατα από υδατορεύματα και οικολογικής διαδοχής των τύπων οικοτόπων. Σε επίπεδο λεκάνης απορροής, παρατηρούνται μικρής έκτασης απότομες μεταβολές και διατάραξης, οι οποίες οφείλονται αποκλειστικά σε ανθρωπογενή

επέμβαση (αποψιλωτικές υλοτομίες, αλλαγή ετήσιων καλλιεργειών σε ελαιώνες και οπωρώνες, αλλαγές χρήσης γεωτεμαχίων, κ.λπ.).

Τα παραδείγματα που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο, αναδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο οι χρονικές σειρές εικόνων/δεικτών δύνανται να χρησιμοποιηθούν στον χαρακτηρισμό των επιγενόμενων μεταβολών και στην ανάλυση της δυναμικής του τοπίου. Οι παρατηρούμενες μεταβολές των μορφών κάλυψης καταγράφονται στις χρονικές σειρές εικόνων/δεικτών Landsat με την αντίστοιχη μεταβολή των τιμών τους στην αντίστοιχη χρονική στιγμή. Επιπρόσθετα, εκτιμάται ότι μέσω της παρατήρησης και ερμηνείας χρονικών σειρών δορυφορικών εικόνων σε συνδυασμό με άλλες πηγές, και τη γνώση της περιοχής, παρέχεται η δυνατότητα καλύτερης κατανόησης των κινητήριων δυνάμεων που προκαλούν αυτές τις μεταβολές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΜΟΡΦΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ LANDSAT ΚΑΙ SENTINEL

#### 6.1 Εισαγωγή

Στα μεσογειακά τοπία και κυρίως αυτά που εκτείνονται από τις πεδιάδες μέχρι και τις ημιορεινές περιοχές, κυριαρχούν ετερογενή φυσικά και ανθρωπογενή οικοσυστήματα, τα οποία εναλλάσσονται χωρικά και δημιουργούν ένα μωσαϊκό μορφών κάλυψης και χρήσεων γης. Επομένως, όχι μόνο είναι απαραίτητη αλλά και αναγκαία η ύπαρξη, και αν όχι η δημιουργία, επικαιροποιημένων γεωχωρικών δεδομένων και πληροφοριών ακριβείας για την ορθή λήψη αποφάσεων σε όλα τα επίπεδα διοίκησης και διαχείρισης γαιών και οικοσυστημάτων.

Αναφορικά με την έρευνα στην καταγραφή και παρακολούθηση μεταβολών μορφών κάλυψης γης μέσω δορυφορικής τηλεπισκόπησης, διαπιστώνεται ότι επικεντρώνεται θεματικά και μεμονωμένα σε ορισμένες κατηγορίες μορφών κάλυψης: σε δάση, σε υγροτόπους, σε αστικές ή γεωργικές περιοχές. Σύμφωνα όμως με τις αρχές της αειφορίας και της βιώσιμης ανάπτυξης απαιτείται ένα ολοκληρωμένο μοντέλο διαχείρισης που να περιλαμβάνει λεπτομερείς πληροφορίες και δεδομένα για το σύνολο των χαρακτηριστικών μιας περιοχής. Η καταγραφή και η ανίχνευση μεταβολών του συνόλου των μορφών κάλυψης γης μιας περιοχής με βάση κυρίως δορυφορικά δεδομένα παραμένει ακόμη ως ερευνητική πρόκληση. Στο κεφάλαιο αυτό καταδεικνύεται ότι η ελεύθερη πρόσβαση σε πάσης φύσεως διαφορετικά γεωχωρικά δεδομένα (όχι μόνο δορυφορικά) δημιουργούν νέους ορίζοντες στην βελτίωση της καταγραφής και παρακολούθησης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, λαμβάνοντας υπόψιν την χρονική διάσταση.

Παραδοσιακά, η έρευνα καταγραφής και παρακολούθησης συγκεκριμένων μορφών κάλυψης/χρήσεων γης βασίζονταν σε μια προσεκτικά επιλεγμένη δορυφορική εικόνα ή ομάδα



εικόνων. Στόχος της έρευνας ήταν η μεγιστοποίηση των φασματικών αντιθέσεων μεταξύ των υπό εξέταση μορφών κάλυψης γης. Σήμερα όμως με τη χρήση εικόνων διαφορετικών ημερομηνιών λήψης (εποχιακών και χρονικών σειρών) και όλων των διαθέσιμων στοιχείων για μια περιοχή, δημιουργούνται νέα δεδομένα στην έρευνα.

Στην παρούσα έρευνα, αξιολογείται η απόδοση της ταξινόμησης διαφορετικών αλγορίθμων στην καταγραφή και παρακολούθηση του συνόλου των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης με βάση πολυφασματικά δεδομένα Landsat 5 TM/8 OLI και Sentinel-2 λαμβάνοντας υπόψη και άλλα διαθέσιμα γεωχωρικά δεδομένα αναφοράς (δασικών χαρτών, Natura2000, δασικών διαχειριστικών μελετών, κτηματογράφησης, LPIS και αεροφωτοερμηνευτικών παρατηρήσεων).

Πρόσφατες έρευνες στην ανίχνευση μεταβολών (ειδικά σε δάση) καταλήγουν ότι η χρήση πολλαπλών φασματικών εικόνων και δεικτών παρέχουν δυνητικά μεγαλύτερη ακρίβεια από την επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Cohen et al., 2018). Ωστόσο, δεν υπάρχει εμπεριστατωμένη έρευνα στην επιλογή συγκεκριμένου φασματικού καναλιού/δείκτη ή συνδυασμού φασματικών καναλιών και δεικτών για την αναγνώριση και καταγραφή μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, οι οποίοι δεν βασίζονται σε δεδομένα εκπαίδευσης και στην ταξινόμηση. Συνεπώς, η διερεύνηση δεδομένων εισαγωγής, η χρονική συχνότητα αυτών και η επιλογή κατάλληλης μεταβλητής στην αποτελεσματική ανίχνευση μεταβολών, παραμένει ερευνητικό ζήτημα μεγάλης σημασίας (Zhu et al., 2020).

Για τους ανωτέρω λόγους, αναπτύχθηκαν διάφορα σενάρια με βάση διαφορετικούς συνδυασμούς δεδομένων εισαγωγής (εποχιακά/διεποχιακά πολυφασματικά δεδομένα ή/και φασματικοί δείκτες) και αξιολογήθηκε η απόδοση τριών διαφορετικών αλγορίθμων επιβλεπόμενης ταξινόμησης (RF, ML και K-NN) ανά σενάριο και δορυφορικό ανιχνευτή (Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI και Sentinel-2). Τα σενάρια αυτά αφορούν το σύνολο της

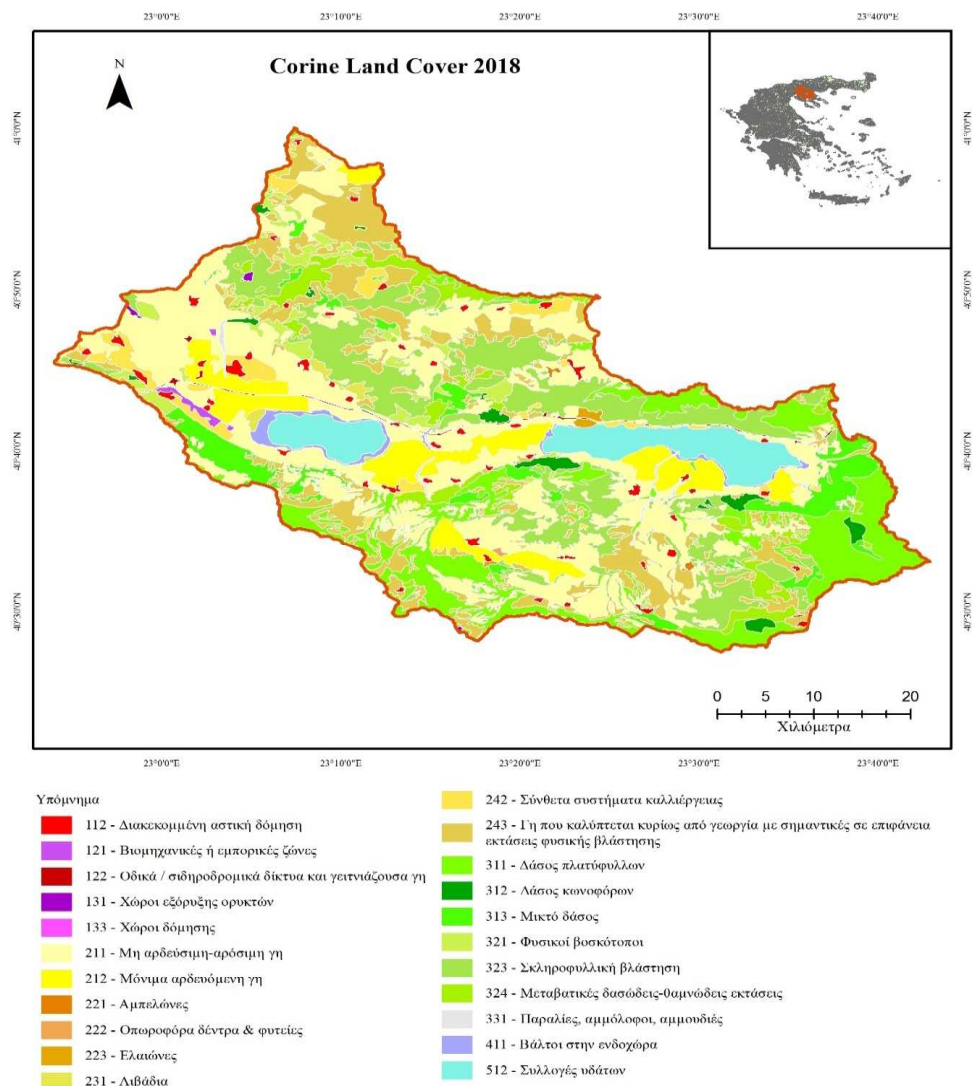
περιοχής έρευνας. Επιπλέον, η αξιολόγηση της απόδοσης των ανωτέρω ταξινομητών με πολυφασματικά δεδομένα Landsat προχώρησε περαιτέρω σε επίπεδο θεματικού αντικειμένου (δάση, υγρότοποι και λοιπές μορφές κάλυψης γης).

Η αξιολόγησή τους βασίστηκε σε σταθερά δεδομένα αναφοράς και δεδομένα εκπαίδευσης, τα οποία λήφθηκαν σε κάθε περίοδο αναφοράς. Συνεπώς, η δημιουργία των σεναρίων βασίζεται αποκλειστικά στο συνδυασμό και τη φύση των διαφορετικών δεδομένων εισαγωγής. Επιπλέον, σε κάθε σενάριο, αξιολογήθηκε η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης και η ακρίβεια της εκάστοτε κατηγορίας κάλυψης γης ανά δορυφορικό ανιχνευτή.

## **6.2 Υλικά και Μέθοδοι**

### **6.2.1 Περιοχή έρευνας**

Η περιοχή έρευνας στο σύνολό της ως λεκάνη απορροής αποτελεί ένα ιδιαίτερο σύμπλεγμα οικοσυστημάτων με δάση, θαμνώνες, υγροτόπους, λίμνες, και γεωργικές εκτάσεις, τα οποία εναλλάσσονται μεταξύ τους δημιουργώντας ένα ετερογενές περιβάλλον από μορφές κάλυψης γης με μεγάλη ποικιλομορφία. Το μεγαλύτερο μέρος της καλύπτεται από δάση και δασικές εκτάσεις (πλατύφυλλα, θαμνώνες, κωνοφόρα και μακκία βλάστηση, είτε αμιγή είτε σε μίξη) των οποίων η έκταση ανέρχεται σε 94.611,45 Ha, ήτοι 50% της λεκάνης απορροής, σύμφωνα με τον πλέον πρόσφατα αναρτημένο Δασικό Χάρτη (2021). Οι αγροτικές εκτάσεις (αρόσιμη γη, δενδροκαλλιέργειες, ελαιώνες και αμπελώνες) είναι η δεύτερη κατηγορία σε μέγεθος και καταλαμβάνει επιφάνεια 78.216 Ha. Στις αρόσιμες εκτάσεις καλλιεργούνται κυρίως σιτηρά. Οι αρδευόμενες εκτάσεις εντοπίζονται κυρίως στα πεδινά και γύρω από τις υγροτοπικές περιοχές. Στις αρδευόμενες εκτάσεις καλλιεργούνται κυρίως καλαμπόκι, βαμβάκι και ψυχανθή (μηδική). Οι δενδροκαλλιέργειες αποτελούνται από φυστικές, αμυγδαλιές και καρυδιές καθώς και από φυτείες δασικών ειδών (π.χ. λεύκες). Απαρτίζουν μικρού μεγέθους (0,2-1,5 Ha)



Εικόνα 6-1. Καταγραφή μορφών κάλυψης/χρήσεων γης κατά CLC2018.

γεωτεμάχια τα οποία είναι διάσπαρτα σε όλη την περιοχή, κυρίως γύρω από οικισμούς και στα όρια με τις δασικές εκτάσεις. Καταλαμβάνουν όμως μικρή έκταση, μόλις το 0,31% της συνολικής περιοχής. Οι υγροτοπικές περιοχές (υγροί λειμώνες, καλαμώνες, υδροχαρή βλάστηση και θαμνώνες, εξαιρουμένων των δασικού χαρακτήρα εκτάσεων) ανέρχονται σε 2.824,92 Ha ενώ οι λιμναίες περιοχές σε 9.685,13 Ha, σύμφωνα με τα θεσμοθετημένα όρια των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου «Natura 2000» (2017). Οι οικισμοί καταλαμβάνουν

επιφάνεια μόλις 2.501,82 Ha, το κυρίως οδικό δίκτυο 752,93 Ha ενώ οι λοιπές δομημένες περιοχές μόλις 468,84 Ha, σύμφωνα με την καταγραφή μορφών κάλυψης/χρήσεων γης «CLC2018» του προγράμματος «Copernicus» (Εικόνα 6-1). Στην περιοχή υπάρχουν τρεις χώροι εξόρυξης και ένας χώρος υγειονομικής ταφής απορριμμάτων στη Μαυροράχη. Η επιλογή της συγκεκριμένης περιοχής λόγω της ετερογένειας και ανομοιομορφίας της αποτελεί πρόκληση για την αξιολόγηση της καταγραφής των μορφών κάλυψης γης μέσω τηλεπισκόπησης.

### 6.2.2 Δορυφορικά δεδομένα

Στην έρευνα αυτή ως χρονική περίοδος αναφοράς δορυφορικών δεδομένων επιλέχθηκε η περίοδος 2008-2018, διότι υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα αναφοράς (υπόβαθρα υψηλής ακρίβειας ΕΚ, Δασικών Χαρτών, δεδομένα LPIS, κ.λπ.). Κυρίως όμως διότι στο έτος 2008 εντοπίζεται η απαρχή του φαινομένου της επιφανειακής μείωσης των υδάτων της λίμνης Κορώνειας και η αποκάλυψη του πυθμένα της (κυκλική μεταβολή).

Κατόπιν έρευνας, με βάση τα κριτήρια κάλυψης, ποιότητας και νέφωσης διαπιστώθηκε ότι οι μόνες δορυφορικές εικόνες, οι οποίες καλύπτουν πλήρως την περιοχή μελέτης κατά την περίοδο 2008-2009 είναι εικόνες Landsat TM C2L2 Surface Reflectance (Εικόνα 6-2).



Εικόνα 6-2. Κάλυψη περιοχής έρευνας από εικόνες Landsat.

Οι διατιθέμενες εικόνες Landsat 7 ETM+ για την περιοχή μελέτης κρίθηκαν ακατάλληλες λόγω ύπαρξης θορύβου. Απαιτούνται δύο εικόνες Landsat (path/row: 183/032 και 184/032) για την πλήρη κάλυψη της περιοχής μελέτης (Πίνακας 6-1).

Πίνακας 6-1. Εικόνες Landsat TM SR ανά εποχή (2008-2009).

Ημερομηνία	ID	Εποχή	Φαινολογία
02-05-2008	LT05_L2SP_183032_20080502_20200829_02_T1_SR	Άνοιξη	Φυλλοφορία
09-05-2008	LT05_L2SP_184032_20080509_20200829_02_T1_SR		
05-07-2008	LT05_L2SP_183032_20080705_20200829_02_T1_SR	Καλοκαίρι	Ανάπτυξη
13-08-2008	LT05_L2SP_184032_20080813_20200829_02_T1_SR		
29-11-2009	LT05_L2SP_183032_20091129_20200825_02_T1_SR	Χειμώνας	Φυλλοβολία
20-11-2009	LT05_L2SP_184032_20091120_20200825_02_T1_SR		

Για την διερεύνηση των τυχόν επιγενόμενων μεταβολών θεωρήθηκε ότι η περίοδος των δέκα (10) ετών είναι επαρκής για την παρακολούθηση της λεκάνης απορροής. Συνεπώς, διερευνήθηκε η ύπαρξη δορυφορικών εικόνων κατάλληλης ποιότητας, οι οποίες καλύπτουν πλήρως την χρονική περίοδο 2008-2018. Για την περίοδο αυτή, πλην του έτους 2012, εντοπίστηκαν εικόνες Landsat TM C2L2 SR και εικόνες Landsat 8 OLI C2L2 SR (Πίνακας 6-2).

Πίνακας 6-2. Εικόνες Landsat 8 OLI SR ανά εποχή (2018-2019).

Ημερομηνία	ID	Εποχή	Φαινολογία
03-04-2018	LC08_L2SP_184032_20180403_20200901_02_T1_SR	Άνοιξη	Φυλλοφορία
12-04-2018	LC08_L2SP_183032_20180412_20200901_02_T1_SR		
01-07-2018	LC08_L2SP_183032_20180701_20200831_02_T1_SR	Καλοκαίρι	Ανάπτυξη
22-06-2018	LC08_L2SP_184032_20180622_20200831_02_T1_SR		
01-02-2019	LC08_L2SP_184032_20190201_20200829_02_T1_SR	Χειμώνας	Φυλλοβολία
17-02-2019	LC08_L2SP_184032_20190217_20200829_02_T1_SR		

Αποφασίστηκε η χρήση εικόνων Landsat 5 TM και 8 OLI C2L2 SR (όπου υπάρχουν οι τελευταίοι), δεδομένου ότι οι περισσότεροι αλγόριθμοι μεταβολών βασίζονται σε εικόνες SR αν και οι περισσότερες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί με εικόνες TOA (Hansen et al., 2013·

Potapov et al., 2012· Pasquarella et al., 2016). Όλες οι εικόνες Landsat διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά. Σύννεφα και σκιάσεις απομονώθηκαν. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει εμπεριστατωμένη έρευνα συγκριτικής αξιολόγησης ανίχνευσης μεταβολών με χρονικές σειρές εικόνων SR και TOA (Zhu et al., 2020). Επιπρόσθετα, τα προϊόντα Landsat C2L2 παρουσιάζουν μεγαλύτερη εναρμόνιση με άλλες πλατφόρμες δορυφόρων και ειδικά με τους Sentinel-2.

Για την περίοδο 2018 αποφασίστηκε και η χρήση εικόνων Sentinel-2 (MSI, level 2A) με σκοπό την σύγκριση αποτελεσμάτων στη ταξινόμηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης μεταξύ των δύο ανιχνευτών λόγω της μεγαλύτερης χωρικής τους ανάλυσης. Απαιτούνται τέσσερις (4) εικόνες Sentinel-2 για την πλήρη κάλυψη της περιοχής μελέτης (Εικόνα 6-3). . Όλες οι εικόνες Landsat και Sentinel-2 ελέγχθηκαν γεωμετρικά.



Εικόνα 6-3. Κάλυψη περιοχής έρευνας από εικόνες Sentinel-2.

Ένα μωσαϊκό από ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες Sentinel-2, με ποσοστό νέφωσης μικρότερο από 10% δημιουργήθηκε για τρεις περιόδους: άνοιξη 2018, καλοκαίρι 2018 και χειμώνας 2019 (Πίνακας 6-3). Οι επιλεγμένες εικόνες λήφθηκαν από τον σύνδεσμο του Copernicus Open Access Hub. Το μωσαϊκό περιέχει τα κανάλια 2 έως 8, 8A, 11, and 12, και δημιουργήθηκε ως εξής: για κάθε εικόνα Sentinel-2 δημιουργήθηκε ένα αυτοτελές αρχείο με τα ως άνω κανάλια. Τα κανάλια των 60μ. εξαιρέθηκαν από την ανάλυση, διότι χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών (Drusch et al., 2012). Τα κανάλια χωρικής ανάλυσης 20 μ. μετατράπηκαν σε ανάλυση των 10 μ. με την μέθοδο της πλησιέστερης γειτνίασης (nearest neighbor resampling) μέσω του λογισμικού Erdas Imagine, έκδοση 2018.

Πίνακας 6-3. Εικόνες Sentinel-2 ανά εποχή (2018-2019).

Ημερομηνία	Granule	Εποχή	Φαινολογία
24-04-2018	L2A_T34TFK_A014819_20180424T092030	Άνοιξη	Φυλλοφορία
24-04-2018	L2A_T34TFL_A014819_20180424T092030		
24-04-2018	L2A_T34TGK_A014819_20180424T092030		
24-04-2018	L2A_T34TGL_A014819_20180424T092030		
03-07-2018	L2A_T34TFK_A015820_20180703T092224	Καλοκαίρι	Ανάπτυξη
03-07-2018	L2A_T34TFL_A015820_20180703T092224		
03-07-2018	L2A_T34TGK_A015820_20180703T092224		
03-07-2018	L2A_T34TGL_A015820_20180703T092224		
05-12-2017	L2A_T34TFK_A012817_20171205T092648	Χειμώνας	Φυλλοβολία
05-12-2017	L2A_T34TFL_A012817_20171205T092648		
05-12-2017	L2A_T34TGK_A012917_20171212T091748		
05-12-2017	L2A_T34TGL_A012917_20171212T091748		

### 6.2.3 Δεδομένα αναφοράς

Μια σειρά από γεωχωρικά δεδομένα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα (Πίνακας 6-4). Επισημαίνεται ιδιαίτερα η χρησιμότητα στην ταξινόμηση και στην ανάπτυξη

δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου ακρίβειας αυτής, των δεδομένων βλάστησης σε επίπεδο είδους, υγροτοπικών και δασικών περιοχών που προέρχονται από τα δεδομένα των τύπων οικοτόπων του δικτύου «Natura2000» και των υφιστάμενων μελετών διαχείρισης δασών.

Όλα τα δεδομένα αναφοράς συνορθώθηκαν τόσο στο ΕΓΣΑ87 όσο και στο WGS84 προκειμένου να επιτευχθεί χωρική υπέρθεση και προβολή τους τόσο με τις δορυφορικές εικόνες όσο και με τα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα του ΕΚ. Ειδικότερα, η ενσωμάτωση των υφιστάμενων μελετών διαχείρισης δασών δεν πραγματοποιήθηκε αυτούσια αλλά κατόπιν επεξεργασίας τους, σύμφωνα με τις ακόλουθη μεθοδολογία

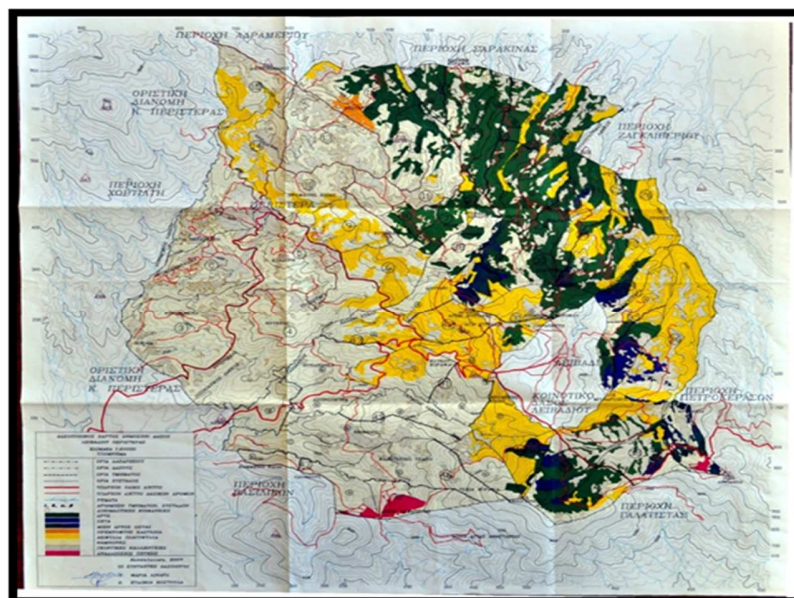
Πίνακας 6-4. Γεωχωρικά δεδομένα αναφοράς.

α/α	Είδος Δεδομένων	Ονομασία	Ημ/νία Παραγωγής	Κλίμακα (χωρική ανάλυση)	Πηγή/Μορφή
1.	Ενιαία Χαρτογραφικά Υπόβαθρα ΕΚ	LSO	2007-2009	50cm	ΕΚ/Ορθοεικόνες
2.	Ενιαία Χαρτογραφικά Υπόβαθρα ΕΚ	LSO-25	2014-2015	25cm	ΕΚ/Ορθοεικόνες
3.	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους	DEM	2014-2015	10m	ΕΚ/Εικόνες
4.	Δεδομένα αγροτικών καλλιεργειών	LPIS	2018	1:5.000	ΟΠΕΚΕΠΕ/Διανυσματικής μορφής
5.	Μορφές κάλυψης/χρήσεων γης Copernicus	CLC2018	2018	1:100.000	ΕΟΠ/Διανυσματικής μορφής
6.	Τύποι Οικοτόπων Προστατευόμενων Περιοχών του δικτύου NATURA2000	NATURA 2000	2017	1: 5.000	ΕΚ/ Διανυσματικής μορφής
7.	Όρια Πόλεων και Οικισμών	Οικισμοί	2018	1:5.000	ΕΚ/Διανυσματικής μορφής
8.	Όρια Δασών και εν γένει δασικών εκτάσεων	Δασικός Χάρτης	2021	1:5000	ΕΚ/Διανυσματικής μορφής
9.	Δασικά συμπλέγματα και συστάδες	Μελέτες Διαχείρισης Δασών	2007-2018	1:20.000	Δασική Υπηρεσία/ Διανυσματικής μορφής
10.	Επιβεβαίωση Μορφών κάλυψης/χρήσεων γης	Δειγματοληψίες	2008 και 2018	10μx10μ 30μx30μ.	Σε επίπεδο εικονοστοιχείου



#### 6.2.4 Μεθοδολογία επικαιροποίησης μελετών διαχείρισης δασών

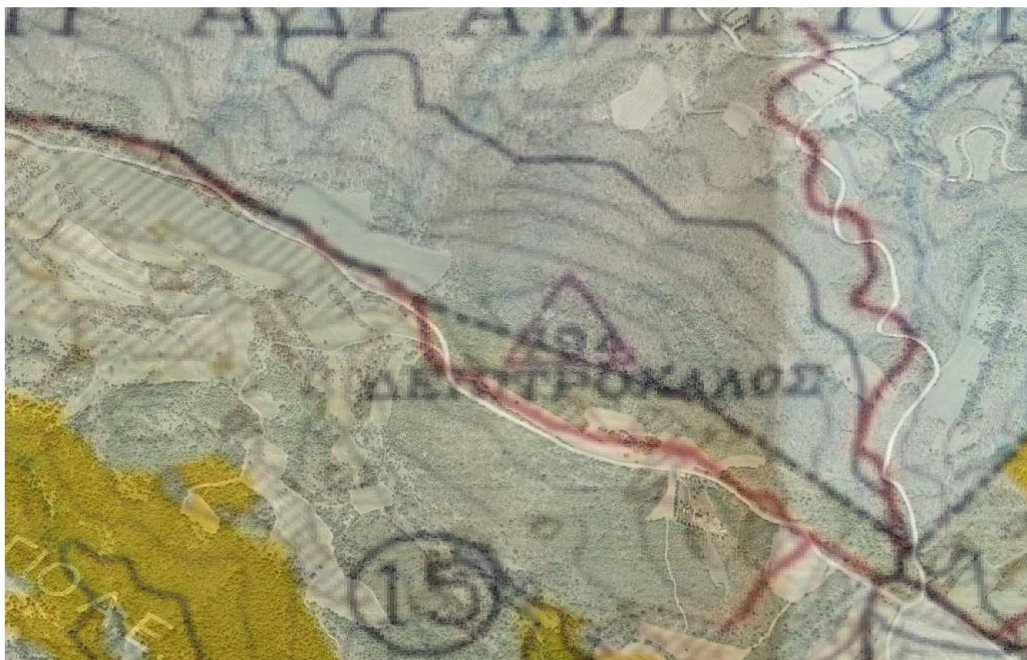
Βασικό στοιχείο και παραδοτέο των μελετών διαχείρισης δασών είναι ο δασοπονικός χάρτης. Πρόκειται για θεματικό χάρτη κλίμακας 1:20.000, όπου αποτυπώνονται γραμμικά, με χρωματική συνήθως διαβάθμιση, τα διοικητικά όρια του αρμόδιου Δασαρχείου, τα όρια του δασικού συμπλέγματος, τα όρια των τμημάτων του, τα όρια των συστάδων του, το υπάρχον δίκτυο δημόσιων και δασικών δρόμων, τα υδατορεύματα, και κατά περίπτωση τα όρια Περιφερειακής - Δημοτικής ενότητας ή όρια κράτους (Εικόνα 6-4). Με χρωματική διαβάθμιση αποτυπώνονται επίσης οι εκτάσεις οι οποίες καλύπτονται με δασοπονικά είδη (π.χ. οξύα, δρυς, μείξη δρυός-οξύας, πρεμνοφυής καστασιά, πλατύφυλλα, γεωργικές και αναδασωτέες εκτάσεις, θαμνώνες κ.λπ.) που υπάρχουν εντός του διαχειριζόμενου δάσους. Επιπλέον, αποτυπώνονται η αρίθμηση των συστάδων, τοπωνύμια, ισοϋψείς ανά 20μ. και σημειακά οι θέσεις των δοκιμαστικών - δειγματοληπτικών επιφανειών που ελήφθησαν για την καταγραφή των βιομετρικών στοιχείων κάθε συστάδας.



Εικόνα 6-4. Δασοπονικός χάρτης δημόσιου δάσους Περιστεράς-Λειβαδίου.

Για την αξιοποίηση του εκάστοτε δασοπονικού χάρτη, ο χάρτης σαρώθηκε ψηφιακά και μετατράπηκε σε ΕΓΣΑ '87, με βάση είτε τριγωνομετρικά σημεία που φέρει είτε με την επιλογή κοινών σημείων του χάρτη και των ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων του ΕΚ κατόπιν αναγνώρισής τους. Για την αναγωγή του προβολικού συστήματος και τις μετέπειτα εργασίες αποτύπωσης των θεματικών στοιχείων του, χρησιμοποιήθηκε συγχρόνως το ψηφιακό μοντέλο εδάφους του ΕΚ και οι ισοϋψείς, οι οποίες εξήχθησαν από αυτό.

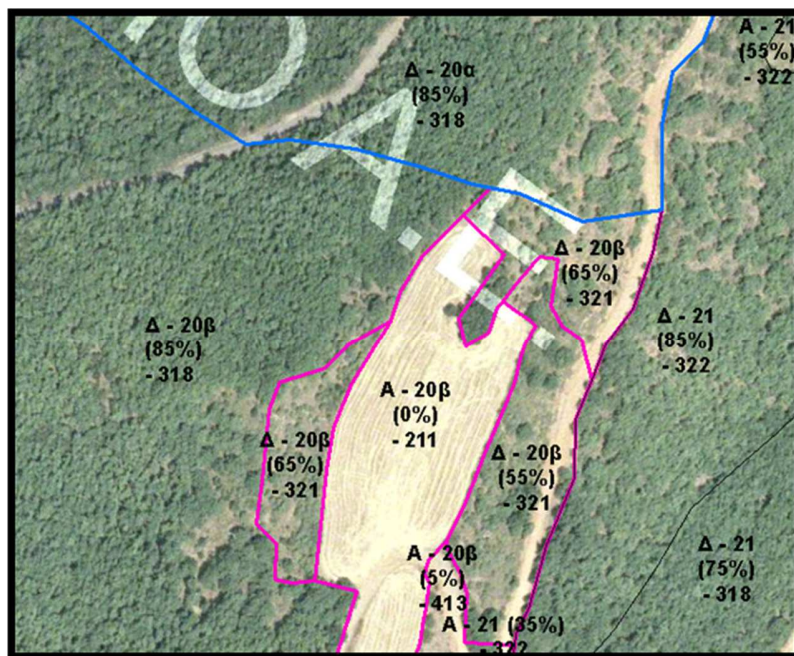
Στη συνέχεια, με υπέρθεση του δασοπονικού χάρτη επί των ως άνω υποβάθρων ψηφιοποιήθηκαν τα γραμμικά, σημειακά και πολυγωνικά στοιχεία του χάρτη, αρχής γενομένης από τα εξωτερικά όριά του. Ως βασικά κριτήρια για την ορθή αποτύπωση των εξωτερικών ορίων λαμβάνονται υπόψη τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά του τοπίου, όπως απεικονίζονται στα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα του ΕΚ και το σχήμα των ορίων, όπως απεικονίζονται στον δασοπονικό χάρτη (Εικόνα 6-5).



Εικόνα 6-5. Προβολή του ψηφιακού δασοπονικού χάρτη επί των ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων (LSO) του ΕΚ για την οριοθέτηση των εξωτερικών ορίων του διαχειριζόμενου δάσους.

Στη συνέχεια, τα εσωτερικά όρια του δασοπονικού χάρτη οριοθετούνται ψηφιακά είτε αφορούν τμήματα είτε συστάδες, τα οποία προσαρμόζονται χωρικά στην πραγματική κατάσταση. Ως κριτήρια ορθής αποτύπωσης των ορίων, εφαρμόστηκαν το ανάγλυφο βάσει του DEM και των ισοϋψών, η πραγματική κάλυψη γης όπως απεικονίζεται στα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα του ΕΚ και το αναγραφόμενο δασοπονικό είδος στο χάρτη.

Λόγω όμως της αναντιστοιχίας του δασοπονικού χάρτη σε σχέση με τα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα του ΕΚ προκύπτουν διαφορές τόσο ως προς το θεματικό περιεχόμενο (μεταβολή μορφής κάλυψης/χρήσης γης, μεταβολή βλάστησης, μεταβολή βαθμού συγκόμωσης) όσο και ως προς την γεωγραφική τους θέση (μεταβολή ορίων). Συνεπώς, η διαδικασία οριοθέτησης επεκτάθηκε σε μεγαλύτερη ανάλυση, και οι συστάδες αναμορφώθηκαν ανάλογα με την πραγματική μορφή κάλυψης γης, το δασοπονικό είδος και το βαθμό συγκόμωσης, όπως απεικονίζεται στα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα του ΕΚ (Εικόνα 6-6).



Εικόνα 6-6. Αναμόρφωση συστάδας και οριοθέτηση άλλων μορφών κάλυψης γης. Τμήματα της συστάδας 20β οριοθετούνται κατ' εφαρμογή των κριτηρίων.

Οι μορφές κάλυψης/χρήσεων γης κωδικοποιήθηκαν σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης, όπως περιγράφεται στην επόμενη ενότητα. Ο βαθμός συγκόμωσης προσδιορίστηκε σε εκατοστιαίο ποσοστό (%) με βάση διαγράμματα υπολογισμού του (Καρτέρης, 1995).

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας δημιουργήθηκε μια ενιαία γεωχωρική βάση των διαχειριζόμενων δασών της περιοχής μελέτης, στην οποία προστέθηκε το σύνολο των πληροφοριών των διαθέσιμων μελετών διαχείρισης δασών. Από την συγκεκριμένη αυτή γεωβάση αντλήθηκαν στοιχεία για την επιβεβαίωση των δεδομένων εκπαίδευσης στην ταξινόμηση και τον έλεγχο ακρίβειας αυτής.

#### **6.2.5 Στατιστικός σχεδιασμός**

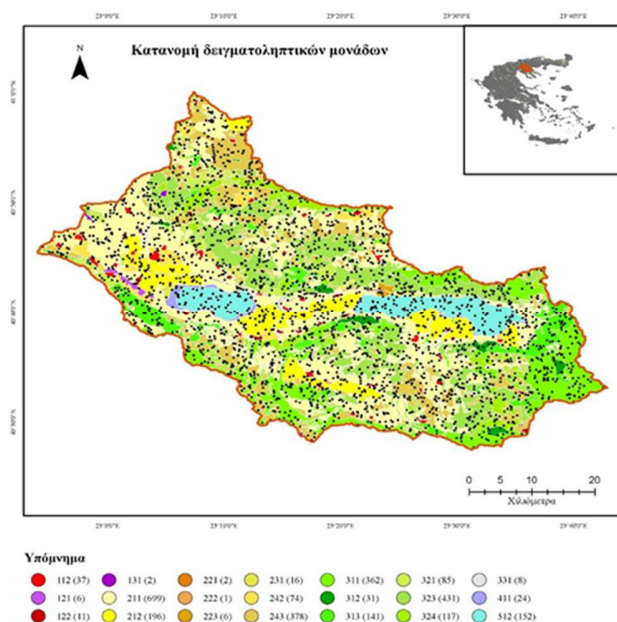
Για την αναγνώριση και καταγραφή των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης επί των ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων του ΕΚ καθορίστηκε ένα ιεραρχικό σύστημα ταξινόμησης (Παράρτημα Η). Το σύστημα αυτό βασίστηκε στο Ευρωπαϊκό σύστημα Corine Land Cover του προγράμματος Copernicus. Αναμορφώθηκε όμως ώστε να ανταποκριθεί στις ελληνικές συνθήκες. Η αναμόρφωσή του βασίστηκε στα δεδομένα αναφοράς και καταρτίστηκε για την αναγνώριση μορφών κάλυψης/ χρήσεων γης στα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα του ΕΚ σε εθνικό επίπεδο, κατόπιν φωτοερμηνείας.

Για την αναγνώριση και εξακρίβωση των υφιστάμενων μορφών κάλυψης γης στα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα του ΕΚ (LSO25), λήφθηκε ένα δίκτυο σημειακών δειγματοληπτικών μονάδων στο σύνολο της περιοχής μελέτης. Ως βάση για την κατανομή των δειγματοληπτικών μονάδων χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα κάλυψης γης του προγράμματος Copernicus (CLC2018). Οι δειγματοληπτικές μονάδες λήφθηκαν σύμφωνα με τις αρχές της τυχαίας στρωματοποιημένης δειγματοληψίας. Ως στρώματα καθορίστηκαν οι μορφές κάλυψης/χρήσεων γης ανά κατηγορία, όπως καταγράφηκαν το 2018. Κατόπιν επεξεργασίας και επικαιροποίησής



τους με δεδομένα αναφοράς υψηλότερης ακρίβειας (Δασικός Χάρτης, LPIS και Τύποι Οικοτόπων του δικτύου «Natura2000») κάποιες εξ' αυτών διαγράφηκαν ή ομαδοποιήθηκαν με άλλες. Τελικώς, προέκυψαν 21 μοναδικές κατηγορίες. Επί αυτών υπολογίστηκε το μέγεθος του συνολικού δείγματος (n) ίσο με 2.356, για απαιτούμενη ακρίβεια ίση με 85% (Εικόνα 6-7). Το συνολικό δείγμα (n) κατανεμήθηκε τυχαία σε κάθε στρώμα (κατηγορία μορφών κάλυψης/ χρήσεων γης) ανάλογα με την επιφάνειά αυτής (Πίνακας 6-5).

Ως μονάδα δειγματοληψίας καθορίστηκε το εικονοστοιχείο 30μ.χ30μ. για τις εικόνες Landsat και 10μ.χ10μ. για τις εικόνες Sentinel. Για κάθε εικόνα δημιουργήθηκε ένα δίκτυο διανυσματικής μορφής (fishnet) με γεωαναφορά αντίστοιχης χωρικής ανάλυσης. Για κάθε κατηγορία κάλυψης γης, επιλέχθηκε αριθμός εικονοστοιχείων ίσος με το αντίστοιχο δείγμα αυτής. Στη συνέχεια διεξήχθη φωτοερμηνεία σε κάθε δειγματοληπτική μονάδα. Για το έτος 2018 χρησιμοποιήθηκαν εικόνες υψηλής ευκρίνειας Google Earth Series έτους 2019 ενώ για το 2008, τα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα (LSO) του ΕΚ.



Εικόνα 6-7. Χάρτης κατανομής και πλήθος δειγματοληπτικών μονάδων στο χώρο.

Ο κατάλληλος χαρακτηρισμός αποδόθηκε μοναδικά σε κάθε εικονοστοιχείο για κάθε έτος αναφοράς αφού διασταυρώθηκε και επιβεβαιώθηκε με τα υπόλοιπα διαθέσιμα δεδομένα αναφοράς, και σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης του Παρατήματος Η. Στο έτος 2008, αναγνωρίστηκαν δύο επιπλέον κατηγορίες κάλυψης γης: εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες και επίπεδα (κωδ. 622) και αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών (κωδ. 623).

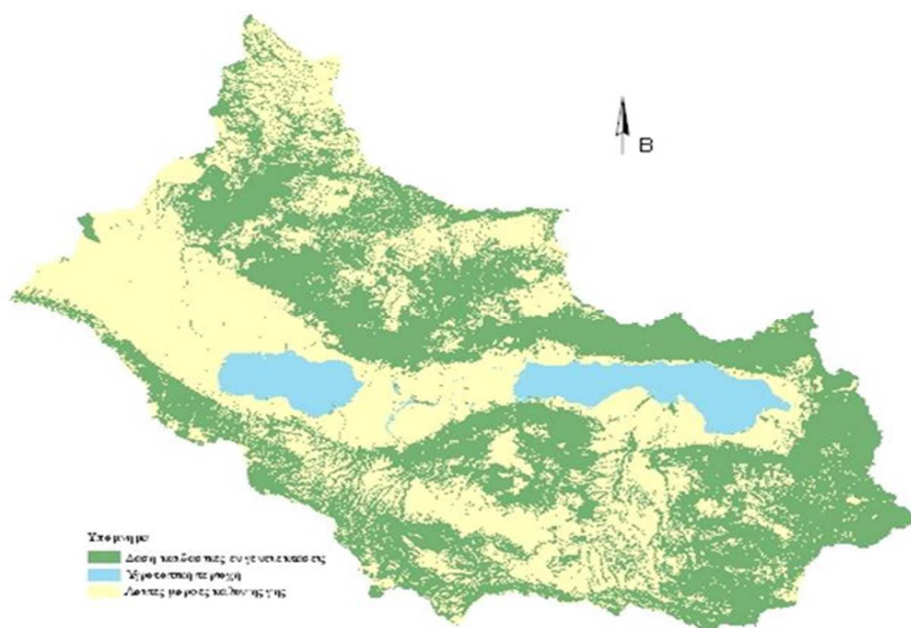
Πίνακας 6-5. Κατανομή δείγματος ανά κατηγορία μορφής κάλυψης/χρήσεων γης κατά CLC2018.

α/α	Κωδικός	Κατηγορία μορφής κάλυψης/χρήσεων γης	Πλήθος δειγμάτων
1	112	Ασυνεχής αστικός ιστός	46
2	121	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	5
3	122	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα	13
4	125	Ασυνεχείς εγκαταστάσεις/κατασκευές	99
5	131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	3
6	151	Πηγές ενέργειας και δίκτυα	10
7	211	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	564
8	212	Αρδευόμενη αρόσιμη γη	138
9	214	Εγκαταλειμμένοι αγροί	82
10	221	Αμπελώνες	10
11	222	Οπωροφόρα δένδρα	28
12	223	Ελαιώνες	60
13	224	Φυτείες	33
14	311	Δάσος πλατύφυλλων	386
15	312	Δάσος κωνοφόρων	114
16	321	Θαμνώνες	401
17	415	Γυμνό έδαφος	78
18	513	Υψηλά Βούρλα	75
19	514	Υγρά λιβάδια	42
20	515	Υγροτοπικοί θαμνώνες	47
21	621	Μόνιμες λίμνες	122
		Μέγεθος δείγματος	2.356

## 6.2.6 Κατάτμηση

Δεδομένης της μεσαίας διακριτικής ικανότητας των εικόνων Landsat και λόγω της μεγάλης ετερογένειας τοπίου, και της εναλλαγής των μορφών κάλυψης γης, με διαφορετικά φασματικά χαρακτηριστικά, η περιοχή κατατμήθηκε σε τρεις (3) υποπεριοχές-ζώνες (Εικόνα 6-8): α) τις

υγροτοπικές (μόνο φυσικοί τύποι οικοτόπων, εξαιρουμένων των εκτάσεων δασικού χαρακτήρα) συμπεριλαμβανομένου των λιμναίων υδάτων στο κέντρο της περιοχής μελέτης από Ανατολικά προς Δυτικά, με βάση τις θεσμοθετημένες προστατευόμενες περιοχές του δικτύου «Natura2000», β) τα δάση και τις δασικές εν γένει εκτάσεις που καλύπτουν τις ημι-ορεινές περιοχές μέχρι και τις πλαγιές των ορέων στα όρια της περιοχής μελέτης, με βάση τον Δασικό Χάρτη, και γ) τις λοιπές μορφές κάλυψης/χρήσεις γης (αγροτικές, δομημένες επιφάνειες, και οδικό δίκτυο). Το σύνολο των πολυφασματικών δεδομένων κατατμήθηκε στα όρια των ως άνω τριών υποπεριοχών, ανά εποχή και στις δύο περιόδους αναφοράς (2008 και 2018). Συνεπώς, για κάθε περίοδο αναφοράς, δημιουργήθηκαν τέσσερα (4) υποσύνολα φασματικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου και αυτό της συνολικής περιοχής μελέτης προς ταξινόμηση.



Εικόνα 6-8. Χάρτης κατάτμησης περιοχής έρευνας σε τρεις (3) υποπεριοχές - ζώνες.

Σκοπός της κατάτμησης σε υποπεριοχές, είναι η διερεύνηση της απόδοσης της ταξινόμησης πολυφασματικών δεδομένων τόσο ως προς το πλήθος των κατηγοριών κάλυψης γης που ανιχνεύονται όσο και ως προς την επιτυγχανόμενη ακρίβεια της ταξινόμησης.

### 6.2.7 Ταξινόμηση μορφών κάλυψης/χρήσεων γης με εικόνες Landsat

Στη διάρκεια της ερευνητικής ανάλυσης, αναπτύχθηκαν και αξιολογήθηκαν διάφορα σενάρια για την συγκριτική αξιολόγηση της ταξινόμησης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σε διάφορες χωρικές κλίμακες και σε συνδυασμό με διαφορετικά πολυφασματικά δεδομένα εισαγωγής.

Στο σύνολο της περιοχής έρευνας, αναπτύχθηκαν και υλοποιήθηκαν τα ακόλουθα τέσσερα (4) σενάρια ταξινόμησης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης ανά περίοδο αναφοράς: α) Ταξινόμηση με βάση μόνο τα φασματικά κανάλια 1-5 και 7 εικόνων Landsat TM (2008) και 2-7 OLI (2018) λήψης θέρους, β) Ταξινόμηση με βάση τα φασματικά κανάλια 1-5 και 7 εικόνων Landsat TM (2008) και 2-7 OLI (2018) λήψης θέρους και τους δείκτες EVI και NDMI, γ) Ταξινόμηση με βάση μόνο τα φασματικά κανάλια 1-5 και 7 εικόνων Landsat TM (2008) και 2-7 OLI (2018) λήψης θέρους και χειμώνα, και δ) Ταξινόμηση με βάση τα φασματικά κανάλια 1-5 και 7 εικόνων Landsat TM (2008) και 2-7 OLI (2018) τους δείκτες EVI και NDMI, λήψης θέρους και χειμώνα. Επιπλέον, σε όλα τα σενάρια ταξινόμησης για το έτος 2008, προστέθηκε ο φασματικός δείκτης MNDWI, για την διάκριση των μόνιμων λιμναίων υδάτων από τα εποχιακά ύδατα της λίμνης Κορώνειας.

Δεδομένου ότι η περιοχή κατατμήθηκε σε τρεις υποπεριοχές, το 2ο ανωτέρω σενάριο ταξινόμησης υλοποιήθηκε και ανά υποπεριοχή για κάθε έτος αναφοράς. Επομένως, αναπτύχθηκαν και υλοποιήθηκαν συνολικά είκοσι τέσσερα (24) σενάρια ταξινόμησης σε επίπεδο συνολικής περιοχής και δώδεκα (12) ανά υποπεριοχή.

Ως δεδομένα εκπαίδευσης προσδιορίστηκαν πολύγωνα δεδομένων εκπαίδευσης ανά κατηγορία από το σύνολο των σημειακών δειγματοληπτικών μονάδων του στατιστικού σχεδιασμού. Καταβλήθηκε κάθε προσπάθεια να έχουν ομοιογενή φασματικά χαρακτηριστικά, κατόπιν ελέγχου με τα φασματικά δεδομένα του συνόλου των καναλιών (1-5, και 7) εικόνων



Landsat TM και των αντίστοιχων Landsat 8 OLI αλλά και των φασματικών δεικτών, αναλόγως του σεναρίου. Τα προσδιορισμένα πολύγωνα εκπαίδευσης κατανέμονται τυχαία στο χώρο.

Περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων εκπαίδευσης επιτεύχθηκε με βάση το μέγεθος και το σχήμα, ειδικά για τα δάση και τις δασικές εκτάσεις (Pasquarella et al., 2018) και τις αγροτικές περιοχές, οι οποίες καταλαμβάνουν μεγάλες επιφάνειες. Ειδικότερα στις συγκεκριμένες περιοχές, επιλέχθηκαν πολύγωνα μεγαλύτερα από 5 εικονοστοιχεία και μικρότερα από 1.000. Όσον αφορά στο σχήμα, επιμήκη και μικρού πλάτους πολύγωνα σε αυτές τις περιοχές διαγράφηκαν.

#### **6.2.7.1 Ταξινόμηση μορφών κάλυψης/χρήσεων γης στο σύνολο της περιοχής**

Σε κάθε σενάριο ταξινόμησης, χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι μέγιστης πιθανοφάνειας, k-πλησιέστερης γειτνίασης, και τυχαίου δάσους. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης εφαρμόστηκαν μέσω του λογισμικού Erdas Imagine 2018.

Η ποιότητα των δεδομένων εκπαίδευσης επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα της ταξινόμησης. Σε περιοχές όπου οι μορφές κάλυψης γης δεν ταξινομήθηκαν ορθώς και το αποτέλεσμα κρίθηκε μη αποδεκτό (ολική ακρίβεια  $\leq 85\%$ ), είτε δεδομένα εκπαίδευσης διαγράφηκαν είτε νέα δεδομένα εκπαίδευσης προστέθηκαν. Όπου το αποτέλεσμα δεν ήταν αποδεκτό, εφαρμόστηκε βελτίωση της ταξινόμησης για τη διόρθωση σφαλμάτων. Η βελτίωση συνίσταται είτε στην ορθή απόδοση υφιστάμενων δεδομένων εκπαίδευσης στην ενδεδειγμένη κατηγορία γης είτε στη δημιουργία νέων, με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά τους. Συνεπώς, ένα μέρος των δεδομένων εκπαίδευσης επιλέχθηκαν διαδραστικά ανάλογα με την απόδοση του μοντέλου ταξινόμησης. Σε κάθε περίπτωση, το μοντέλο ταξινόμησης αναμορφώθηκε και εφαρμόστηκε εκ νέου έως την παραγωγή αποδεκτού αποτελέσματος. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως παράδειγμα της μεθόδου με την ονομασία «ενεργής εκμάθηση» (active learning). Η συγκεκριμένη μέθοδος στοχεύει στην επιλογή και δημιουργία

κατάλληλων δεδομένων εκπαίδευσης μέσω νέων δειγματοληψιών με στόχο την επαναλαμβανόμενη βελτίωση του μοντέλου ταξινόμησης.

Για τον διαχωρισμό των δεδομένων εκπαίδευσης διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης και την απόδοσή τους στην ορθή κατηγορία κάλυψης γης, εφαρμόστηκε στατιστική ανάλυση των φασματικών τους τιμών. Ειδικότερα, ανά κατηγορία κάλυψης γης αναλύθηκε συγκριτικά ο μέσος όρος, η διάμεσος, η τυπική απόκλιση, το ελάχιστο και το ανώτερο όριο των φασματικών τιμών αντανάκλασής τους. Πολύγωνα εκπαίδευσης με ακραίες τιμές διαγράφηκαν. Πολύγωνα των οποίων οι φασματικές τιμές επικαλύπτονταν με τις τιμές άλλων κατηγοριών κάλυψης, μετακινήθηκαν στην ορθή κατηγορία κάλυψης γης. Νέα πολύγωνα εκπαίδευσης δημιουργήθηκαν ανά κατηγορία με φασματικές τιμές  $\pm$  σ από τον μέσο όρο της εκάστοτε κατηγορίας κάλυψης γης.

Σε επίπεδο περιοχής έρευνας, το συνολικό πλήθος των εικονοστοιχείων Landsat ανέρχεται σε 2.116.028. Στο έτος 2018, δημιουργήθηκαν τελικώς 2.275 πολύγωνα εκπαίδευσης, τα οποία αποτελούνται από 68.276 εικονοστοιχεία, ήτοι 1,48% του συνόλου των εικονοστοιχείων της περιοχής έρευνας (Πίνακας 6-6). Τα ανωτέρω δεδομένα εκπαίδευσης επιβεβαιώθηκαν με φωτοερμηνεία εικόνων Google Earth Series, κατόπιν ελέγχου με διαθέσιμα βοηθητικά δεδομένα LPIS και κτηματογράφησης έτους 2018.

Τα ανωτέρω δεδομένα εκπαίδευσης και επιβεβαίωσης μεταφέρθηκαν στις εικόνες Landsat 5 TM για το έτος 2008. Κατόπιν ελέγχου και αξιολόγησης, με υφιστάμενα στοιχεία δειγματοληψιών κατά το έτος 2008, δημιουργήθηκαν τελικώς 2.563 πολύγωνα εκπαίδευσης στο έτος 2008. Τα πολύγωνα αυτά αποτελούνται από 84.855 εικονοστοιχεία, ήτοι 5,77% του συνόλου των εικονοστοιχείων της περιοχής έρευνας (Πίνακας 6-6).

Διαφοροποιήσεις ωστόσο υπήρξαν όπου προέκυψαν μεταβολές στην κάλυψη γης, κατόπιν φωτοερμηνείας των ενιαίων χαρτογραφικών υποβάθρων (LSO) του ΕΚ της περιόδου 2007-09, και ελέγχου με διαθέσιμα βοηθητικά δεδομένα για το έτος 2008, όπως είναι οι μελέτες διαχείρισης δασών και η χαρτογράφηση τύπων οικοτόπων του δικτύου «Natura2000».

Σε κάθε σενάριο ταξινόμησης, μια σειρά από διαδοχικές εκκινήσεις των αλγορίθμων ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε για την απόδοση των μορφών κάλυψης γης για την επίτευξη της μεγαλύτερης κατά το δυνατόν ακρίβειας. Τελικώς, αναγνωρίστηκαν οκτώ (8) κατηγορίες κάλυψης γης το 2018 και δέκα (10) το 2008 (Πίνακας 6-6).

Πίνακας 6-6. Μέγεθος και κατανομή δεδομένων εκπαίδευσης και επιβεβαίωσης ανά κατηγορία κάλυψης γης (Landsat 5 και 8).

Κατηγορία	Πλήθος δεδομένων εκπαίδευσης		Πλήθος εικονοστοιχείων		% συνολικής περιοχής		Πλήθος δεδομένων επιβεβαίωσης	
	Landsat 5	Landsat 8	Landsat 5	Landsat 8	Landsat 5	Landsat 8	Landsat 5	Landsat 8
Τεχνητές επιφάνειες	167	170	3.865	3.771	0,08	0,08	120	92
Αρόσιμη γη	730	650	27.561	21.726	0,60	0,47	502	368
Αρδεύσιμη γη	196	177	7.731	7.433	0,17	0,16	120	82
Δάσος πλατυφύλλων	646	490	20.571	16.169	0,45	0,35	214	189
Δάσος κωνοφόρων	109	98	1.855	1.486	0,04	0,03	62	61
Θαμνώνες	496	473	20.290	16.664	0,44	0,36	483	383
Καλαμώνες	84	87	1.242	980	0,03	0,02	45	29
Μόνιμες λίμνες	83	130	266	497	0,01	0,01	29	56
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	15		387		0,01		13	
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	37		1.087		3,94		24	
Σύνολο	2563	2.275	84.855	68.726	5,77	1,48	1.612	1.260

Οι διαφοροποιήσεις στην ανιχνευόμενες κατηγορίες κάλυψης γης μεταξύ των δύο ετών αναφοράς, οφείλονται στις μεταβολές που επήλθαν με την πάροδο του χρόνου. Η μεγαλύτερη μεταβολή παρατηρείται στην υγροτοπική περιοχή λόγω της μείωσης των υδάτων της λίμνης Κορώνειας και την μερική αποκάλυψη του πυθμένα της. Για το λόγο αυτό προστέθηκαν οι δύο κατηγορίες κάλυψης γης «Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών» και «Εποχιακά κατακλυζόμενες

λίμνες». Στο 2018, όμως λόγω της τροφοδοσίας της λίμνης με ύδατα από παρακείμενο χείμαρρο, η επιφάνεια της καλύφθηκε πλήρως με ύδατα, οπότε οι κατηγορίες αυτές διαγράφηκαν.

#### **6.2.7.2 Ταξινόμηση μορφών κάλυψης/χρήσεων γης ανά υποπεριοχή**

Οι προαναφερόμενοι τρεις αλγόριθμοι ταξινόμησης εφαρμόστηκαν και αξιολογήθηκαν ανά υποπεριοχή-ζώνη, όπως καταταμήθηκε η περιοχή έρευνας. Στην εκάστοτε ταξινόμηση, χρησιμοποιήθηκαν τα προαναφερθέντα δεδομένα εκπαίδευσης και επιβεβαίωσης, τα οποία κατανεμήθηκαν σε κάθε ζώνη ανάλογα με την γεωγραφική τους θέση σε σχέση με τα όρια της κάθε ζώνης. Στις περιπτώσεις που αναγνωρίστηκαν επιπλέον φασματικές κατηγορίες, λήφθηκαν επιπλέον δεδομένα εκπαίδευσης και επιβεβαίωσης για αυτές.

Η ταξινόμηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης ανά υποπεριοχή συνεισέφερε στην αναγνώριση περισσότερων μορφών κάλυψης/χρήσεων γης έναντι της ταξινόμησης στο σύνολο της περιοχής έρευνας. Συνολικά αναγνωρίστηκαν δεκαπέντε (15) κατηγορίες κάλυψης γης σε εικόνες Landsat 5 TM και έντεκα (11) σε εικόνες Landsat 8 OLI. Οι επιπλέον κατηγορίες σε σχέση με την ταξινόμηση της συνολικής περιοχής είναι: το γυμνό έδαφος στα δάση, τα υγρά λιβάδια στην υδροτοπική ζώνη, οι φυτείες δασικών ειδών και θαμνώνες στη ζώνη των λοιπών μορφών κάλυψης γης. Οι τελευταίες δύο κατηγορίες δεν θεωρούνται δασικού χαρακτήρα (εξαιρούνται του Δασικού Χάρτη). Βέβαια, όπως αναλύθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, υπάρχουν επιπλέον μορφές κάλυψης γης (εγκαταλειμμένοι αγροί οι οποίοι περιβάλλονται από θάμνους ή πλατύφυλλα είδη, μικτές νησίδες/τμήματα πλατύφυλλων και θάμνων, κατακλυζόμενοι αγροί, ελαιώνες και οπωρώνες). Λόγω όμως της μικρής επιφάνειας (0,2-3 Ha) που καταλαμβάνουν και της διασποράς τους (εντοπίζονται σε συγκεκριμένα τμήματα της περιοχής), δεν είναι δυνατόν να ανιχνευθούν και να αναγνωριστούν μοναδικά. Επιπλέον και λόγω της μέτριας χωρικής ανάλυσης (30μ.χ30μ) των εικόνων Landsat δεν κατέστη δυνατόν να

εντοπιστεί ικανός αριθμός δεδομένων εκπαίδευσης με επαρκές μέγεθος ώστε να χρησιμοποιηθούν στην ταξινόμηση. Ωστόσο, όπως θα δούμε ακολούθως, η συγκεκριμένη προσέγγιση βελτίωσε σημαντικά την ακρίβεια της ταξινόμησης στα δάση και την υγροτοπική περιοχή.

#### **6.2.8 Ταξινόμηση μορφών/κάλυψης χρήσεων γης με εικόνες Sentinel**

Με σκοπό την αξιολόγηση πολυφασματικών δεδομένων Sentinel-2 και την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τις κατηγορίες γης που δύναται να ανιχνευθούν και την επιτυγχάνομενη ακρίβεια χαρτογράφησης, σε σχέση με δεδομένα Landsat 8 OLI, η παρούσα έρευνα επεκτάθηκε στην ταξινόμηση των μορφών κάλυψης /χρήσεων γης το έτος 2018 (καλοκαίρι), με πολυφασματικά δεδομένα Sentinel-2 (10 κανάλια: 2 έως 8, 8A, 11, and 12). Σε σχέση με τις εικόνες Landsat 8 OLI του ίδιου έτους, τα δύο σύνολα πολυφασματικών δεδομένων, ελέγχθηκαν ως προς την γεωαναφορά τους στο σύστημα WGS84 και επιβεβαιώθηκε η ορθή χωρική τους αντιστοίχιση σε επίπεδο εικονοστοιχείου (1 pixel Landsat = 9 pixels Sentinel). Συνεπώς, για την ταξινόμηση εικόνων Sentinel-2, δημιουργήθηκε ένα νέα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης στις ίδιες περίπου γεωγραφικές θέσεις. Το μέγεθος και η κατανομή του πλήθους των δεδομένων εκπαίδευσης και επιβεβαίωσης ανά κατηγορία κάλυψης γης παρουσιάζεται στον Πίνακα 6-7.

Για την ορθή απόδοση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης στα εικονοστοιχεία πλέον των πολυφασματικών εικόνων Sentinel-2, ακολουθήθηκε η προαναφερόμενη μεθοδολογία, η οποία εφαρμόστηκε σε πολυφασματικά δεδομένα Landsat. Δημιουργήθηκαν 2.009 πολύγωνα δεδομένων εκπαίδευσης που αποτελούνται από 394.770 εικονοστοιχεία, τα οποία καλύπτουν 8,62% του συνόλου των εικονοστοιχείων της περιοχής έρευνας. Για την ταξινόμηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης χρησιμοποιήθηκαν επίσης οι τρεις προαναφερόμενοι αλγόριθμοι ταξινόμησης (RF, ML και K-NN). Η ταξινόμηση πολυφασματικών δεδομένων Sentinel-2

οδήγησε στην αναγνώριση δώδεκα (12) κατηγοριών κάλυψης γης στο σύνολο της περιοχής έρευνας. Διαπιστώνεται, ότι σε εφαρμογή του ίδιων αλγορίθμων, η ταξινόμηση δεδομένων Sentinel-2 οδήγησε στην αναγνώριση περισσότερων κατηγοριών γης (συνολικά 12) έναντι οκτώ (8) της ταξινόμησης δεδομένων Landsat 8 OLI για το καλοκαίρι 2018. Οι επιπλέον κατηγορίες που ανιχνεύθηκαν είναι το οδικό δίκτυο, οι χώροι εξόρυξης/απόθεσης υλικών, οι μικτοί θαμνώνες/φυσικά λιβάδια και τα εποχιακά ρέματα.

Πίνακας 6-7. Μέγεθος και κατανομή δεδομένων εκπαίδευσης και επιβεβαίωσης ανά κατηγορία κάλυψης γης (Sentinel-2, θέρος 2018).

Κατηγορίες	Δεδομένα Εκπαίδευσης	Πλήθος εικονοστοιχείων	% Συνολικής Περιοχής	Πλήθος Δεδομένων Επιβεβαίωσης
Τεχνητές επιφάνειες (οικισμοί και κατασκευές)	70	4.168	0,09	27
Οδικό δίκτυο	30	1.017	0,02	23
Χώροι εξόρυξης/απόθεσης	13	1.920	0,04	14
Αρόσιμη γη	594	104.027	2,27	254
Αρδευόμενη γη	139	29.562	0,65	45
Δάσος πλατυφύλλων	459	112.997	2,47	113
Δάσος κωνοφόρων	89	12.449	0,27	40
Θαμνώνες	211	67.459	1,47	130
Μικτοί θαμνώνες/φυσικά λιβάδια	174	48.654	1,06	65
Καλαμώνες	62	6.739	0,15	17
Εποχιακά ρέματα	38	3.141	0,07	32
Μόνιμες λίμνες	130	2.637	0,06	54
Σύνολο	2.009	394.770	8,62	814

## 6.2.9 Ακρίβεια ταξινόμησης

Για την εκτίμηση της ακρίβειας κάθε ταξινόμησης, χρησιμοποιήθηκαν τα εναπομείναντα ανεξάρτητα σημεία ελέγχου σε επίπεδο εικονοστοιχείου, τα οποία δεν συμπεριλήφθηκαν στα δεδομένα εκπαίδευσης. Τα σημεία αυτά ελέγχου κατανέμονται ομοιόμορφα και τυχαία στο χώρο και ανέρχονται συνολικά σε: α) 1.260 ως προς την ταξινόμηση εικόνων Landsat 8 OLI, β) 1.612 ως προς την ταξινόμηση εικόνων Landsat 5, και γ) 814 ως προς την ταξινόμηση εικόνων

Sentinel-2. Για την επιβεβαίωση της κάλυψης γης στα σημεία ελέγχου, ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στα δεδομένα εκπαίδευσης, ανάλογα και με τα διαθέσιμα βοηθητικά δεδομένα ανά έτος αναφοράς. Στη συνέχεια, τα σημεία ελέγχθηκαν ως προς την συμβατότητά τους με τις φασματικές τιμές των εικόνων και δεικτών και αντιστοιχίστηκαν στην ορθή κατηγορία κάλυψης γης.

Η ακρίβεια των αλγόριθμων αξιολογήθηκε σε κάθε σενάριο. Η διαδικασία ελέγχου και εκτίμησης της ακρίβειας του τελικού χάρτη, προϋποθέτει την επιλογή ενός σχεδίου δειγματοληψίας (Oloffson et al., 2014). Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη επιλογή υλοποιήθηκε κατά το στατιστικό σχεδιασμό του παρούσας μεθοδολογίας. Για την αποφυγή στατιστικού λάθους, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δεδομένα επιβεβαίωσης για την εκτίμηση ακρίβειας σε όλους τους αλγόριθμους ταξινόμησης ανά σενάριο και δορυφορικό ανιχνευτή που εφαρμόστηκαν σε κάθε περίοδο αναφοράς.

Για την αξιολόγηση της ακρίβειας της ταξινόμησης και του τελικού χάρτη του εκάστοτε έτους αναφοράς και σεναρίου ταξινόμησης, δημιουργήθηκε μήτρα σφαλμάτων (confusion matrix) και υπολογίστηκε η Ολική Ακρίβεια (OA), η Ακρίβεια Χρήστη (AX), η Ακρίβεια Κατασκευαστή (AK). Η παροχή της μήτρας σφαλμάτων, της ολικής ακρίβειας και της ακρίβειας ανά κατηγορία κάλυψης γης επιτυγχάνει το σκοπό της εκτίμησης της ακρίβειας. Επιπλέον, η παροχή αυτών των πληροφοριών επιτρέπει επίσης εκτιμήσεις από άλλη οπτική γωνία και την εκτίμηση άλλων δεικτών, συμπεριλαμβανομένου ακόμη και του συντελεστή Κάππα, εάν είναι επιθυμητό, προκειμένου να επιτευχθούν οι ειδικοί στόχοι μιας μελέτης (Foody, 2020). Επίσης χρησιμοποιήθηκε, και ο Συντελεστής Kappa (ΣΚ) αν και στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η χρήση του είναι προβληματική (Heydari και Mountrakis, 2018). Για τους ανωτέρω λόγους, η

μήτρα σφαλμάτων με τα ως άνω στοιχεία παρατίθενται αναλυτικά σε πίνακες ανά ταξινομητή και σενάριο στο Παράρτημα Θ.

Στα αποτελέσματα που ακολουθούν, συγκρίνονται οι ταξινομητές ανά σενάριο με βάση την επιτυγχάνομενη ολική ακρίβειά τους, με τα ίδια δεδομένα εισαγωγής, εκπαίδευσης και επιβεβαίωσης. Συνεπώς, η εξάρτηση της ολικής ακρίβειας από την κατανομή των κατηγοριών κάλυψης γης δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα.

### 6.3 Αποτελέσματα

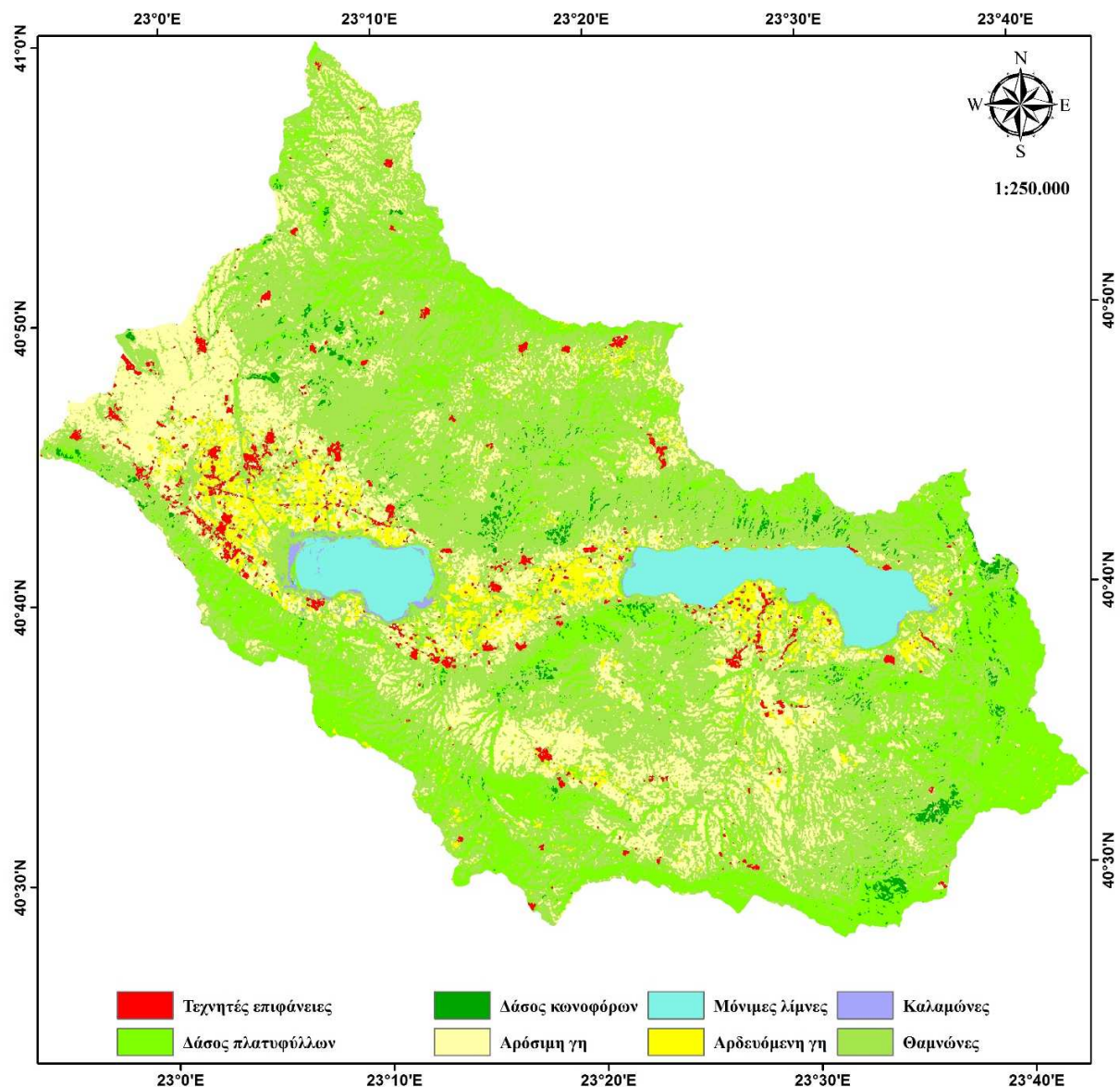
Η υψηλότερη επιτυγχάνομενη ολική ακρίβεια ανά ταξινομητή, δορυφορικό ανιχνευτή και σενάριο για το έτος 2018, παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 6-8.

Σύμφωνα με τα ως άνω στοιχεία, στην ταξινόμηση πολυφασματικών δεδομένων Landsat 8 OLI, ο αλγόριθμος «K-NN» παρουσίασε την υψηλότερη ολική ακρίβεια ταξινόμησης (93,02%) έναντι όλων στο σενάριο 4 (Εικόνα 6-9). Όταν δηλ. χρησιμοποιήθηκαν πολυφασματικά δεδομένα λήψης θέρους και χειμώνα και προστέθηκαν οι φασματικοί δείκτες EVI και NDMI αντίστοιχα. Στην περίπτωση αυτή, ο συντελεστής K έχει την υψηλότερη τιμή και ξεπερνά την τιμή 0,9 για πρώτη φορά. Στο συγκεκριμένο σενάριο, ο ταξινομητής της μέγιστης πιθανοφάνειας (ML) επιτυγχάνει την δεύτερη υψηλότερη ακρίβεια (OA: 92,46% και ΣΚ: 0,905) ενώ την τρίτη θέση καταλαμβάνει ο ταξινομητής τυχαίου δάσους (RF) με OA: 91,67% και ΣΚ: 0,8936.

Πίνακας 6-8. Ολική ακρίβεια ταξινόμησης 2018 ανά δορυφορικό ανιχνευτή και σενάριο σε επίπεδο συνολικής περιοχής.

Σενάρια ταξινόμησης 2018	Κανάλια	Δείκτες	Εποχή	Ταξινομητής	OA	ΣΚ
Landsat 8 OLI						
Σενάριο 1ο	6: 2-5, 7		Θέρος	ML	91,67%	0,8946
Σενάριο 2ο	6: 2-5, 7	EVI+NDMI	Θέρος	ML	90,95%	0,8857
Σενάριο 3ο	12: 2-5, 7		Θέρος+Χειμώνας	K-NN	91,90%	0,8968
Σενάριο 4ο	12: 2-5, 7	EVI+NDMI	Θέρος+Χειμώνας	K-NN	93,02%	0,9109
Sentinel-2						
Σενάριο 1ο	10: 2-8, 8A, 11, 12		Θέρος	RF	90,91%	0,8908





Εικόνα 6-9. Μορφές κάλυψης/χρήσεων γης 2018 (K-NN, Landsat-8 OLI).

Επισημαίνεται ότι στο σενάριο αυτό και οι τρεις ταξινομητές πέτυχαν την υψηλότερη ολική ακρίβεια με μικρή βέβαια διαφορά μεταξύ τους ( $<1\%$ ). Άρα, επιβεβαιώνεται η υπόθεσή μας ότι η απόδοση της ταξινόμησης με βάση διεποχιακά πολυφασματικά δορυφορικά δεδομένα Landsat βελτιώνει και αυξάνει την ακρίβεια χαρτογράφησης των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης. Επισημαίνεται δε ότι η πρόσθεση φασματικών δεικτών στα υφιστάμενα κανάλια του ανιχνευτή προσέφερε μικρή βελτίωση (επιπλέον  $1\%$ ) στην απόδοση της ταξινόμησης σε όλα τα σενάρια

ταξινόμησης εικόνων Landsat. Ωστόσο, η συμβολή των δεικτών (MNDWI, EVI και NDMI) στην δημιουργία και λήψη κατάλληλων δεδομένων εκπαίδευσης και επιβεβαίωσης ανά κατηγορία κάλυψης γης ήταν σημαντική.

Σε σύγκριση με τις επιτυγχανόμενες ακρίβειες ταξινόμησης Landsat 5 TM, το 2008, υψηλότερη ολική ακρίβεια (OA: 92,49%, ΣΚ: 0,9047) επιτεύχθηκε επίσης στο σενάριο 3 και 4 με τον ταξινομητή ML και RF αντίστοιχα (Πίνακας 6-9).

Πίνακας 6-9. Ολική ακρίβεια ταξινόμησης 2008 ανά σενάριο σε επίπεδο συνολικής περιοχής

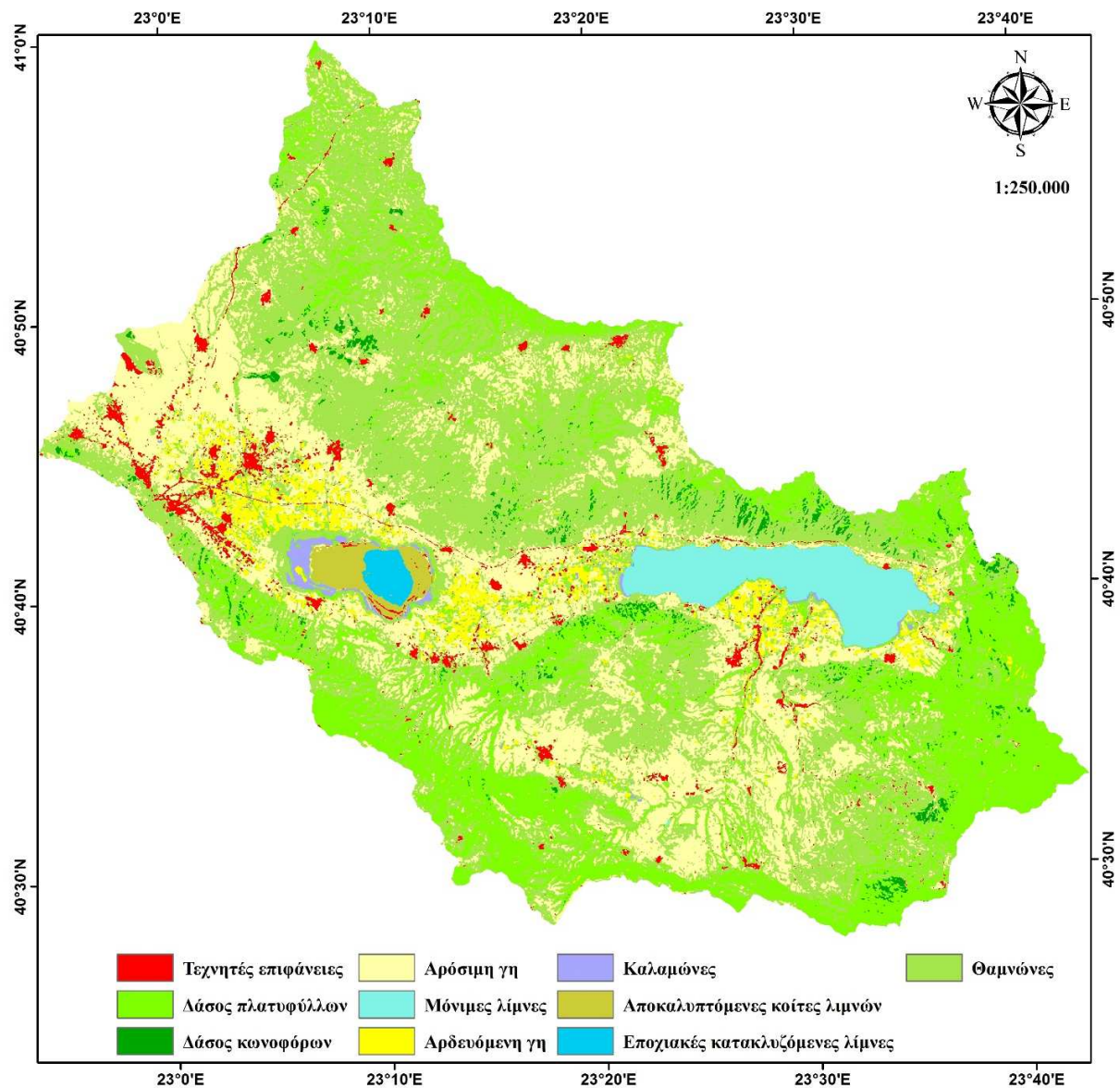
Σενάρια ταξινόμησης 2008	Κανάλια	Δείκτες	Εποχή	Ταξινομητής	OA	ΣΚ
Landsat 5 TM						
Σενάριο 1ο	6: 1-5, 7		Θέρος	ML	89,83%	0,8710
Σενάριο 2ο	6: 1-5, 7	EVI+NDMI	Θέρος	ML	89,58%	0,8678
Σενάριο 3ο	12: 1-5, 7		Θέρος+Χειμώνας	ML	92,49%	0,9047
Σενάριο 4ο	12: 1-5, 7	EVI+NDMI	Θέρος+Χειμώνας	RF	92,49%	0,9047

Αν όμως εξετάσουμε την ολική ακρίβεια της εκάστοτε κατηγορίας κάλυψης γης, παρατηρούμε ότι η ακρίβεια κατασκευαστή του ταξινομητή ML υπερέχει σε έξι κατηγορίες (τεχνητές επιφάνειες, αρδευόμενη γη, δάσος κωνοφόρων και αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών (Παράρτημα Θ). Η χαρτογράφηση των μορφών κάλυψης γης, σύμφωνα με τον ταξινομητή ML, παρουσιάζεται στην Εικόνα 6-10.

Η διαφορά της υψηλότερης ολικής ακρίβειας ταξινόμησης μεταξύ Landsat-8 OLI και Landsat-5 TM είναι αμελητέα (μόλις 0,53%). Επισημαίνεται όμως ότι για την επίτευξη αυτής της ακρίβειας με δεδομένα Landsat 5 TM απαιτήθηκαν 288 πολύγωνα εκπαίδευσης και 352 σημεία επιβεβαίωσης περισσότερα.

Όσον αφορά στην ταξινόμηση πολυφασματικών δεδομένων Sentinel-2A λήψης θέρους 2018, ο ταξινομητής τυχαίου δάσους (RF) παρουσίασε την υψηλότερη ολική ακρίβεια

ταξινόμησης (ΟΑ: 90,91% και ΣΚ: 0,8908) έναντι των λοιπών αλγορίθμων στο συγκεκριμένο σενάριο (Εικόνα 6-11).

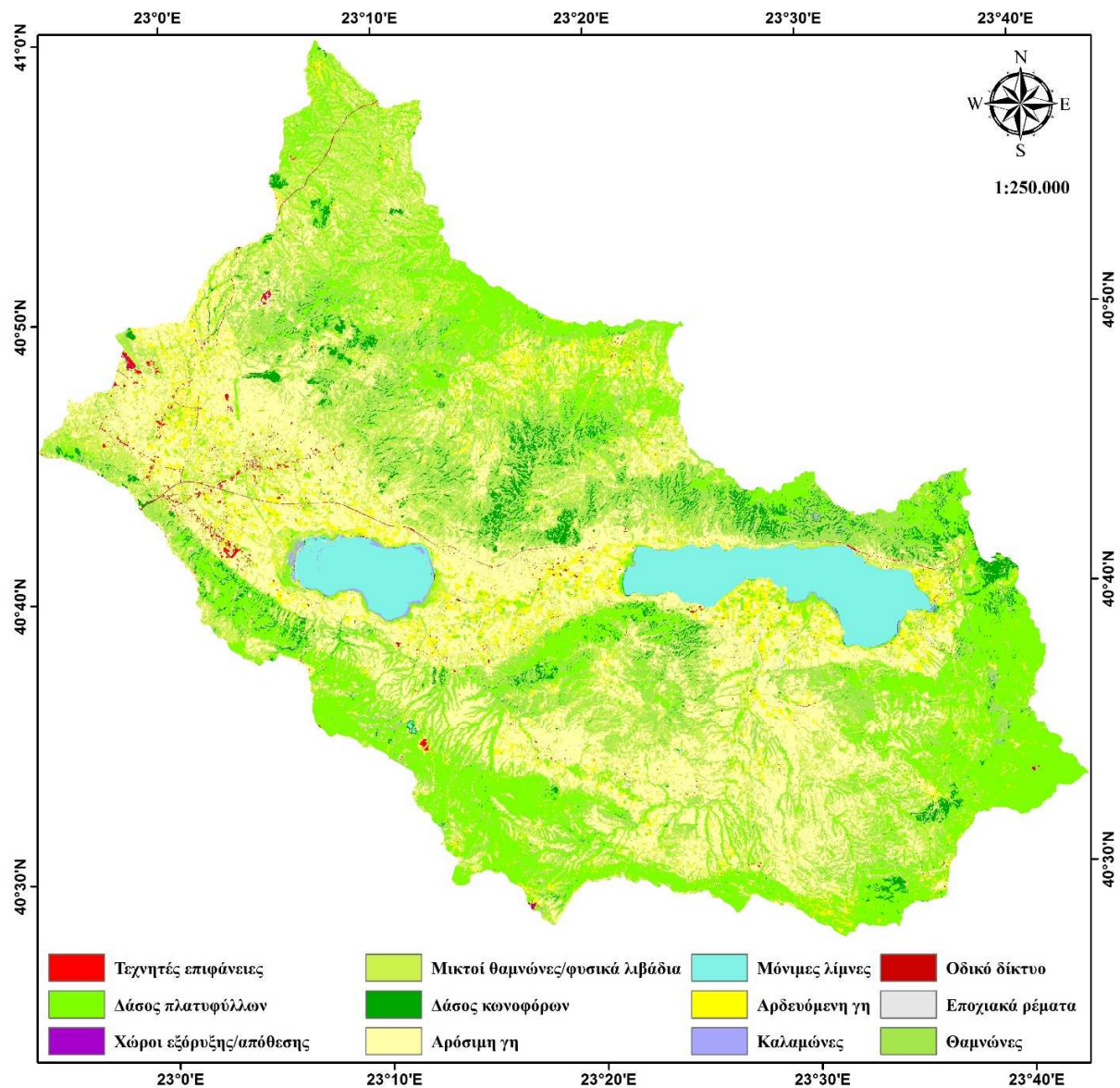


Εικόνα 6-10. Μορφές κάλυψης/χρήσεων γης 2008 (ML, Landsat-5 TM).

Επισημαίνεται ότι η ολική ακρίβεια του ταξινομητή «RF» είναι μεγαλύτερη από την ολική ακρίβεια του ίδιου ταξινομητή στα σενάρια 1, 2 και 3 ταξινόμησης εικόνων Landsat 8 OLI. Ο ταξινομητής της μέγιστης πιθανοφάνειας (ML) επιτυγχάνει την δεύτερη υψηλότερη



ακρίβεια (OA: 89,93% και ΣΚ: 0,8813) ενώ την τρίτη θέση καταλαμβάνει ο ταξινομητής K-NN με OA: 87.71% και ΣΚ: 0.8525.



Εικόνα 6-11. Μορφές κάλυψης/χρήσεων γης 2018 (RF, Sentinel-2).

Σε επίπεδο υποπεριοχής, τόσο η επιτυγχανόμενη ολική ακρίβεια όσο και η ακρίβεια ανά κατηγορία κάλυψης γης αυξήθηκαν εντυπωσιακά ειδικά στην ταξινόμηση δεδομένων Landsat 8 OLI λήψης θέρους (κανάλια 6, EVI και NDMI). Ως προς το έτος 2018, στα δάση η υψηλότερη ολική ακρίβεια επιτεύχθηκε από τον ταξινομητή RF (OA: 95.58% και ΣΚ: 0.9189), στους

υγροτόπους από τον ίδιο ταξινομητή (OA: 98,84% και ΣΚ: 0,9806) και στην υποπεριοχή με τις λοιπές μορφές κάλυψης γης, ο ταξινομητής K-NN (OA: 92.15% και ΣΚ: 0.8625) (Πίνακας 6-10).

Πίνακας 6-10. Ακρίβεια ταξινόμησης ανά υποπεριοχή.

Κατηγορία	Landsat 5 TM						Landsat 8 OLI			
	RF		ML		K-NN		RF		K-NN	
	OA	ΣΚ	OA	ΣΚ	OA	ΣΚ	OA	ΣΚ	OA	ΣΚ
Δάση	90.68%	0.8449					95.58%	0.9189		
Υγρότοποι			88.89%	0.8630			98.94%	0.9806		
Λοιπές μορφές κάλυψης γης					88.13%	0.8242			92.15%	0.8625

## 6.4 Συμπεράσματα

Ο σκοπός της έρευνας του κεφαλαίου αυτού, είναι η διερεύνηση της απόδοσης διαφορετικών αλγόριθμων ταξινόμησης στην αναγνώριση και καταγραφή των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης υπό διαφορετικά σενάρια και πολυπλοκότητα τοπίου. Η απόδοσή τους υπολογίζεται με βάση τη μήτρα σφαλμάτων, ανά σενάριο και δορυφορικό ανιχνευτή.

Σε επίπεδο συνολικής περιοχής έρευνας, όπου παρατηρείται η μεγαλύτερη ετερογένεια τοπίου, συνάγονται τα ακόλουθα:

Στην ταξινόμηση πολυφασματικών δεδομένων Landsat 8 OLI είτε Sentinel-2, όλοι οι ταξινομητές απέδωσαν όμοια με μικρές διαφορές, σύμφωνα με τις επιτυγχανόμενες ακρίβειες είτε ολική είτε ανά κατηγορία κάλυψης γης. Οι διαφορές τους δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Όμως στην περίπτωση του Sentinel-2 ανιχνεύθηκαν περισσότερες κατηγορίες κάλυψης γης.

Σε επίπεδο κατηγορίας κάλυψης γης, και όσον αφορά στον ταξινομητή K-NN που απέδωσε την μεγαλύτερη ολική ακρίβεια σε δεδομένα Landsat 8 OLI, η χαμηλότερη ακρίβεια παρουσιάστηκε στην κατηγορία των κωνοφόρων (80,33%) και των καλαμώνων (82,76%). Αυτό βέβαια εξηγείται ως ακολούθως: Στην μεν πρώτη κατηγορία, υπάρχουν τμήματα μη

επιτυχημένων αναδασωτέων εκτάσεων με κωνοφόρα είδη, τα οποία όμως λόγω της περιορισμένης ανάπτυξής τους συγχέονται φασματικά με θάμνους. Όσον αφορά στην ακρίβεια της δεύτερης κατηγορίας, αυτή οφείλεται στο μικρό μέγεθος επιφάνειας που καταλαμβάνει και στην περιορισμένη κατανομή της στο χώρο και στην εικόνα, αποκλειστικά γύρω από τις λίμνες. Συγκριτικά σε σχέση με την ταξινόμηση εικόνων με βάση πολυφασματικά δεδομένα Sentinel-2,

Από την απόδοση όλων των ταξινομητών, ανεξαρτήτως ανιχνευτή, συμπεραίνεται ότι οι κατηγορίες κάλυψης γης με μικρή επιφάνεια, όπως καλαμώνες, κωνοφόρα, υδατορεύματα, οδικό δίκτυο, κ.λπ., παρουσιάζουν την μικρότερη ακρίβεια. Όσο μικρότερο είναι το μέγεθος μιας κατηγορίας και όσο η διασπορά της στο χώρο είναι περιορισμένη, τόσο μικρότερη είναι η ακρίβεια ταξινόμησης.

Πέραν των ταξινομητών, διαφαίνεται ότι η επίδραση των φασματικών χαρακτηριστικών των δεδομένων εκπαίδευσης στην ακρίβεια της ταξινόμησης είναι μεγάλη. Αυτό τεκμηριώνεται από τη διαφορά ακρίβειας ταξινόμησης μεταξύ Landsat 8 OLI και Landsat 5 TM.

Η έρευνα επίσης κατέληξε σε ένα άλλο σημαντικό εύρημα: η ακρίβεια ταξινόμησης αυξάνεται όσο η ετερογένεια τοπίου μειώνεται. Σε επίπεδο υποπεριοχής (δάση και υγρότοποι) σημειώθηκαν οι υψηλότερες ακρίβειες ταξινόμησης έναντι της ταξινόμησης σε επίπεδο συμολικής περιοχής. Αυτό οφείλεται στην μεγάλη ποικιλότητα τοπίου, όπου υπάρχει φασματική σύγχυση μεταξύ των υφιστάμενων μορφών κάλυψης γης. Για παράδειγμα, οι θαμνώνες των ημιορεινών περιοχών συγχέονται με τους υγροτοπικούς, τα φυσικά λιβάδια εντός δασών με εγκαταλειμμένους αγρούς στα πεδινά, οι φυτείες με δάση πλατυφύλλων, κ.λπ. Συνεπώς, η ανίχνευση μεταβολών με μεγαλύτερη ακρίβεια δύναται να πραγματοποιηθεί σε επίπεδο υποπεριοχής και θεματικού αντικειμένου.

Από τα αποτελέσματα της έρευνας, και λαμβανομένου υπόψη τις αναγνωριζόμενες ανά δορυφορικό ανιχνευτή κατηγορίες κάλυψης γης και την αντίστοιχη επιτυγχανόμενη ακρίβεια ταξινόμησης, συνιστάται η χρήση πολυφασματικών δεδομένων Sentinel-2 ως βασικού χαρτογραφικού υποβάθρου για την καταγραφή και παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΤΕΛΙΚΕΣ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

### 7.1 Ευρήματα

Η παρούσα διατριβή συμβάλλει στην βελτίωση μεθοδολογίας για την καταγραφή και παρακολούθηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, με βάση πολυφασματικά δορυφορικά δεδομένα διαφορετικών ανιχνευτών και γεωχωρικά δεδομένα διαφορετικών πηγών. Τα κύρια συμπεράσματα της έρευνας συνοψίζονται ως ακολούθως:

**Εύρημα 1:** Η διάκριση και χαρτογράφηση των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης σε επίπεδο τοπίου, με βάση πολυφασματικά δεδομένα, προϋποθέτει υψηλής ποιότητας και μεγάλου αριθμού παρατηρήσεις, λόγω της μεγάλης φασματικής ετερογένειας που παρουσιάζουν αλλά και της χωρικής κατανομής τους.

**Εύρημα 2:** Η χωρο-χρονική επεξεργασία και αξιοποίηση τυχόν υφιστάμενων γεωχωρικών δεδομένων υψηλής ποιότητας συμβάλλουν στη βαθύτερη γνώση και κατανόηση της περιοχής μελέτης, σε μεγαλύτερη ακρίβεια λήψης δεδομένων εκπαίδευσης και επιβεβαίωσης της ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων είτε μεσαίας (Landsat) είτε μεγάλης (Sentinel-2) διακριτικής ικανότητας και συνεπώς σε μεγαλύτερη ακρίβεια αυτής.

**Εύρημα 3:** Η διαχρονική διερεύνηση μεταβολών διαφορετικών οικοσυστημάτων αλλά και μορφών κάλυψης γης, με βάση χρονικές σειρές φασματικών μετασχηματισμών διεποχιακών δορυφορικών εικόνων Landsat, παρέχει χωρο-χρονικές πληροφορίες για την ετήσια και εποχιακή φασματική διακύμανσή τους και συνεπώς μεγαλύτερη ακρίβεια στην διάκρισή τους.

**Εύρημα 4:** Η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης μορφών κάλυψης/χρήσεων γης με βάση εποχιακά (θέρος και χειμώνα) πολυφασματικά δεδομένα εικόνων Landsat και φασματικών δεικτών είναι μεγαλύτερη έναντι της ταξινόμησης με βάση πολυφασματικά δεδομένα σε μια χρονική στιγμή ή μιας εποχής.



**Εύρημα 5:** Η αναγνώριση και καταγραφή μορφών κάλυψης/χρήσεων γης με βάση πολυφασματικά δεδομένα Sentinel-2 υπερέχει έναντι των Landsat ως προς τον αριθμό των κατηγοριών που διακρίνονται και την επιτυγχανόμενη ακρίβεια ανά κατηγορία κάλυψης γης.

Συνολικά, η παρούσα έρευνα συμβάλλει στη διάκριση και καταγραφή σε επίπεδο μεμονωμένων μορφών κάλυψης γης και σε επίπεδο οικοσυστημάτων καθώς και στην ανίχνευση των μεταβολών τους.

## 7.2 Επισημάνσεις για το μέλλον

Η παρούσα έρευνα δύναται να επεκταθεί στο μέλλον για μια σειρά ερευνητικών εργασιών, οι οποίες θα αφορούν στην ανάπτυξη νέων μεθοδολογιών για την ακριβέστερη καταγραφή και παρακολούθηση σε μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης. Παράδειγμα εφαρμογής αποτελεί η επικαιροποίηση και ενημέρωση του προγράμματος Copernicus όσον αφορά στην καταγραφή των μορφών κάλυψης γης. Οι νέες μεθοδολογίες συνίστανται στην ανάπτυξη μοντέλων με την αξιοποίηση και άλλων δορυφορικών δεδομένων (π.χ. ραντάρ), ενσωμάτωση δορυφορικών εικόνων διαφορετικής ραδιομετρικής και διακριτικής ικανότητας (Landsat και Sentinel-2), ενσωμάτωση διαφορετικών ανιχνευτών Landsat/Sentinel-2 και ραντάρ). Διαφορετικοί αλγόριθμοι ταξινόμησης δύναται να εφαρμοστούν και να αξιολογηθούν ως προς την απόδοσή τους.

Αναφορικά ως προς το επίπεδο λεπτομέρειας, η παρούσα έρευνα θα μπορούσε να επεκταθεί σε επίπεδο δασικού είδους στα δασικά οικοσυστήματα, και σε επίπεδο ετήσιας καλλιέργειας στις αγροτικές περιοχές, αρκεί να εμπλουτιστεί η υφιστάμενη γεωχωρική βάση δεδομένων αναφοράς και πληροφοριών. Τα απαιτούμενα δεδομένα είναι δυνατόν να προέλθουν από το υπό εκπόνηση έργο της Απογραφής Δασών και την περαιτέρω αξιοποίηση των δεδομένων του LPIS.

Από πλευράς διαχείρισης γης και οικοσυστημάτων, η αξιοποίηση χρονικών σειρών δορυφορικών δεδομένων και υψηλής ποιότητας δεδομένων αναφοράς, θα επιτρέψει την συνεχή παρακολούθηση της κατάστασής τους, των φυσικών τους πόρων και της δυναμικής τους. Με βάση τα αποτελέσματα της παρακολούθησης θα λαμβάνονται και τα κατάλληλα μέτρα για την προστασία και διατήρηση των προστατευόμενων περιοχών και την διαχείριση των δασών.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**  
**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ**

Δορυφόρος	Ημ/νία Εκτόξευσης	Πλάτος Σάρωσης	Χωρική Ανάλυση	Ακρίβεια	Διάστοιχοι	Βάθος	Στέρεο	Επιφάνεια Κάλυψης
<b>Χαμηλής Διακριτικής Ικανότητας</b>								
<b>MODIS</b>	Dec 18, 1999	2.330km	250m (1-2), 500m (3-7), 1km (8-36)	~50m	36	12	No	2330 km (cross track) x 10 km (along track)
<b>AVHRR/3</b>	May, 1998	2.900km	1,1km	~1,6km	3 MS + 3TIR	10 (2 <sup>10</sup> bits per pixel)	No	2400 x 6400 kilometers
<b>Μεσαίας Διακριτικής Ικανότητας</b>								
<b>ASTER</b>	Dec. 18, 1999	60km	15m (3), 30m (6), 90m (5)	<50m	3 MS + 6 SWIR + 5 TIR	8 (VNIR), 8 (SWIR), 12 (TIR)	Yes	60km x 60km
<b>Landsat-7 (ETM+)</b>	Apr. 15, 1999	185km	15m (1), 30m (6), 60m (2)	μ/δ	Pan + 4 MS + 2 SWIR + 2 TIR	9 bit (8 bit transmitt ed)	No	185 km x 185 km
<b>Landsat-8 (OLI)</b>	Feb. 11, 2013	185km	15m (1), 30m (8)	12m	Pan + 6 MS + 2 SWIR + 2	12	No	170 km x 185 km
<b>DEIMOS-1</b>	Jul. 29, 2009	600km	22m	<500m	3 MS (0.52-0.62 μm (green), 0.63-0.69 μm (red), and 0.76- 0.9 μm (NIR))	8 bit or 10 bit digitizati on (selectabl e)	No	80 km x 80 km
<b>SENTINEL- 2A</b>	June 2015	290km	10m	8m	4 MS	12	No	100 km x 100 km
<b>SENTINEL- 2B</b>	July 2016	290km	20m	8m	4MS + 2 SWIR	12	No	100 km x 100 km
<b>SENTINEL- 3A</b>	Feb. 16, 2016	1270km (OLCI), 1420 km (SLSTR)	300m/1,2km (OLCI), 500m/1km (SLSTR)	μ/δ	OLCI: 21 (VIS/SWI R) SLSTR: 12 (3 (VNIR) + 3 (SWIR) + 6 (Thermal) )	12 (OLCI), 10 (SLSTR) ,	No	on request
<b>SENTINEL- 3B</b>	Apr. 25, 2018	1270km (OLCI), 1420 km (SLSTR)	300m/1,2km (OLCI), 500m/1km (SLSTR)	μ/δ	OLCI: 21 (VIS/SWI R) SLSTR: 12 (3 (VNIR) + 3 (SWIR) + 6 (Thermal) )	12 (OLCI), 10 (SLSTR) ,	No	on request
<b>Υψηλής Διακριτικής Ικανότητας</b>								
<b>RapidEye</b>	Aug. 29, 2008	77km	5m	10m (4)	3-band natural color or 5-band multispect ral image	12, 16 (ortho- image)	No	25 km x 25 km
<b>ORBVIEW- 3</b>	Mar. 13, 2011 (reentry)	8 km	1 m (Pan), 4 m (MS)	±12 m/10 m	1 Pan + 4 MS	11	No	8 km x 8 km

Δορυφόρος	Ημ/νία Εκτόξευσης	Πλάτος Σάρωσης	Χωρική Ανάλυση	Ακρίβεια	Δίαυλοι	Βάθος	Στέρεο	Επιφάνεια Κάλυψης
<b>SPOT-6</b>	Sep. 12, 2012	60km	1.5m (1), 6m (4)	10 m	Pan + 4 MS	12	Yes	120 km x 120 km or 60 km x 180 km
<b>SPOT-7</b>	June 30, 2014	60km	1.5m (1), 6m (4)	10m	Pan + 4 MS	12	Yes	120 km x 120 km or 60 km x 180 km
<b>Πολύ Υψηλής Διακριτικής Ικανότητας</b>								
<b>DEIMOS-2</b>	June 19, 2014	12 km at nadir (24 km in wide area mode)	0,75m	100 m	Pan + 4 MS	10	Yes	12 km x 1400 km (single strip), 12 km x 200 km (stereo)
<b>Pleiades-1A &amp; 1B</b>	Dec 11, 2011	20km	0,50 (1), 2m (4)	3m	Pan + 4 MS	12	Yes	up to 1000 km x 1000 km, 20 km x 280 km (stereo)
<b>GEOEYE-1</b>	Sep. 6, 2008	15,2km	0,46m (1), 1,84m (4)	5m	Pan + 4 MS	11	Yes	100 km x 100 km, 224 km x 28 km (stereo)
<b>WORLDVI EW-1</b>	Sep. 18, 2007	17,6 km	0,46m	<4m	Pan	11	Yes	17,6 Km x 14 Km
<b>WORLDVI EW-2</b>	Oct. 8, 2009	16,4 km	0,46 m (1), 1,84m (8)	<3.5 m	Pan + 8 MS	11	Yes	96 x 110 km mono, 48 x 110 km stereo
<b>WORLDVI EW-3</b>	Aug. 13, 2014	13,1 km	0,31m (1), 1,24m (8), 3,7m (8), 30m (12)	<3.5 m	Pan + 8 MS + 8 SWIR + 12 CAVIS	11 (Pan, MS), 14 (SWIR)	Yes	66.5 km x 112 km, 26.6 km x 112 km (stereo)
<b>WORLDVI EW-4</b>	Nov. 11, 2016	13,1 km	0,31m (1), 1,24m (4)	<4 meter	Pan + 4 MS	11	Yes	66.5 km x 112 km, 26.6 km x 112 km (stereo)
<b>RADAR</b>								
<b>SENTINEL-1 SAR</b>	Apr. 03, 2014	80km, 250km, 400km, 20 x 20km	Stripmap: 5m x 5m Interferometric Wide swath: 5m x 20m Extra Wide swath: 20m x 40m Wave: 5m x 5m	μ/δ	C-Band	10	No	Stripmap: 80km x 275km Interferometric Wide swath: 80km x 250km Extra Wide swath: 80km x 400km Wave: 80km x 80km
<b>TerraSAR-X/ TanDEM-X</b>	June, 2007	HR SpotLight (Single): 10km HR SpotLight (Dual): 10km SpotLight (Single): 10km SpotLight (Dual): 10km StripMap (Single): 30km StripMap (Dual): 15km ScanSAR: 100km	HR SpotLight (Single): 1m HR SpotLight (Dual): 2m SpotLight (Single): 2m SpotLight (Dual): 4m StripMap (Single): 3m StripMap (Dual): 6m ScanSAR: 18.5m	Predicted Orbit: 700 m along track Rapid Orbit: 2 m (3-d, 1 sigma) Science Orbit 20 cm (3-d, 1 sigma) aiming at 10 cm	C-Band	16	No	Spotlight: 10 km x 10 km HR Spotlight: 10 km x 5 km, StripMap: 30 km x 50 m, ScanSAR: 100 km x 150 km, Wide ScanSAR: 270 km x 200 km

Δορυφόρος	Ημ/νία Εκτόξευσης	Πλάτος Σάρωσης	Χωρική Ανάλυση	Ακρίβεια	Διάυλοι	Βάθος	Στέρεο	Επιφάνεια Κάλυψης
<b>RADARSAT-2</b>	Dec. 14, 2007	Spotlight: 8km Ultra Fine: 20km Multi-Look Fine: 50km Fine: 50km Standard: 100km Wide: 150km ScanSAR Narrow: 300km ScanSAR Wide: 500km Extended High Incidence: 75km Extended Low Incidence: 170km Fine Quad-Polarisation: 25km Standard Quad-Polarisation: 25km	Spotlight: 3m Ultra Fine: 3m Multi-Look Fine: 8m Fine: 8m Standard: 30m Wide: 30m ScanSAR Narrow: 50m ScanSAR Wide: 100m Extended High Incidence: 18-27m Extended Low Incidence: 30m Fine Quad-Polarisation: 8m Standard Quad-Polarisation: 30m	± 60 m real-time position information	C-Band	16	No	Spotlight: 18 x 8 km Ultra Fine: 20 x 20 km Multi-Look Fine: 50 x 50 km Fine: 50 x 50 km Standard: 100 x 100 km Wide: 150 x 150 km ScanSAR Narrow: 300 x 300 km ScanSAR Wide: 500 x 500 km Extended High Incidence: 75 x 75 km Extended Low Incidence: 170 x 170 km Fine Quad-Polarisation: 25 x 25 km Standard Quad-Polarisation: 25 x 25 km

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**  
**ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ NLCD 2016**

<b>1ο Επίπεδο</b>	<b>2ο Επίπεδο</b>	<b>Περιγραφή</b>
1. Ύδατα	11 Υδάτινες επιφάνειες	Υδάτινες επιφάνειες, συνήθως με κάλυψη βλάστησης ή εδάφους κάτω του 25%.
	12 Πολυετείς πάγοι/χιόνι	Περιοχές με πολυετείς πάγους / χιονιού, χαρακτηριζόμενες από πολυετές κάλυμμα πάγου ή / και χιονιού, γενικά μεγαλύτερο από το 25% της συνολικής κάλυψης.
2. Ανεπτυγμένοι χώροι	21 Ανοικτοί χώροι	Περιοχές με ανθρωπογενείς δραστηριότητες / ανοιχτοί χώροι, με μίξη ορισμένων κατασκευαστικών υλικών, αλλά κυρίως βλάστηση με τη μορφή χλοοτάπητα. Οι αδιαπέρατες επιφάνειες αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το 20% της συνολικής κάλυψης. Αυτές οι περιοχές συνηθέστερα περιλαμβάνουν μεγάλες μονάδες με μονοκατοικίας, πάρκα, γήπεδα γκολφ και βλάστηση σε εγκαταστάσεις για αναψυχή, αντιδιαβρωτικά έργα ή αισθητικούς σκοπούς.
	22 Χαμηλής έντασης	Περιοχές με ανθρωπογενείς δραστηριότητες, χαμηλής έντασης, με μίξη ορισμένων κατασκευαστικών υλικών και βλάστησης. Οι αδιαπέρατες επιφάνειες αντιπροσωπεύουν ποσοστό 20% έως 49% της συνολικής κάλυψης. Αυτές οι περιοχές συνηθέστερα περιλαμβάνουν μονοκατοικίες.
	23 Μεσαίας έντασης	Περιοχές με ανθρωπογενείς δραστηριότητες, μέσης έντασης, με μίξη ορισμένων κατασκευαστικών υλικών και βλάστηση. Οι αδιαπέραστες επιφάνειες αποτελούν το 50% έως 79% της συνολικής κάλυψης. Αυτές οι περιοχές συνηθέστερα περιλαμβάνουν μονοκατοικίες.
	24 Υψηλής έντασης	Περιοχές με ανθρωπογενείς δραστηριότητες, υψηλής έντασης, όπου οι άνθρωποι κατοικούν ή εργάζονται σε μεγάλους αριθμούς. Παραδείγματα περιλαμβάνουν συγκροτήματα διαμερισμάτων, σπίτια σε διάταξη και εμπορικά / βιομηχανικά κτίρια. Οι αδιαπέρατες επιφάνειες αντιπροσωπεύουν το 80% έως 100% της συνολικής κάλυψης.
3. Άγονες εκτάσεις	31 Πετρώδεις/Αμμώδεις/Πηλώδεις	Άγονες εκτάσεις - μητρικό πέτρωμα, βραχώδεις εκτάσεις, γκρεμοί, κάτω μέρη κλιτύων, σάρες, ηφαιστειακό υλικό, παγετώδη θραύσματα, αμμόλοφοι, ορυχεία με γραμμική μορφή, χωματερές και άλλα συσσωματώματα πηλώδους υλικού. Γενικά, η βλάστηση

1ο Επίπεδο	2ο Επίπεδο	Περιγραφή
		αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 15% της συνολικής κάλυψης.
4. Δάση	41 Φυλλοβόλα Δάση	Δασικές εκτάσεις που κυριαρχούνται από δένδρα γενικά μεγαλύτερα από 5 μέτρα και άνω του 20% της συνολικής βλάστησης. Περισσότερο από το 75% των ειδών δένδρων απορρίπτουν το φύλλωμα ταυτόχρονα σε απόκριση των εποχιακών αλλαγών.
	42 Αειθαλή Δάση	Περιοχές αειθαλών δασών που κυριαρχούνται από δένδρα γενικά μεγαλύτερα από 5 μέτρα ύψος και άνω του 20% της συνολικής βλάστησης. Περισσότερο από το 75% των ειδών δένδρων διατηρούν τα φύλλα τους όλο το χρόνο. Η κομοστέγη τους δεν είναι ποτέ χωρίς πράσινο φύλλωμα.
	43 Μικτά Δάση	Μικτές δασικές εκτάσεις που κυριαρχούνται από δένδρα με ύψος γενικά μεγαλύτερο από 5 μέτρα και άνω του 20% της συνολικής βλάστησης. Ούτε τα φυλλοβόλα ούτε τα αειθαλή είδη είναι μεγαλύτερα από το 75% της συνολικής κάλυψης των δένδρων.
5. Θαμνώνες	51 Χαμηλοί θαμνώνες*	Περιοχές της Αλάσκας που κυριαρχούνται από θάμνους με ύψος μικρότερο των 20 εκ. και ποσοστό κάλυψης συνήθως μεγαλύτερο του 20% της συνολικής βλάστησης. Αυτός ο τύπος συνοδεύεται συχνά από ποώδη βλάστηση.
	52 Θάμνος / θάμνος	Περιοχές θάμνων / θάμνων που κυριαρχούν από θάμνους, με ύψος μικρότερο των 5 μ. και ποσοστό κάλυψης συνήθως μεγαλύτερο του 20% της συνολικής βλάστησης. Αυτή η τάξη περιλαμβάνει θάμνους, νεαρά δέντρα σε πρώιμο διαδοχικό στάδιο ή δέντρα υποβαθμισμένα εξαιτίας των περιβαλλοντικών συνθηκών.
7. Ποώδης βλάστηση	71 Χορτολίβαδα / Ποώδης βλάστηση	Χορτολιβαδικά / ποώδη εδάφη κυριαρχούμενα από ποώδη βλάστηση, γενικά άνω του 80% της συνολικής βλάστησης. Αυτές οι περιοχές δεν υπόκεινται σε εντατική διαχείριση όπως η επεξεργασία, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για βόσκηση.
	72 Αλπική / Ποώδης βλάστηση*	Αλπικά λιβάδια της Αλάσκας με συγκεκριμένη ποώδη βλάστηση, γενικά πάνω από το 80% της συνολικής βλάστησης. Αυτός ο τύπος περιλαμβάνει σημαντικά χορτολιβαδικά φυτά τύπου τούνδρας
	73 Λειχήνες*	Περιοχές της Αλάσκας που κυριαρχούνται από λειχήνες γενικά σε μεγαλύτερη έκταση από το 80% της συνολικής βλάστησης.

1ο Επίπεδο	2ο Επίπεδο	Περιγραφή
	74 Βρύα*	Περιοχές της Αλάσκας που κυριαρχούνται από βρύα, γενικά σε μεγαλύτερη έκταση από το 80% της συνολικής βλάστησης.
8. Καλλιεργούμενες εκτάσεις	81 Βοσκότοποι/Χορτολίβαδα	Χώροι βοσκοτόπων / χορτολίβαδων, όσπρια ή μείγματα χόρτου και οσπρίων που φυτεύονται για βόσκηση ζώων ή για την παραγωγή σπόρων ή σπόρων προς σπορά, συνήθως σε πολυετή κύκλο. Η βλάστηση των βοσκοτόπων / ξηρής ποώδους βλάστησης αποτελεί περισσότερο από το 20% της συνολικής βλάστησης.
	82 Καλλιεργούμενες εκτάσεις	Καλλιεργούμενες εκτάσεις που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ετήσιων καλλιεργειών, όπως καλαμπόκι, σόγια, λαχανικά, καπνός και βαμβάκι, καθώς και πολυετείς ξυλώδεις καλλιέργειες όπως οπωρώνες και αμπελώνες. Η καλλιεργήσιμη βλάστηση αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 20% της συνολικής βλάστησης. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει επίσης όλες τις εκτάσεις που οργώνονται και καλλιεργούνται ενεργά.
9. Υγρότοποι	90 Ξυλώδεις υγρότοποι	Περιοχές υγροτόπων, όπου η βλάστηση των δασών ή των θαμνώνων αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 20% της φυτικής κάλυψης και το έδαφος ή το υπόστρωμα είναι περιοδικά κατακλυζόμενο ή καλυμμένο με νερό.
	95 Υγρότοποι με αναδυόμενα ποώδη φυτά	Περιοχές όπου η πολυετή ποώδη βλάστηση αντιπροσωπεύει πάνω από το 80% της φυτικής κάλυψης και το έδαφος ή το υπόστρωμα είναι περιοδικά κατακλυζόμενο ή καλυμμένο με νερό.
* Αλάσκα μόνο		



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ**  
**ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΟΡΦΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ CLC**

1ο Επίπεδο	2ο Επίπεδο	3ο Επίπεδο
1. Τεχνητές επιφάνειες	1.1 Αστικός ιστός	1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός
		1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός
	1.2 Βιομηχανικές - εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών	1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες
		1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα
		1.2.3 Ζώνες λιμένων
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι δόμησης	1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών
		1.3.2 Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων
		1.3.3 Χώροι δόμησης
	1.4 Τεχνητές μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου
		1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσιμη γη	2.1.1 Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
		2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη
		2.1.3 Ορυζώνες
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1 Αμπελώνες
		2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες
		2.2.3 Ελαιώνες
	2.3 Λιβάδια	2.3.1 Λιβάδια (τεχνητοί βοσκότοποι)
	2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες
		2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες
		2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
		2.4.4 Αγροδασικές περιοχές
3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Δάσος πλατυφύλλων
		3.1.2 Δάσος κωνοφόρων
		3.1.3 Μικτό δάσος
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης	3.2.1 Φυσικά λιβάδια
		3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι
		3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση

1ο Επίπεδο	2ο Επίπεδο	3ο Επίπεδο
	3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις
		3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές
		3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι
		3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
		3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις
		3.3.5 Παγετώνες και αέριο χιόνι
4. Υγρότοποι	4.1 Υγρότοποι ενδοχώρας	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα
		4.1.2 Τυρφώνες
	4.2 Παράκτιοι υγρότοποι	4.2.1 Παράκτιοι βάλτοι
		4.2.2 Αλυκές
		4.2.3 Παράκτιες ζώνες κατακλυζόμενες από θαλάσσια ύδατα
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Ροές υδάτων
		5.1.2 Συλλογές στάσιμου ύδατος
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες
		5.2.2 Εκβολές ποταμών
		5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ**  
**ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑ FAO (2016)**

ΒΛΑΣΤΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΜΟΡΦΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ	I	II	III	IV
				Είδος Φύλλου	Φαινολογία
		Ξυλώδης	Δένδρα	Πλατύφυλλα Κωνοφόρα Χωρίς Φύλλα	Αειθαλή Φυλλοβόλα
			Θάμνοι	Πλατύφυλλα Κωνοφόρα Χωρίς Φύλλα	Αειθαλή Φυλλοβόλα
		Ποώδης	Αγρωστώδη		Ετήσια Διετή Πολυετή
			Μη Αγρωστώδη		Ετήσια Διετή Πολυετή
		Λειχήνες και Βρύα	Λειχήνες		
			Βρύα		
		Φύκη			
ΑΒΙΟΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Τεχνητές Επιφάνειες	Δομημένες Επιφάνειες	Γραμμικές	Οδικό Δίκτυο	
				Σιδηροδρομικό Δίκτυο	
				Δίκτυα Επικοινωνίας κ.α.	
			Μη γραμμικές	Κτήρια	
				Άλλες Κατασκευές	
				Άλλες Τεχνητές Επιφάνειες	
		Μη Δομημένες Επιφάνειες	Εναποθέσεις		
			Απολήψεις		
		Χαρακτηριστικό Επιφάνειας			
	Φυσικές Επιφάνειες	Συμπαγείς Επιφάνειες	Γυμνοί Βράχοι και Τραχείς Επιφάνειες	Γυμνοί Βράχοι	
				Τραχείς Επιφάνειες	
			Αδιαπέρατες		
		Μη Συμπαγείς Επιφάνειες	Γυμνό Έδαφος		
			Χαλαρή και Μετακινούμενη Άμμος	Αμμώδεις	
				Παραλίες	
	Αλυκές				
	Υδάτινα Σώματα και συναφείς επιφάνειες	Υδάτινα Σώματα			
		Χιόνι			
		Πάγος	Παγωμένες Χερσαίες Επιφάνειες		
				Μόνιμα Παγωμένες	
			Επιπλέοντες Πάγοι	Πάγος Θαλάσσης	
				Πάγος Λίμνης	
		Πάγος Ποταμού			

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε**  
**ΤΥΠΟΙ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ Ι ΟΔΗΓΙΑΣ 92/41/ΕΟΚ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ**  
**ΤΥΠΩΝ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ**

1ο Επίπεδο	2ο Επίπεδο	3ο Επίπεδο
1. ΠΑΡΑΚΤΙΟΙ ΚΑΙ ΑΛΟΦΥΤΙΚΟΙ ΟΙΚΟΤΟΠΟΙ	11. ΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΟΙΚΟΤΟΠΟΙ	1130 - Εκβολές Ποταμών 1150 - Παράκτιες Λιμνοθάλασσες
	12. ΑΠΟΚΡΗΜΝΕΣ ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ ΑΚΤΕΣ	1210 - Μονοετής βλάστηση μεταξύ των ορίων πλημμυρίδας και άμμου 1240 - Απόκρημνες βραχώδεις ακτές με βλάστηση στη Μεσόγειο με ενδημικά <i>Limonium</i> spp.
	13. ΑΤΛΑΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΑ ΕΛΗ ΚΑΙ ΑΛΙΠΕΔΑ	1310 - Πρωτογενής βλάστηση με <i>Salicornia</i> και άλλα μονοετή είδη των λασπωδών και αμμωδών ζωνών
	14. ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟ-ΑΤΛΑΝΤΙΚΑ ΕΛΗ ΚΑΙ ΑΛΙΠΕΔΑ	1410 - Μεσογειακά αλίπεδα ( <i>Juncetalia maritimi</i> ) 1420 - Μεσογειακές και θερμοατλαντικές αλόφιλες λόχμες ( <i>Sarcocornietea fruticosi</i> ) 1430 - Αλο-νιτρόφιλες λόχμες ( <i>Pegano-Salsolietea</i> )
	15. ΣΤΕΠΕΣ ΤΗΣ ΕΝΔΟΧΩΡΑΣ ΜΕ ΑΛΟΦΙΛΟΥΣ ΚΑΙ ΓΥΨΟΦΙΛΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ	1510* - Μεσογειακές αλατούχες στέπες ( <i>Limonietales</i> )
	21. ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΘΙΝΕΣ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ ΤΟΥ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΥ, ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	2110 - Υποτυπώδεις κινούμενες θίνες 2120 - Κινούμενες θίνες της ακτογραμμής με <i>Ammophila arenaria</i> (λευκές θίνες) 2190 - Υγρές κοιλάδες μεταξύ των θινών
	22. ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΘΙΝΕΣ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ	2220 - Θίνες με <i>Euphorbia terracina</i> 2230 - Θίνες με λειμώνες της <i>Malcolmietalia</i> 2250* - Θίνες των παραλίων με <i>Juniperus</i> spp. 2260 - Θίνες με βλάστηση σκληρόφυλλων θάμνων ( <i>Cisto-Lavanduletalia</i> ) 2270* - Θίνες με δάση από <i>Pinus pinea</i> και /ή <i>Pinus pinaster</i>
3. ΟΙΚΟΤΟΠΟΙ ΓΛΥΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ	31. ΣΤΑΣΙΜΑ ΥΔΑΤΑ	3130 - Στάσιμα ολιγοτροφικά έως μεσοτροφικά ύδατα με βλάστηση <i>Littorelletalia uniflorae</i> και/ή <i>Isoeto-Nanojuncetalia</i> 3140 - Σκληρά ολιγο-μεσοτροφικά ύδατα με βενθική βλάστηση χαροειδών σχηματισμών με <i>Chara</i> spp. 3150 - Ευτροφικές φυσικές λίμνες με βλάστηση τύπου <i>Magnopotamion</i> ή <i>Hydrocharition</i> 3170* - Μεσογειακά εποχικά τέλματα
	32. ΡΕΟΝΤΑ ΥΔΑΤΑ	3240 - Αλπικοί ποταμοί και η παρόχθια ξυλώδης βλάστησή τους με <i>Salix elaeagnos</i> 3250 - Ποταμοί της Μεσογείου με μόνιμη ροή, με <i>Glaucium flavum</i> 3260 - Ποταμοί από τα πεδινά έως τα ορεινά επίπεδα με βλάστηση <i>Ranunculion fluitantis</i> και <i>Callitricho-Batrachion</i> 3280 - Ποταμοί της Μεσογείου με μόνιμη ροή του <i>Paspalo-Agrostidion</i> και πυκνή βλάστηση με μορφή παραπετάσματος από <i>Salix</i> spp. και <i>Populus alba</i> στις όχθες τους 3290 - Ποταμοί της Μεσογείου με περιοδική ροή από <i>Paspalo-Agrostidion</i>
	40. ΕΡΕΙΚΩΝΕΣ ΤΗΣ ΕΥΚΡΑΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΚΑΙ ΘΑΜΝΟΙ	4060 - Αλπικά και βόρεια χέρσα εδάφη 4090 - Ενδημικά ορεινά μεσογειακά χέρσα εδάφη με ακανθώδεις θάμνους
	51. ΥΠΟΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΙ ΚΑΙ ΕΥΚΡΑΤΟΙ ΘΑΜΝΩΝΕΣ	5110 - Σταθερές ξηροθερμόφιλες διαπλάσεις με <i>Buxus sempervirens</i> των βραχωδών κλιτύων ( <i>Berberidion</i> p.p.)
	52. ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΙ ΔΕΝΔΡΩΔΕΙΣ	5210 - Δενδρώδη matorrals με <i>Juniperus</i> spp.
	4. ΕΥΚΡΑΤΑ ΧΕΡΣΑ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ ΛΟΧΜΕΣ	
	5. ΛΟΧΜΕΣ ΜΕ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ (MATORRAL)	

1ο Επίπεδο	2ο Επίπεδο	3ο Επίπεδο
	ΘΑΜΝΩΝΕΣ (MATORRAL)	5230* - Δενδρώδη matorrals με Laurus nobilis
	53. ΘΕΡΜΟΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΕΠΠΙΚΟΙ ΘΑΜΝΩΝΕΣ	5310 - Συστάδες από Laurus nobilis
	54. ΦΡΥΓΑΝΑ	5330 - Θερμομεσογειακές και προερημικές λόχμες
		5420 - Φρύγανα από Sarcopoterium spinosum
6. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΗΜΙΦΥΣΙΚΕΣ ΧΛΟΩΔΕΙΣ ΔΙΑΠΛΑΣΕΙΣ (ΛΕΙΜΩΝΕΣ))	61. ΦΥΣΙΚΑ ΛΙΒΑΔΙΑ	5430 - Ενδημικά φρύγανα Euphorbio-Verbascion
		6110* - Παρόχθιοι ασβεστούχοι ή βασεόφιλοι λειμώνες της Alyso-Sedion albi
	62. ΗΜΙΦΥΣΙΚΟΙ ΞΗΡΟΦΥΤΙΚΟΙ ΛΕΙΜΩΝΕΣ ΚΑΙ ΟΨΕΙΣ ΜΕ ΘΑΜΝΟΥΣ	6170 - Ασβεστούχοι αλπικοί και υποαλπικοί λειμώνες
		6220* - Ψευδοστέππα με αγρωστώδη και μονοετή φυτά της Thero-Brachypodietea
		6230* - Χλοώδεις διαπλάσεις με Nardus, ποικίλων ειδών, σε πυριτικά υποστρώματα των ορεινών ζωνών (και των ημιορεινών ζωνών της ηπειρωτικής Ευρώπης)
		62A0 - Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλοώδεις διαπλάσεις (Scorzonetalia villosae)
	64. ΗΜΙ - ΦΥΣΙΚΟΙ ΥΓΡΟΙ ΛΕΙΜΩΝΕΣ ΥΨΗΛΩΝ ΧΟΡΤΩΝ	62D0 - Oro-Moesian όξινοι λειμώνες
		6420 - Υγροί μεσογειακοί λειμώνες με υψηλές πόες της Molinio-Holoschoenion
7. ΥΨΗΛΟΙ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΟΙ ΤΥΡΦΩΝΕΣ	71. ΟΞΙΝΟΙ ΤΥΡΦΩΝΕΣ ΜΕ SPHAGNUM (ΣΦΑΓΝΩΝΕΣ)	6430 - Υγρόφιλες κοινότητες των παρυφών με υψηλές πόες στις πεδιάδες και στα ορεινά έως αλπικά επίπεδα
	72. ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΑ ΕΛΗ (ΒΑΛΤΟΙ) (FENS)	7130 - Επιφανειακοί τυρφώνες (*για τους ενεργούς τυρφώνες μόνο)
		7210* - Ασβεστούχοι βάλτοι με Cladium mariscus και είδη της Caricion davallianae
		7220 - Απολιθωμένες πηγές με σχηματισμό τόφας (Cratoneurion)
8. ΟΙΚΟΤΟΠΟΙ ΒΡΑΧΩΝ ΚΑΙ ΣΠΗΛΑΙΩΝ	81. ΛΙΘΩΝΕΣ	7230 - Αλκαλικοί χαμηλοί τυρφώνες
		8140 - Λιθώνες της Ανατολικής Μεσογείου
		8210 - Ασβεστολιθικά βραχώδη πρανή με χασμοφυτική βλάστηση
	82. ΧΑΣΜΟΦΥΤΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΚΛΙΤΥΩΝ	8220 - Πυριτικά βραχώδη πρανή με χασμοφυτική βλάστηση
9. ΔΑΣΗ	83. ΑΛΛΟΙ ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ ΟΙΚΟΤΟΠΟΙ	8310 - Σπήλαια των οποίων δεν γίνεται τουριστική εκμετάλλευση
		8320 - Εκτάσεις λάβας και φυσικές κοιλότητες
	91. ΔΑΣΗ ΤΗΣ ΕΥΚΡΑΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ	9110 - Δάση οξυάς της Luzulo-Fagetum
		9130 - Δάση οξυάς της Asperulo-Fagetum
		9140 - Μεσευρωπαϊκά υποαλπικά δάση οξυάς με Acer και Rumex arifolius
		9150 - Μεσευρωπαϊκά ασβεστόφιλα δάση οξυάς της Cephalantho-Fagion
		9180* - Δάση σε πλαγιές, λιθώνες ή χαράδρες της Tilio-Acerion
		91AA - Ανατολικά δάση χνοώδους δρυός
		91BA - Δάση λευκής ελάτης
		91CA - Δάση δασικής πεύκης στην Βαλκανική και στη Ροδόπη
		91E0* - Αλλουβιακά δάση με Alnus glutinosa και Fraxinus excelsior (Alno-Padion, Alnion incanae, Salicion albae)
		91F0 - Μικτά δάση με Quercus robur, Ulmus laevis, Ulmus minor, Fraxinus excelsior ή Fraxinus angustifolia κατά μήκος μεγάλων ποταμών (Ulmion minoris)
		91MO - Δάση δρυός με Quercus cerris και Quercus petraea
	92. ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΔΑΣΗ ΦΥΛΛΟΒΟΛΩΝ	9250 - Δάση δρυός με Quercus trojana
		9260 - Δάση με Castanea sativa
		9270 - Ελληνικά δάση οξυάς με Abies borisii-regis
		9280 - Δάση με Quercus frainetto
		9290 - Δάση με Cupressus (Acero-Cupression)
		92A0 - Δάση-στοές με Salix alba και Populus alba
		92C0 - Δάση Platanus orientalis και Liquidambar orientalis (Platanion orientalis)

1ο Επίπεδο	2ο Επίπεδο	3ο Επίπεδο
	93. ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΔΑΣΗ ΣΚΛΗΡΟΦΥΛΛΩΝ	92D0 - Νότια παρόχθια δάση–στοές και λόχμες (Nerio–Tamaricetea και Securinegion tinctoriae)
		9310 - Δάση δρυός του Αιγαίου με Quercus brachyphylla
		9320 - Δάση με Olea και Ceratonia
		9340 - Δάση με Quercus ilex και Quercus rotundifolia
		9350 - Δάση με Quercus macrolepis
		9370* - Φοινικοδάση του Phoenix
		9380 - Δάση με Ilex aquifolium
	94. ΑΛΠΙΚΑ ΚΑΙ ΥΠΑΛΠΙΚΑ ΔΑΣΗ ΚΩΝΟΦΟΡΩΝ	9410 - Οξυφύλα δάση με Picea σε επίπεδα ορεινά έως αλπικά (Vaccinio–Piceetea)
	95. ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΔΑΣΗ ΟΡΕΙΝΩΝ ΚΩΝΟΦΟΡΩΝ	9530* - (Υπο –)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα
		9540 - Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου
		9560* - Ενδημικά δάση με Juniperus spp.
		9580 - Μεσογειακά δάση με Taxus baccata
		95A0 - Ορο–Μεσογειακά δάση πεύκης μεγάλων υψομέτρων (Pinus heldreichii ή Pinus peuce)

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ**  
**ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΤΥΠΩΝ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ CLC**

1ο Επίπεδο	2ο Επίπεδο	3ο Επίπεδο	4ο Επίπεδο	Τύποι Οικοτόπων
1. Τεχνητές επιφάνειες	1.1 Αστικός ιστός	1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός	1.1.1.1 Αστικά κέντρα και πόλεις	1010
			1.1.1.2 Χωριά και οικισμοί	1011
		1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός	1.1.2.1 Χώροι εξυπηρέτησεων	1012
			1.1.2.2 Δευτερεύοντες οικισμοί	1013
	1.2 Βιομηχανικές/ Εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών	1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	1.2.1.1 Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες (θεσμοθετημένες)	1020
			1.2.1.2 Συγκεντρώσεις αγροτικών/ μεταποιητικών μονάδων	1021
		1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα	1.2.2.1 Αυτοκινητόδρομοι	1022
			1.2.2.2 Δρόμοι εθνικοί	1023
			1.2.2.2 Δρόμοι επαρχιακοί	1024
			1.2.2.3 Σιδηροδρομικό δίκτυο	1025
		1.2.3 Ζώνες λιμένων	1.2.3.1 Ζώνες λιμένων	1028
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι δόμησης	1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών	1.3.1.1 Χώροι εξορύξης/επεξεργασίας ορυκτών, αδρανών κ.λπ.	1029
		1.3.2 Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων	1.3.2.1 Χώροι απόρριψης απορριμμάτων	1030
		1.3.3 Χώροι δόμησης	1.3.3.1 Χώροι δόμησης	1031
	1.4 Τεχνητές μη Γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου	1.4.1.1 Περιοχές αστικού πρασίνου	1032
		1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	1.4.2.1 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	1040
2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσιμη γη	2.1.1 Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	2.1.1.1 Μη αρδευόμενη-αρόσιμη γη αμιγής	1041
			2.1.1.2 Μη αρδευόμενη-αρόσιμη γη μεικτή	1050
		2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη	2.1.2.1 Μόνιμα αρδευόμενη γη αμιγής	1051
			2.1.2.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη μεικτή	1056
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.1.3 Ορυζώνες	2.1.3.1 Ορυζώνες	1057
				1059
		2.2.1 Αμπελώνες	2.2.1.1 Αμπελώνες αμιγείς	1060
			2.2.1.2 Αμπελώνες μεικτοί	1061
		2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες	2.2.2.1 Οπωροφόρα δένδρα & φυτείες (αμιγή)	1066
			2.2.2.1 Φυτείες δασικών ειδών (αναδασώσεις)	1065
			2.2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα & φυτείες (μικτά)	1067
		2.2.3 Ελαιώνες	2.2.3.1 Ελαιώνες αμιγείς	1068
			2.2.3.2 Ελαιώνες μεικτοί	1069
	2.3 Λιβάδια	2.3.1 Λιβάδια (τεχνητοί βοσκότοποι)	2.3.1.1 Λειμώνες (τεχνητοί βοσκότοποι)	1070
	2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες	2.4.1.1 Μη αρδευόμενη-αρόσιμη γη μεικτή	1051
			2.4.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη μεικτή	1057
			2.4.1.3 Λειμώνες μεικτοί	1058
		2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες	2.4.2.1 Μη αρδευόμενη-αρόσιμη γη μεικτή	1051
			2.4.2.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη μεικτή	1057
			2.4.2.3 Λειμώνες μεικτοί	1058
		2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία με	2.4.2.4 Εγκαταλελειμμένες καλλιέργειες	1062
			Διάκριση των πολυγώνων με καλλιέργειες από αυτά	Ανάλογα

1ο Επίπεδο	2ο Επίπεδο	3ο Επίπεδο	4ο Επίπεδο	Τύποι Οικοτόπων
		σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	με φυσική βλάστηση και ταξινόμησή τους ανάλογα	
		2.4.4 Αγροδοασικές περιοχές		
3. Δάση και ημιφυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων	3.1.1.1 Δάση Οξυάς	9110
				9130
				9140
				9150
			3.1.1.2 Δάση Δρυός	91AA
				91M0
				9250
				9280
				9310
				9350
			3.1.1.3 Παρόχθια Δάση Πλατυφύλλων	91E0
				91F0
				92A0
				92C0
				92D0
			3.1.1.4 Δάση Καστανιάς	9260
			3.1.1.5 Δάση Φλαμουριάς-Σφενδάμου	9180
		3.1.1.6 Δάση αιθαλών πλατυφύλλων		9320
				9340
				9380
		3.1.1.7 Φοινικοδάση		934A
				9370
		3.1.1.8 Δάση Σημύδας		G91K
		3.1.1.9 Θερμόφιλα δάση πλατυφύλλων		925A
				925B
				G91L
	3.1.2 Δάσος κωνοφόρων	3.1.2.1 Δάση Κουκουναριάς		2270
		3.1.2.2 Δάση Ελάτης		91BA
				951B
		3.1.2.3 Δάση Δασικής Πεύκης		91CA
		3.1.2.4 Δάση Ερυθρελάτης		9410
		3.1.2.5 Δάση Μαύρης Πεύκης		9530
		3.1.2.6 Δάση Πεύκης χαμηλών υπομέτρων		9540
		3.1.2.7 Δάση Κυπαρίσσου/Κέδρου		9290
				9560
		3.1.2.8 Δάση με Ίταμο		9580
		3.1.2.9 Δάση Πεύκης μεγάλων υπομέτρων		95A0
		3.1.3 Μικτό δάσος	3.1.3.1 Μεικτά Δάση Οξιάς-Ελάτης	9270
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης	3.2.1 Φυσικά λιβάδια	3.2.1.1 Φυσικοί βοσκότοποι	5150
				6110
				6170
				6220
				6230
				G628
				6290
				62A0
				62D0
				6420
				6430
				G645
				6510
				651A
		3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι	3.2.2.1 Χέρσα εδάφη μεγάλου υπομέτρου	4060



1ο Επίπεδο	2ο Επίπεδο	3ο Επίπεδο	4ο Επίπεδο	Τύποι Οικοτόπων
			3.2.2.2 Ορεινά χέρσα εδάφη	4090
			3.2.2.3 Διαπλάσεις με Πυξάρι	5110
			3.2.2.4 Ενδημικά φρύγανα	5420
				5430
			3.2.2.5 Garrigues και Ψευδομακκί	5340
		3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση	3.2.3.1 Σκληροφυλλική βλάστηση με Κέδρα	5210
			3.2.3.2 Σκληροφυλλική βλάστηση με Δάφνη	5230
				5310
			3.2.3.3 Θερμομεσογειακοί και προ-εξημικοί θαμνώδεις	5330
		3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	3.2.4.1 Φυλλοβόλοι προδασικοί ή μεταβατικοί	5160
	3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	3.3.1.1 Μονοετής βλάστηση μεταξύ πλημμυρίδας και άμμου	1210
			3.3.1.2 Υποτυπώδεις κινούμενες θίνες	2110
			3.3.1.3 Λευκές θίνες	2120
			3.3.1.4 Υγρές κοιλότητες μεταξύ θινών	2190
			3.3.1.5 Θίνες με Εφόρβιες	2220
			3.3.1.6 Θίνες με λειμώνες	2230
			3.3.1.7 Θίνες με Κέδρα	2250
			3.3.1.8 Θίνες με σκληρόφυλλους θάμνους	2260
		3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι	3.3.2.1 Ασβεστολιθικά βραχώδη πρανή	8210
			3.3.2.2 Πυριτικά βραχώδη πρανή	8220
			3.3.2.3 Σπήλαια δίχως εκμετάλλευση	8310
			3.3.2.4 Εκτάσεις λάβας 8320	8320
			3.3.2.5 Απόκρημνες βραχώδεις ακτές (θαλάσσια σπήλαια)	1240
				8330
			3.3.2.6 Μόνιμα υγροί βράχοι (σχιστόλιθοι)	8260
		3.3.3 Εκτάσεις με αραή βλάστηση	3.3.3.1 Λιθώδεις	8140
		3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις	3.3.4.1 Αποτεφρωμένες εκτάσεις	1090
		3.3.5 Παγετώνες και αέναο χιόνι	3.3.5.1 Παγετώνες και αιώσιο χιόνι	1091
4. Υγρότοποι	4.1 Υγρότοποι ενδοχώρας	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα	4.1.1.1 Καλαμώνες	72Α0
			4.1.1.2 Εκτάσεις με βούρλα	72Β0
		4.1.2 Τυρφώνες	4.1.2.1 Επιφανειακοί ενεργοί τυρφώνες	7140
			4.1.2.2 Ασβεστόχουχοί βάλτοι	7210
			4.1.2.3 Απολιθωμένες πηγές	7220
			4.1.2.4 Αλκαλικοί χαμηλοί τυρφώνες	7230
	4.2 Παράκτιοι υγρότοποι	4.2.1 Παράκτιοι βάλτοι	4.2.1.1 Πρόδρομη βλάστηση	1310
			4.2.1.2 Αλίπεδα	1410
			4.2.1.3 Αλόφιες λόχμες	1420
			4.2.1.4 Αλο-νιτρόφιες λόχμες	1430
			4.2.1.5 Αλατούχες στέπες	1510
		4.2.2 Αλυκές	4.2.2.1 Αλυκές	1440
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Ροές υδάτων	5.1.1.1 Ποταμοί μόνιμης ροής χωρίς βλάστηση	1063
			5.1.1.2 Παρόχθια δενδρώδης βλάστηση μεγάλων υψομέτρων	3240
			5.1.1.3 Ποταμοί μόνιμης ροής με <i>Glaucium flavum</i>	3250

1ο Επίπεδο	2ο Επίπεδο	3ο Επίπεδο	4ο Επίπεδο	Τύποι Οικοτόπων
			5.1.1.4 Φυσικό ή τεχνητό κανάλι με βλάστηση Ranunculionfluitantis, Callitricho-Batrachion)	3260
			5.1.1.5 Ποταμοί μόνιμης ροής με δενδρώδη βλάστηση	3280
			5.1.1.6 Ποταμοί περιοδικής ροής χωρίς βλάστηση	1064
			5.1.1.7 Ποταμοί περιοδικής ροής με βλάστηση μονοετών ειδών	3290
				32B0
		5.1.2 Συλλογές στάσιμου ύδατος	5.1.2.1 Στάσιμα oligo-μεσοτροφικά ύδατα	3130
			5.1.2.2 Συλλογές υδάτων	1080
			5.1.2.3 Σκληρά oligo-μεσοτροφικά ύδατα	3140
			5.1.2.4 Ευτροφικές φυσικές λίμνες	3150
			5.1.2.5 Εποχικά τέλματα	3170
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες	5.2.1.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες	1150
		5.2.2 Εκβολές ποταμών	5.2.2.1 Εκβολές ποταμών	1130
		5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί	5.2.3.1 Θάλασσες και ωκεανοί	1160
				1170

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ**  
**ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΕΚ**

ΚΩΔΙΚΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΑΚΙΝΗΤΟΥ	1 <sup>ο</sup> ΕΠΙΠΕΔΟ		2 <sup>ο</sup> ΕΠΙΠΕΔΟ	
	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ
1100	Καλλιέργεια	11	Καλλιέργεια	00
1110			Δενδρώδης	10
1111			Δενδρώδης- Αμπελώνας	11
1112			Δενδρώδης - Ελαιώνας	12
1113			Δενδρώδης - Εσπεριδοειδή	13
1114			Δενδρώδης - άλλη	14
1120			Αροτραία έκταση	20
1121			Αροτραία έκταση- Αρδευόμενη	21
1122			Αροτραία έκταση- Μη αρδευόμενη	22
1200	Ζωοτροφία - Ιχθυοτροφία	12	Ζωοτροφία - Ιχθυοτροφία	00
1210			Κτηνοτροφία - Πτηνοτροφία	10
1220			Ιχθυοτροφία	20
1300	Δασοκομία	13	Δασοκομία	00
1310			Χορτολιβαδική	10
1320			Θαμνώδης	20
1330			Δασώδης	30
1400	Εξόρυξη	14	Εξόρυξη	00
1410			Λατομείο	10
1420			Αλκική	20
1430			Μεταλλείο - Ορυχείο	30
1500	Ακάλυπτη έκταση	15	Ακάλυπτη έκταση	00
2100	Βιομηχανία/ βιοτεχνία	21	Βιομηχανία/ βιοτεχνία	00
2200	Ενέργεια	22	Ενέργεια	00
3100	Εμπόριο	31	Εμπόριο	00
3200	Υπηρεσία	32	Υπηρεσία	00
3210			Κοινοφελής υπηρεσία – Διοίκηση	10
3220			Τράπεζα – Γραφείο – Επιχείρηση	20
3230			Ξενοδοχείο – Εστιατόριο	30
3240			Υγεία	40
3250			Πρόνοια	50
3260			Εκπαίδευση – Επιστήμη	60
3300	Πολιτισμός	33	Πολιτισμός	00
3310			Αρχαιολογικός – Ιστορικός χώρος	10
3320			Πολιτιστικός χώρος	20
3330			Θρησκευτικός χώρος	30
3400	Αθλητισμός - Αναψυχή	34	Αθλητισμός - Αναψυχή	00
3410			Αθλητισμός	10
3420			Αναψυχή	20
3500	Τηλεπικοινωνία	35	Τηλεπικοινωνία	00
3600	Άμυνα	36	Άμυνα	00
4000	Κατοικία	40	Κατοικία	00
5100	Οδικό δίκτυο	51	Οδικό δίκτυο	00
5110			Εθνική οδός	10
5120			Επαρχιακός δρόμος	20
5130			Οδός	30

ΚΩΔΙΚΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΑΚΙΝΗΤΟΥ	1° ΕΠΙΠΕΔΟ		2° ΕΠΙΠΕΔΟ	
	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ
5140			Πεζόδρομος	40
5150			Αγροτικός-δασικός δρόμος	50
5160			Μονοπάτι	60
5200	Σιδηρόδρομος	52	Σιδηρόδρομος	00
5300	Διασταύρωση	53	Διασταύρωση	00
5310			Ισόπεδη	10
5320			Ανισόπεδη	20
5400	Σταθμός χειρσαίων μεταφορικών μέσων	54	Σταθμός χειρσαίων μεταφορικών μέσων	00
5500	Λιμάνι	55	Λιμάνι	00
5600	Αεροδρόμιο	56	Αεροδρόμιο	00
5700	Χώρος στάθμευσης οχημάτων	57	Χώρος στάθμευσης οχημάτων	00
6100	Ποταμός, κανάλι, ρέμα	61	Ποταμός, κανάλι, ρέμα	00
6200	Έλος, λίμνη	62	Έλος, λίμνη	00
6300	Αιγιαλός	63	Αιγιαλός	00
6400	Παραλία	64	Παραλία	00
6500	Παρόχθια ζώνη	65	Παρόχθια ζώνη	00
7100	Αστικός αδόμητος χώρος	71	Αστικός αδόμητος χώρος	00
7200	Αποθηκευτικός χώρος	72	Αποθηκευτικός χώρος	00
7300	Άλλος Κοινόχρηστος χώρος	73	Άλλος κοινόχρηστος χώρος	00
7400	Χώρος επεξεργασίας λυμάτων	74	Χώρος επεξεργασίας λυμάτων	00
7500	Εδικές χρήσεις	75	Εδικές χρήσεις	00
7510			Νεκροταφείο	10
7520			Πρατήρια καυσίμων	20
7600	Άλλος χώρος	76	Άλλος χώρος	00

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η**  
**ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΟΡΦΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΕΙΝΙΑΙΑ**  
**ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΥΠΟΠΑΘΡΑ ΤΟΥ ΕΚ**

Επίπεδο 1		Επίπεδο 2		Επίπεδο 3	
<b>1</b>	Τεχνητές επιφάνειες	<b>11</b>	Αστικός ιστός		
				<b>111</b>	Συνεχής αστικός ιστός
				<b>112</b>	Ασυνεχής αστικός ιστός
		<b>12</b>	Βιομηχανικές - εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών		
				<b>121</b>	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες
				<b>122</b>	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα
				<b>123</b>	Ζώνες λιμένων
				<b>124</b>	Αεροδρόμια
				<b>125</b>	Ασυνεχείς εγκαταστάσεις/κατασκευές
		<b>13</b>	Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι δόμησης		
				<b>131</b>	Χώροι εξορύξεως ορυκτών
				<b>132</b>	Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων
				<b>133</b>	Χώροι δόμησης
		<b>14</b>	Τεχνητές επιφάνειες πρασίνου		
				<b>141</b>	Αστικές περιοχές πρασίνου
				<b>142</b>	Αθλητικές εγκαταστάσεις και χώροι αναψυχής
		<b>15</b>	Άλλες τεχνητές επιφάνειες		
				<b>151</b>	Πηγές ενέργειας και δίκτυα
				<b>152</b>	Χώροι πολιτισμού
				<b>153</b>	Θρησκευτικοί χώροι
				<b>154</b>	Επικοινωνίες
<b>2</b>	Γεωργικές περιοχές	<b>21</b>	Αρόσιμη γη		
				<b>211</b>	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
				<b>212</b>	Αρδευόμενη αρόσιμη γη
				<b>213</b>	Ορυζώνες
				<b>214</b>	Εγκαταλειμμένοι αγροί
		<b>22</b>	Μόνιμες καλλιέργειες		
				<b>221</b>	Αμπελώνες
				<b>222</b>	Οπωροφόρα δένδρα
				<b>223</b>	Ελαιώνες
				<b>224</b>	Φυτείες
<b>3</b>	Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	<b>31</b>	Δάση		
				<b>311</b>	Δάσος πλατυφύλλων
				<b>312</b>	Δάσος κωνοφόρων
				<b>313</b>	Μικτό δάσος πλατυφύλλων-κωνοφόρων
				<b>314</b>	Μικτό δάσος πλατυφύλλων
				<b>315</b>	Μικτό δάσος πλατυφύλλων-φυσικών λιβαδιών
				<b>316</b>	Υλοτομίες
				<b>317</b>	Μικτό δάσος κωνοφόρων-φυσικών λιβαδιών
				<b>318</b>	Μικτό δάσος πλατυφύλλων-θαμνώνων
				<b>319</b>	Μικτό δάσος κωνοφόρων-θαμνώνων
		<b>32</b>	Συνδυασμοί θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης		

Επίπεδο 1		Επίπεδο 2		Επίπεδο 3	
				321	Θαμνώνες
				322	Μικτοί θαμνώνες
				323	Μικτοί θαμνώνες-φυσικά λιβάδια
				324	Φυσικά λιβάδια
4	Ανοικτοί χώροι	41	Ανοικτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση		
				411	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές
				412	Απογυμνωμένοι βράχοι
				413	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
				414	Αποτεφρωμένες εκτάσεις
				415	Γυμνό έδαφος
5	Υγρότοποι	51	Υγρότοποι ενδοχώρας		
				511	Βάλτοι στην ενδοχώρα
				512	Υδροχαρή βλάστηση
				513	Υψηλά βούρλα
				514	Υγρά λιβάδια
				515	Υγροτοπικοί θαμνώνες
		52	Παράκτιοι υγρότοποι		
				521	Παράκτιοι βάλτοι
				522	Αλυκές
				523	Παράκτιες ζώνες κατακλυζόμενες από θαλάσσια ύδατα
6	Υδάτινες ροές και επιφάνειες	61	Χερσαίες ροές υδάτων		
				611	Μόνιμες εκβολές στην ενδοχώρα
				612	Μόνιμες ροές ποταμών/ρεμάτων και καταρράκτες
				613	Εποχιακές ροές ποταμών/ρεμάτων/χειμάρρων
				614	Τεχνητά/φυσικά κανάλια
		62	Χερσαίες υδάτινες επιφάνειες		
				621	Μόνιμες λίμνες
				622	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες και επίπεδα
				623	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών
				624	Πηγές υδάτων
				625	Υδατοκαλλιέργειες
				626	Χώροι στάσιμων υδάτων
				627	Συλλογές υδάτων
				628	Χώροι επεξεργασίας αποβλήτων υδάτων
		63	Θαλάσσια ύδατα		
				631	Παράκτιες λιμνοθάλασσες
				632	Εκβολές ποταμών
				633	Θάλασσες και ωκεανοί

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ  
ΑΚΡΙΒΕΙΕΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΟΡΦΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ/ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ

Πίνακας Θ-1. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 6: 2-7) στο σύνολο της περιοχής, θέρος 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	75	10	0	0	0	0	0	0	85	88.24%	0.8731
Αρόσιμη γη	12	339	0	0	0	20	0	0	371	91.37%	0.8782
Αρδευόμενη γη	1	0	73	4	0	6	0	0	84	86.90%	0.8599
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	7	169	4	9	5	0	194	87.11%	0.8484
Δάσος κωνοφόρων	0	1	0	3	52	2	0	0	58	89.66%	0.8913
Θαμνώνες	4	18	1	12	5	344	2	0	386	89.12%	0.8437
Καλαμώνες	0	0	1	1	0	2	22	0	26	84.62%	0.8425
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	56	56	100.00%	1
Σύνολο	92	368	82	189	61	383	29	56	1.260	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	81.52%	92.12%	89.02%	89.42%	85.25%	89.82%	75.86%	100.00%		89,68%	0,8684

Πίνακας Θ-2. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 6: 2-7, EVI, NDMI) στο σύνολο της περιοχής, θέρους 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	76	6	0	0	0	0	0	0	82	92.68%	0.9211
Αρόσιμη γη	15	343	0	1	0	16	0	0	375	91.47%	0.8795
Αρδευόμενη γη	1	0	73	5	0	5	0	0	84	86.90%	0.8599
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	7	168	3	9	6	0	193	87.05%	0.8476
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	3	52	2	1	0	58	89.66%	0.8913
Θαμνώνες	0	19	1	11	6	350	1	0	388	90.21%	0.8593
Καλαμώνες	0	0	1	1	0	1	21	0	24	87.50%	0.8721
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	56	56	100.00%	1
Σύνολο	92	368	82	189	61	383	29	56	1260	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	82.61%	93.21%	89.02%	88.89%	85.25%	91.38%	72.41%	100.00%		90.40%	0.8773



Πίνακας Θ-3. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 12: 2-7) στο σύνολο της περιοχής, θέρους και χειμώνας 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	72	8	0	0	0	0	0	0	80	90.00%	0.8921
Αρόσιμη γη	19	351	0	1	0	28	0	0	399	87.97%	0.8301
Αρδευόμενη γη	0	0	79	6	0	5	0	0	90	87.78%	0.8693
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	1	165	4	11	4	0	185	89.19%	0.8728
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	4	52	0	0	0	56	92.86%	0.9249
Θαμνώνες	1	9	1	10	5	337	6	0	369	91.33%	0.8754
Καλαμώνες	0	0	1	3	0	1	19	0	24	79.17%	0.7868
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	1	0	56	57	98.25%	0.9816
Σύνολο	92	368	82	189	61	383	29	56	1.260	ΟΑ	ΣΚ
AK	78.26%	95.38%	96.34%	87.30%	85.25%	87.99%	65.52%	100.00%		89,76%	0,8692

Πίνακας Θ-4. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 12: 2-7, EVI, NDMI) στο σύνολο της περιοχής, θέρους και χειμώνας 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	72	5	0	0	0	0	0	0	77	93.51%	0.9300
Αρόσιμη γη	17	354	0	1	0	18	0	0	390	90.77%	0.8696
Αρδευόμενη γη	0	0	80	5	0	4	0	0	89	89.89%	0.8918
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	1	166	5	10	1	0	183	90.71%	0.8907
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	4	52	1	0	0	57	91.23%	0.9078
Θαμνώνες	3	9	1	12	4	348	1	0	378	92.06%	0.8860
Καλαμώνες	0	0	0	1	0	2	27	0	30	90.00%	0.8976
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	56	56	100.00%	1
Σύνολο	92	368	82	189	61	383	29	56	1.260	ΟΑ	
ΑΚ	78.26%	96.20%	97.56%	87.83%	85.25%	90.86%	93.10%	100.00%		91,67%	0,8936

Πίνακας Θ-5. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 6: 2-7) στο σύνολο της περιοχής, θέρους 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	76	7	1	0	0	0	0	0	84	90.48%	0.8973
Αρόσιμη γη	11	337	0	0	0	14	0	0	362	93.09%	0.9024
Αρδευόμενη γη	1	0	71	2	0	3	0	0	77	92.21%	0.9167
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	10	170	7	13	15	0	215	79.07%	0.7538
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	4	50	1	3	0	58	86.21%	0.8551
Θαμνώνες	4	24	0	13	4	352	1	0	398	88.44%	0.8339
Καλαμώνες	0	0	0	0	0	0	10	0	10	100.00%	1
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	56	56	100.00%	1
Σύνολο	92	368	82	189	61	383	29	56	1260	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	82.61%	91.58%	86.59%	89.95%	81.97%	91.91%	34.48%	100.00%		89,05%	0.8598

Πίνακας Θ-6. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 6: 2-7, EVI, NDMI) στο σύνολο της περιοχής, θέρος 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	76	7	0	0	0	0	0	0	83	91.57%	0.9090
Αρόσιμη γη	13	335	0	0	0	11	0	0	359	93.31%	0.9056
Αρδευόμενη γη	1	0	72	3	0	2	0	0	78	92.31%	0.9177
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	9	169	5	13	15	0	211	80.09%	0.7658
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	4	51	2	4	0	61	83.61%	0.8277
Θαμνώνες	2	26	1	13	5	355	1	0	403	88.09%	0.8289
Καλαμώνες	0	0	0	0	0	0	9	0	9	100.00%	1
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	56	56	100.00%	1
Σύνολο	92	368	82	189	61	383	29	56	1.260	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	82.61%	91.03%	87.80%	89.42%	83.61%	92.69%	31.03%	100.00%		89,13%	0,8608

Πίνακας Θ-7. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 12: 2-7) στο σύνολο της περιοχής, θέρους και χειμώνας 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	86	7	0	0	0	0	0	0	93	92.47%	0.9188
Αρόσιμη γη	3	348	0	1	0	8	0	0	360	96.67%	0.9529
Αρδευόμενη γη	0	0	78	1	0	2	0	0	81	96.30%	0.9604
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	2	173	8	22	0	9	214	80.84%	0.7746
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	2	48	0	0	0	50	96.00%	0.9580
Θαμνώνες	3	13	2	11	5	349	0	0	383	91.12%	0.8725
Καλαμώνες	0	0	0	1	0	2	0	20	23	86.96%	0.8665
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	56	0	56	100.00%	1
Σύνολο	92	368	82	189	61	383	56	29	1.260	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	93.48%	94.57%	95.12%	91.53%	78.69%	91.12%	68.97%	100.00%		91.90%	0.8968

Πίνακας Θ-8. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 12: 2-7, EVI, NDMI) στο σύνολο της περιοχής, θέρος και χειμώνας 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	88	6	0	0	0	0	0	0	94	93.62%	0.9311
Αρόσιμη γη	3	350	0	1	0	8	0	0	362	96.69%	0.9532
Αρδευόμενη γη	0	0	78	2	0	2	0	0	82	95.12%	0.9478
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	2	172	7	18	4	0	203	84.73%	0.8203
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	2	49	0	0	0	51	96.08%	0.9588
Θαμνώνες	1	12	2	12	5	355	1	0	388	91.49%	0.8778
Καλαμώνες	0	0	0	0	0	0	24	0	24	100.00%	1
Μόνιμες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	56	56	100.00%	
Σύνολο	92	368	82	189	61	383	29	56	1.260	ΟΑ	
ΑΚ	95.65%	95.11%	95.12%	91.01%	80.33%	92.69%	82.76%	100.00%		93,02%	0,9109

Πίνακας Θ-9. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 6: 2-7) στο σύνολο της περιοχής, θέρους 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	85	13	1	1	1	1	0	0	102	83.33%	0.8202
Αρόσιμη γη	7	343	0	0	0	7	0	0	357	96.08%	0.9446
Αρδευόμενη γη	0	0	77	3	0	0	0	0	80	96.25%	0.9599
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	1	160	2	9	0	0	172	93.02%	0.9179
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	9	57	9	0	0	75	76.00%	0.7478
Θαμνώνες	0	12	0	12	1	350	0	0	375	93.33%	0.9042
Καλαμώνες	0	0	3	4	0	7	29	2	45	64.44%	0.6361
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	54	54	100.00%	1
Σύνολο	92	368	82	189	61	383	29	56	1260	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	92.39%	93.21%	93.90%	84.66%	93.44%	91.38%	100.00%	96.43%		91.67%	0.8946

Πίνακας Θ-10. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 6: 2-7, EVI, NDMI) στο σύνολο της περιοχής, θέρος 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	87	16	1	1	0	1	0	0	106	82.08%	0.8066
Αρόσιμη γη	3	332	0	0	0	9	0	0	344	96.51%	0.9507
Αρδευόμενη γη	0	0	78	5	0	1	0	0	84	92.86%	0.9236
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	2	159	2	9	1	0	173	91.91%	0.9048
Δάσος κωνοφόρων	0	1	0	12	58	8	0	0	79	73.42%	0.7207
Θαμνώνες	2	19	0	10	1	349	0	0	381	91.60%	0.8793
Καλαμώνες	0	0	1	2	0	6	28	1	38	73.68%	0.7306
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	55	55	100.00%	1
Σύνολο	92	368	82	189	61	383	29	56	1.260	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	94.57%	90.22%	95.12%	84.13%	95.08%	91.12%	96.55%	98.21%		90,95%	0,8857



Πίνακας Θ-11. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 12: 2-7) στο σύνολο της περιοχής, θέρος και χειμώνας 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	89	10	1	6	1	4	0	0	111	80.18%	0.7862
Αρόσιμη γη	1	345	0	1	0	3	0	0	350	98.57%	0.9798
Αρδευόμενη γη	0	0	81	5	0	0	0	0	86	94.19%	0.9378
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	0	157	0	12	0	0	169	92.90%	0.9165
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	13	60	17	0	0	90	66.67%	0.6497
Θαμνώνες	2	13	0	5	0	340	0	0	360	94.44%	0.9202
Καλαμώνες	0	0	0	2	0	7	29	1	39	74.36%	0.7375
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	55	55	100.00%	1
Σύνολο	92	368	82	189	61	383	29	56	1.260	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	96.74%	93.75%	98.78%	83.07%	98.36%	88.77%	100.00%	98.21%		91.75%	0.8962

Πίνακας Θ-12. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 12: 2-7, EVI, NDMI) στο σύνολο της περιοχής, θέρος και χειμώνας, 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	92	15	1	4	0	2	0	0	114	80.70%	0.7918
Αρόσιμη γη	0	341	0	1	0	5	0	0	347	98.27%	0.9756
Αρδευόμενη γη	0	0	81	5	0	2	0	0	88	92.05%	0.9149
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	0	158	1	8	0	0	167	94.61%	0.9366
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	11	59	11	0	0	81	72.84%	0.7146
Θαμνώνες	0	12	0	8	1	350	0	0	371	94.34%	0.9187
Καλαμώνες	0	0	0	2	0	5	29	1	37	78.38%	0.7787
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	55	55	100.00%	1
Σύνολο	92	368	82	189	61	383	29	56	1.260	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	100.00%	92.66%	98.78%	83.60%	96.72%	91.38%	100.00%	98.21%		92,46%	0,905

Πίνακας Θ-13. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 6: 1-5, 7) στο σύνολο της περιοχής, θέρους 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	102	6	0	0	0	3	0	0	0	3	114	89,47%	0,8863
Αρόσιμη γη	11	461	0	1	0	37	0	0	0	0	510	90,39%	0,8605
Αρδευόμενη γη	1	4	92	4	0	1	7	0	0	0	109	84,40%	0,8315
Δάσος πλατυφύλλων	0	1	26	202	2	9	8	0	0	0	248	81,45%	0,7861
Δάσος κωνοφόρων	0	1	0	1	56	0	2	0	0	0	60	93,33%	0,9307
Θαμνώνες	1	28	1	6	4	429	0	0	0	0	469	91,47%	0,8782
Καλαμώνες	0	0	1	0	0	4	28	0	0	0	33	84,85%	0,8441
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	28	100,00 %	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	13	100,00 %	1
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	5	1	0	0	0	0	0	1	0	21	28	75,00%	0,7462
Σύνολο	120	502	120	214	62	483	45	29	13	24	1612	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	85,00%	91,83%	76,67%	94,39%	90,32%	88,82%	62,22%	96,55%	100,00%	87,50%		88,83%	0,857

Πίνακας Θ-14. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 6: 1-5, 7, EVI, NDMI) στο σύνολο της περιοχής, θέρους 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	112	18	0	0	0	9	0	0	0	2	141	79.43%	0.7778
Αρόσιμη γη	2	442	0	1	0	22	0	0	0	0	467	94.65%	0.9243
Αρδευόμενη γη	0	5	112	8	0	4	3	0	0	0	132	84.85%	0.7892
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	5	185	0	7	1	0	0	0	198	93.43%	0.9223
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	10	59	4	1	0	0	0	74	79.73%	1
Θαμνώνες	2	37	1	6	3	432	0	0	0	0	481	89.81%	0.8363
Καλαμώνες	0	0	2	4	0	5	40	0	0	0	51	78.43%	0.7781
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	28	100.00%	0.8048
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1	14	92.86%	0.9280
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	4	0	0	0	0	0	0	1	0	21	26	80.77%	0.8545
Σύνολο	120	502	120	214	62	483	45	29	13	24	1612	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	93.33%	88.05%	93.33%	86.45%	95.16%	89.44%	88.89%	96.55%	100.00%	87.50%		89.58%	0.8678

Πίνακας Θ-15. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 12: 1-5, 7) στο σύνολο της περιοχής, θέρος και χειμώνας 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	101	0	0	0	0	0	0	0	0	8	109	92.66%	0.9207
Αρόσιμη γη	17	464	0	1	0	54	0	0	0	0	536	86.57%	0.8049
Αρδευόμενη γη	0	4	112	3	0	1	4	0	0	0	124	90.32%	0.8954
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	6	198	5	8	5	0	0	0	222	89.19%	0.8753
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	2	53	0	0	0	0	0	55	96.36%	0.9622
Θαμνώνες	2	34	1	9	4	416	1	0	0	0	467	89.08%	0.8441
Καλαμώνες	0	0	1	1	0	4	35	0	0	0	41	85.37%	0.8495
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	28	100.00%	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1	14	92.86%	0.9280
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15	16	93.75%	0.9366
Σύνολο	120	502	120	214	62	483	45	29	13	24	1612	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	84.17%	92.43%	93.33%	92.52%	85.48%	86.13%	77.78%	96.55%	100.00%	62.50%		89.02%	0.8589

Πίνακας Θ-16. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 12: 1-5, 7, EVI, NDMI) στο σύνολο της περιοχής, θέρος και χειμώνας 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	AX	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	97	0	0	4	0	0	0	3	0	4	108	89.81%	0.8900
Αρόσιμη γη	0	200	5	0	0	2	4	0	0	8	219	90.08%	0.8559
Αρδευόμενη γη	0	2	51	0	0	0	0	0	0	1	54	90.70%	0.8995
Δάσος πλατυφύλλων	19	1	0	463	0	0	0	0	0	31	514	91.32%	0.9000
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	28	94.44%	0.9422
Θαμνώνες	1	3	0	5	0	117	2	0	0	1	129	90.61%	0.8659
Καλαμώνες	0	1	0	0	0	0	38	0	0	4	43	88.37%	0.8804
Μόνιμες Λίμνες	3	0	0	0	1	0	0	21	0	0	25	100.00%	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	13	100.00%	1
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	0	7	6	30	0	1	1	0	0	434	479	84.00%	0.8376
Σύνολο	120	214	62	502	29	120	45	24	13	483	1612		
AK	80.83%	92.23%	97.50%	93.46%	82.26%	89.86%	84.44%	96.55%	100.00%	87.50%		90.69%	0.8807

Πίνακας Θ-17. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 6: 1-5, 7) στο σύνολο της περιοχής, θέρους 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	97	3	0	0	0	2	1	0	0	3	106	91,51%	0,9083
Αρόσιμη γη	15	446	0	1	0	34	0	0	0	0	496	89,92%	0,8536
Αρδευόμενη γη	0	3	103	5	0	0	4	0	0	0	115	89,57%	0,8873
Δάσος πλατυφύλλων	0	1	16	197	4	9	3	0	0	0	230	85,65%	0,8346
Δάσος κωνοφόρων	0	1	0	2	53	1	2	0	0	0	59	89,83%	0,8942
Θαμνώνες	2	47	1	9	5	434	1	0	0	0	499	86,97%	0,8140
Καλαμώνες	0	0	0	0	0	3	34	0	0	0	37	91,89%	0,9166
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	28	100,00%	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1	14	92,86%	0,9280
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	6	1	0	0	0	0	0	1	0	20	28	71,43%	0,7100
Σύνολο	120	502	120	214	62	483	45	29	13	24	1612	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	80,83%	88,84%	85,83%	92,06%	85,48%	89,86%	75,56%	96,55%	100,00%	83,33%		88,40%	0,8512

Πίνακας Θ-18. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 6: 1-5, 7, EVI, NDMI) στο σύνολο της περιοχής, θέρος 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	99	3	0	0	0	2	0	0	0	2	106	93,40%	0,9287
Αρόσιμη γη	13	450	0	0	0	27	0	0	0	0	490	91,84%	1
Αρδευόμενη γη	0	3	103	5	0	0	5	0	0	0	116	88,79%	0,8789
Δάσος πλατυφύλλων	0	1	16	196	4	9	3	0	0	0	229	85,59%	0,8338
Δάσος κωνοφόρων	0	2	0	2	53	1	2	0	0	0	60	88,33%	0,8787
Θαμνώνες	3	43	1	11	5	441	2	0	0	0	506	87,15%	0,8166
Καλαμώνες	0	0	0	0	0	3	33	0	0	0	36	91,67%	0,9143
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	28	100,00%	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1	14	92,86%	0,9280
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	5	0	0	0	0	0	0	1	0	21	27	77,78%	0,7744
Σύνολο	120	502	120	214	62	483	45	29	13	24	1612	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	82.50%	89.64%	85.83%	91.59%	85.48%	91.30%	73.33%	96.55%	100.00%	87.50%		89,14%	0.8607



Πίνακας Θ-19. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 12: 1-5, 7) στο σύνολο της περιοχής, θέρους και χειμώνας 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	94	6	0	0	0	0	0	0	0	3	103	91.26%	0.9056
Αρόσιμη γη	21	446	0	1	0	36	0	0	0	0	504	88.49%	0.8329
Αρδευόμενη γη	0	4	112	2	0	0	2	0	0	0	120	93.33%	0.9280
Δάσος πλατυφύλλων	0	1	6	201	4	11	4	0	0	0	227	88.55%	0.8679
Δάσος κωνοφόρων	0	1	0	2	54	1	0	0	0	0	58	93.10%	0.9283
Θαμνώνες	1	44	1	8	4	431	1	0	0	0	490	87.96%	0.8281
Καλαμώνες	0	0	1	0	0	4	38	0	0	0	43	88.37%	0.8804
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	28	100.00%	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1	14	92.86%	0.9280
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	4	0	0	0	0	0	0	1	0	20	25	80.00%	0.7970
Σύνολο	120	502	120	214	62	483	45	29	13	24	1612	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	78.33%	88.84%	93.33%	93.93%	87.10%	89.23%	84.44%	96.55%	100.00%	83.33%		89.14%	0.8608

Πίνακας Θ-20. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 12: 1-5, 7, EVI, NDMI) στο σύνολο της περιοχής, θέρος και χειμώνας 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	93	3	0	0	0	0	0	0	0	2	98	94.90%	0.9449
Αρόσιμη γη	21	448	0	1	0	28	0	0	0	0	498	89.96%	0.8542
Αρδευόμενη γη	0	5	112	2	0	0	2	0	0	0	121	92.56%	0.9196
Δάσος πλατυφύλλων	0	1	6	200	8	12	2	0	0	0	229	87.34%	0.8540
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	3	51	1	0	0	0	0	55	92.73%	0.9244
Θαμνώνες	2	45	1	8	3	438	1	0	0	0	498	87.95%	0.8280
Καλαμώνες	0	0	1	0	0	4	40	0	0	0	45	88.89%	0.8857
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	28	100.00%	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1	14	92.86%	0.9280
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	4	0	0	0	0	0	0	1	0	21	26	80.77%	0.8048
Σύνολο	120	502	120	214	62	483	45	29	13	24	1612	OA	ΣΚ
AK	77.50%	89.24%	93.33%	93.46%	82.26%	90.68%	88.89%	96.55%	100.00%	87.50%		89.58%	0.8663

Πίνακας Θ-21. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 6: 1-5, 7) στο σύνολο της περιοχής, θέρους 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	117	16	0	0	1	15	1	0	0	1	151	77.48%	0.7567
Αρόσιμη γη	1	445	0	1	0	18	0	0	0	0	465	95.70%	0.9375
Αρδευόμενη γη	0	6	108	9	0	0	2	0	0	0	125	86.40%	0.8531
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	5	184	0	8	1	0	0	0	198	92.93%	0.9185
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	8	58	5	1	0	0	0	72	80.56%	0.7978
Θαμνώνες	1	35	1	7	3	432	0	0	0	0	479	90.19%	0.8599
Καλαμώνες	0	0	6	5	0	5	40	0	0	0	56	71.43%	0.7061
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	28	100.00%	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	13	100.00%	1
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	1	0	0	0	0	0	0	1	0	23	25	92.00%	0.9188
Σύνολο	120	502	120	214	62	483	45	29	13	24	1612	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	97.50%	88.65%	90.00%	85.98%	93.55%	89.44%	88.89%	96.55%	100.00%	95.83%		89.83%	0.8710

Πίνακας Θ-22. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 6: 1-5, 7, EVI, NDMI) στο σύνολο της περιοχής, θέρους 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	112	18	0	0	0	9	0	0	0	2	141	79.43%	0.7778
Αρόσιμη γη	2	442	0	1	0	22	0	0	0	0	467	94.65%	0.9243
Αρδευόμενη γη	0	5	112	8	0	4	3	0	0	0	132	84.85%	0.7892
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	5	185	0	7	1	0	0	0	198	93.43%	0.9223
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	10	59	4	1	0	0	0	74	79.73%	1
Θαμνώνες	2	37	1	6	3	432	0	0	0	0	481	89.81%	0.8363
Καλαμώνες	0	0	2	4	0	5	40	0	0	0	51	78.43%	0.7781
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	28	100.00%	0.8048
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1	14	92.86%	0.9280
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	4	0	0	0	0	0	0	1	0	21	26	80.77%	0.8545
Σύνολο	120	502	120	214	62	483	45	29	13	24	1612		
ΑΚ	93.33%	88.05%	93.33%	86.45%	95.16%	89.44%	88.89%	96.55%	100.00%	87.50%		89.58%	0.8678

Πίνακας Θ-23. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 12: 1-5, 7) στο σύνολο της περιοχής, θέρους και χειμώνας 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	119	14	0	0	1	8	0	0	0	1	143	83.22%	0.8187
Αρόσιμη γη	0	452	0	2	0	14	0	0	0	0	468	96.58%	0.9504
Αρδευόμενη γη	0	7	120	3	0	1	2	0	0	0	133	90.23%	0.8944
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	0	190	0	7	0	0	0	0	197	96.45%	0.9590
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	13	58	3	0	0	0	0	74	78.38%	0.7751
Θαμνώνες	0	29	0	6	3	446	1	0	0	0	485	91.96%	0.8852
Καλαμώνες	0	0	0	0	0	4	42	0	0	0	46	91.30%	0.9105
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	28	100.00%	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	13	100.00%	1
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	1	0	0	0	0	0	0	1	0	23	25	92.00%	0.9188
Σύνολο	120	502	120	214	62	483	45	29	13	24	1612	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	99.17%	90.04%	100.00%	88.79%	93.55%	92.34%	93.33%	96.55%	100.00%	95.83%		92.49%	0.9047

Πίνακας Θ-24. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 12: 1-5, 7, EVI, NDMI) στο σύνολο της περιοχής, θέρος και χειμώνας 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Καλαμώνες	Μόνιμες Λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	AX	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	117	17	0	0	0	3	0	0	0	1	138	84.78%	0.8356
Αρόσιμη γη	1	451	0	2	0	19	0	0	0	0	473	95.35%	0.9325
Αρδευόμενη γη	0	7	118	2	0	3	2	0	0	0	132	89.39%	0.8854
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	0	190	0	6	0	0	0	0	196	96.94%	0.9647
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	11	58	3	0	0	0	0	72	80.56%	0.7978
Θαμνώνες	0	27	1	9	4	445	0	0	0	0	486	91.56%	0.8795
Καλαμώνες	0	0	1	0	0	4	43	0	0	0	48	89.58%	0.8928
Μόνιμες Λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	28	100.00%	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1	14	92.86%	0.9280
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	2	0	0	0	0	0	0	1	0	22	25	88.00%	0.8782
Σύνολο	120	502	120	214	62	483	45	29	13	24	1612	OA	ΣΚ
AK	97.50%	89.84%	98.33%	88.79%	93.55%	92.13%	95.56%	96.55%	100.00%	91.67%		92.12%	0.8998

Πίνακας Θ-25. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 2-7, EVI, NDMI) σε επίπεδο δασών, θέρος 2018.

Κατηγορία	Δάσος πλατύφυλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Σύνολο	AX	ΣΚ
Δάσος πλατύφυλλων	158	5	13	176	89.77%	0.8537
Δάσος κωνοφόρων	4	52	0	56	92.86%	0.9199
Θαμνώνες	8	4	321	333	96.40%	0.9119
Σύνολο	170	61	334	565	OA	ΣΚ
AK	92.94%	85.25%	96.11%		93.98%	0.8900

Πίνακας Θ-26. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 2-7, EVI, NDMI) σε επίπεδο υγροτόπων, θέρος 2018.

Κατηγορία	Καλαμώνες	Υγροτοπικοί θαμνώνες	Μόνιμες λίμνες	Σύνολο	AX	ΣΚ
Καλαμώνες	0	27	0	27	100.00%	1
Υγροτοπικοί θαμνώνες	0	2	10	12	83.33%	0.8135
Μόνιμες λίμνες	55	0	0	55	100.00%	1
Σύνολο	55	29	10	94	OA	ΣΚ
AK	93.10%	100.00%	100.00%		97.87%	0.9617

Πίνακας Θ-27. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 2-7, EVI, NDMI) σε επίπεδο λοιπών μορφών κάλυψης γης, θέρος 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατύφυλλων	Θαμνώνες	Σύνολο	AX	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	76	8	0	0	0	84	90.48%	0.8875
Αρόσιμη γη	15	356	0	1	2	375	94.93%	0.8697
Αρδευόμενη γη	1	0	79	5	4	89	88.76%	0.8698
Φυτείες δασικών ειδών	0	0	2	8	0	10	80.00%	0.7934
Θαμνώνες	0	2	1	5	33	41	80.49%	0.7913
Σύνολο	92	366	82	19	39	599	OA	ΣΚ
AK	82.61%	97.34%	96.34%	42.11%	84.62%		92.15%	0.8625

Πίνακας Θ-28. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 2-7, EVI, NDMI) σε επίπεδο δασών, θέρους 2018.

Κατηγορία	Δάσος πλατύφυλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Σύνολο	AX	ΣΚ
Δάσος πλατύφυλλων	155	2	8	165	93.94%	0.9133
Δάσος κωνοφόρων	10	58	5	73	79.45%	0.7697
Θαμνώνες	5	1	321	327	98.17%	0.9551
Σύνολο	170	61	334	565	OA	ΣΚ
AK	91.18%	95.08%	96.11%		94.51%	0.9013

Πίνακας Θ-29. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 2-7, EVI, NDMI) σε επίπεδο υγροτόπων, θέρους 2018.

Κατηγορία	Καλαμώνες	Υγροτοπικοί θαμνώνες	Μόνιμες λίμνες	Σύνολο	AX	ΣΚ
Καλαμώνες	54	0	0	54	94.12%	0.9149
Υγροτοπικοί θαμνώνες	1	16	0	17	43.48%	0.3675
Μόνιμες λίμνες	0	13	10	23	100.00%	1
Σύνολο	55	29	10	94	OA	ΣΚ
AK	55.17%	100.00%	98.18%		85.11%	0.7441

Πίνακας Θ-30. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 2-7, EVI, NDMI) σε επίπεδο λοιπών μορφών κάλυψης γης, θέρους 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατύφυλλων	Θαμνώνες	Σύνολο	AX	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	87	1	23	1	2	115	75.65%	0.7123
Αρόσιμη γη	0	7	0	1	0	8	97.97%	0.9478
Αρδευόμενη γη	5	1	338	0	1	345	90.91%	0.8947
Φυτείες δασικών ειδών	0	6	0	80	2	88	87.50%	0.8709
Θαμνώνες	0	4	5	0	34	43	79.07%	0.7761
Σύνολο	92	19	366	82	39	599	OA	ΣΚ
AK	94.57%	92.35%	97.56%	36.84%	87.18%		91.15%	0.8509

Πίνακας Θ-31. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 2-7, EVI, NDMI)



σε επίπεδο δασών, θέρους 2018.

Κατηγορία	Δάσος πλατύφυλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Σύνολο	AX	ΣΚ
Δάσος πλατύφυλλων	162	7	7	176	92.05%	0.8862
Δάσος κωνοφόρων	3	51	0	54	94.44%	0.9377
Θαμνώνες	5	3	327	335	97.61%	0.9416
Σύνολο	170	61	334	565	OA	KΣ
AK	95.29%	83.61%	97.90%		95.58%	0.9189

Πίνακας Θ-32. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 2-7, EVI, NDMI) σε επίπεδο υγροτόπων, θέρους 2018.

Κατηγορία	Καλαμώνες	Υγροτοπικοί Θαμνώνες	Μόνιμες λίμνες	Σύνολο	AX	ΣΚ
Καλαμώνες	29	1	0	30	96.67%	0.9518
Υγροτοπικοί θαμνώνες	0	9	0	9	100.00%	1
Μόνιμες λίμνες	0	0	55	55	100.00%	1
Σύνολο	29	10	55	94	OA	ΣΚ
AK	100.00%	90.00%	100.00%		98.94%	0.9806

Πίνακας Θ-33. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 8 OLI (κανάλια 2-7, EVI, NDMI) σε επίπεδο λοιπών μορφών κάλυψης γης, θέρους 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατύφυλλων	Θαμνώνες	Σύνολο	AX	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	77	9	0	0	0	86	89.53%	0.8764
Αρόσιμη γη	14	351	0	2	2	369	95.12%	0.8746
Αρδευόμενη γη	1	0	79	7	11	98	80.61%	0.7754
Φυτείες δασικών ειδών	0	0	2	7	0	9	77.78%	0.7705
Θαμνώνες	0	6	1	3	26	36	72.22%	0.7029
Σύνολο	92	366	82	19	39	599	OA	ΣΚ
AK	83.70%	95.90%	96.34%	36.84%	66.67%		90.32%	0.8315

Πίνακας Θ-34. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 1-6, EVI, NDMI) σε επίπεδο δασών, θέρους 2008.

Κατηγορία	Δάσος πλατύφυλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Γυμνό έδαφος	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Δάσος πλατύφυλλων	71	0	11	0	82	86.59%	0.8215
Δάσος κωνοφόρων	2	17	5	0	24	70.83%	0.6880
Θαμνώνες	7	4	166	4	181	91.71%	0.8052
Γυμνό έδαφος	0	0	3	32	35	91.43%	0.9035
Σύνολο	80	21	185	36	322	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	88.75%	80.95%	89.73%	88.89%		88.82%	0.8127

Πίνακας Θ-35. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 1-6, EVI, NDMI) σε επίπεδο υγροτόπων, θέρους 2008.

Κατηγορία	Καλαμώνες	Υγρά λιβάδια	Υγροτοπικοί θαμνώνες	Μόνιμες λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Καλαμώνες	14	0	1	0	0	0	17	93.33%	0.9178
Υγρά λιβάδια	0	8	1	0	0	0	11	88.89%	0.8734
Υγροτοπικοί θαμνώνες	3	3	6	0	0	0	8	50.00%	0.4512
Μόνιμες λίμνες	0	0	0	27	0	0	27	100.00%	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	9	1	12	90.00%	0.8846
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	0	0	0	0	3	14	15	82.35%	0.7882
Σύνολο	17	11	8	27	12	15	90	ΟΑ	ΚΣ
ΑΚ	82.35%	72.73%	75.00%	100.00%	75.00%	93.33%		86.67%	0.8350

Πίνακας Θ-36. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 1-6, EVI, NDMI) λοιπών μορφών, θέρους 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Φυτείες δασικών ειδών	Θαμνώνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	64	2	0	0	0	66	96.97%	0.9609
Αρόσιμη γη	11	147	0	0	4	162	90.18%	0.8088
Αρδευόμενη γη	1	5	63	3	0	72	87.50%	0.8457
Φυτείες δασικών ειδών	0	1	0	15	0	16	93.75%	0.9338
Θαμνώνες	0	9	1	1	9	20	42.11%	0.3978
Σύνολο	76	164	64	19	13	336	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	84.21%	89.63%	98.44%	78.95%	61.54%		88.13%	0.8242

Πίνακας Θ-37. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 1-6, EVI, NDMI) σε επίπεδο δασών, θέρους 2008.

Κατηγορία	Δάσος πλατύφυλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Γυμνό έδαφος	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Δάσος πλατύφυλλων	0	71	0	7	78	91.03%	0.8806
Δάσος κωνοφόρων	0	5	18	17	40	45.00%	0.4116
Θαμνώνες	1	4	3	155	163	95.09%	0.8846
Γυμνό έδαφος	35	0	0	6	41	85.37%	0.8352
Σύνολο	36	80	21	185	322	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	88.75%	85.71%	83.78%	97.22%		86.65%	0.7869

Πίνακας Θ-38. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 1-6, EVI, NDMI) σε επίπεδο υγροτόπων, θέρος 2008.

Κατηγορία	Καλαμώνες	Υγρά λιβάδια	Υγροτοπικοί θαμνώνες	Μόνιμες λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Καλαμώνες	14	0	0	1	0	0	17	93.33%	0.9178
Υγρά λιβάδια	0	8	1	0	0	0	11	88.89%	0.8734
Υγροτοπικοί θαμνώνες	3	3	7	0	0	0	8	53.85%	0.4934
Μόνιμες λίμνες	0	0	0	26	0	0	27	100.00%	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	11	1	12	91.67%	0.9038
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	0	0	0	0	1	14	15	93.33%	0.9200
Σύνολο	17	11	8	27	12	15	90	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	82.35%	72.73%	87.50%	96.30%	91.67%	93.33%		88.89%	0.8630

Πίνακας Θ-39. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 1-6, EVI, NDMI) στις λοιπές μορφές, θέρος 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Φυτείες δασικών ειδών	Θαμνώνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	74	8	1	0	0	84	88.10%	0.8463
Αρόσιμη γη	2	114	0	0	3	118	96.61%	0.9340
Αρδευόμενη γη	0	4	60	2	0	66	90.91%	0.8878
Φυτείες δασικών ειδών	0	0	0	15	0	15	100.00%	1
Θαμνώνες	0	38	3	2	10	53	18.87%	0.1561
Σύνολο	76	164	64	19	13	336	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	97.37%	69.51%	93.75%	78.95%	76.92%		81.01%	0.7390

Πίνακας Θ-40. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 1-6, EVI, NDMI) σε επίπεδο δασών, θέρος 2008.

Κατηγορία	Δάσος πλατύφυλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Γυμνό έδαφος	Σύνολο	AX	ΣΚ
Δάσος πλατύφυλλων	74	1	8	0	83	89.16%	0.8557
Δάσος κωνοφόρων	2	17	6	0	25	68.00%	0.6577
Θαμνώνες	4	3	168	3	178	94.38%	0.8680
Γυμνό έδαφος	0	0	3	33	36	91.67%	0.9062
Σύνολο	80	21	185	36	322	ΟΑ	ΣΚ
AK	92.50%	80.95%	90.81%	91.67%		90.68%	0.8449

Πίνακας Θ-41. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 1-6, EVI, NDMI) σε επίπεδο υδροτόπων, θέρους 2008.

Κατηγορία	Καλαμώνες	Υγρά λιβάδια	Υγροτοπικοί θαμνώνες	Μόνιμες λίμνες	Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	Σύνολο	AX	ΣΚ
Καλαμώνες	13	0	0	0	0	0	17	100.00%	1
Υγρά λιβάδια	0	9	1	0	0	1	11	81.82%	0.7929
Υγροτοπικοί θαμνώνες	3	2	7	0	0	0	8	58.33%	0.5427
Μόνιμες λίμνες	0	0	0	27	0	0	27	100.00%	1
Εποχιακές κατακλυζόμενες λίμνες	0	0	0	0	11	1	12	91.67%	0.9038
Αποκαλυπτόμενες κοίτες λιμνών	1	0	0	0	1	13	15	86.67%	0.8400
Σύνολο	17	11	8	27	12	15	90	ΟΑ	ΚΣ
AK	76.47%	81.82%	87.50%	100.00%	91.67%	86.67%		88.89%	0.8629

Πίνακας Θ-42. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Landsat 5 (κανάλια 1-6, EVI, NDMI) στις λοιπές μορφές, θέρους 2008.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Φυτείες δασικών ειδών	Θαμνώνες	Σύνολο	AX	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες	61	7	0	0	0	68	89.71%	0.8671
Αρόσιμη γη	15	144	0	0	4	163	88.34%	0.7729
Αρδευόμενη γη	0	6	60	2	0	68	88.24%	0.8548
Φυτείες δασικών ειδών	0	0	3	16	0	19	84.21%	0.8327
Θαμνώνες	0	7	1	1	9	17	47.06%	0.4493
Σύνολο	76	164	64	19	13	337	ΟΑ	ΣΚ
AK	80.26%	87.80%	93.75%	84.21%	61.54%		86.05%	0.7936

Πίνακας Θ-43. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (RF) εικόνων Sentinel-2 (κανάλια 2-8, 8A, 11, 12) στο σύνολο της περιοχής, θέρους 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες (οικισμοί και κατασκευές)	Οδικό δίκτυο	Χώροι εξόρυξης/απόθεσης	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Μικτοί θαμνώνες/φυσικά λιβάδια	Καλαμώνες	Εποχικά ρέματα	Μόνιμες λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες (οικισμοί και κατασκευές)	21	3	2	0	0	0	0	0	0	0	5	0	31	67,74%	0,6664
Οδικό δίκτυο	2	17	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	21	80,95%	0,8040
Χώροι εξόρυξης/απόθεσης	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	100,00%	1,0000
Αρόσιμη γη	4	3	0	246	0	0	0	0	13	0	5	0	271	90,77%	0,8659
Αρδευόμενη γη	0	0	0	2	42	3	0	0	0	0	0	0	47	89,36%	0,8874
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	0	0	3	109	0	1	0	2	0	0	115	94,78%	0,9394
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	0	0	1	39	1	0	0	0	0	41	95,12%	0,9487
Θαμνώνες	0	0	0	0	0	0	0	117	3	0	0	0	120	97,50%	0,9702
Μικτοί θαμνώνες/φυσικά λιβάδια	0	0	0	5	0	0	1	11	49	0	0	0	66	74,24%	0,7201
Καλαμώνες	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	15	100,00%	1,0000
Εποχικά ρέματα	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	21	0	23	91,30%	0,9095
Μόνιμες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	54	100,00%	1,0000
Σύνολο	27	23	14	254	45	113	40	130	65	17	32	54	814	ΟΑ	ΚΣ
ΑΚ	77,78%	73,91%	71,43%	96,85%	93,33%	96,46%	97,50%	90,00%	75,38%	88,24%	65,63%	100,00%		90,91%	0,8908

Πίνακας Θ-44. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (K-NN) εικόνων Sentinel-2 (κανάλια 2-8, 8A, 11, 12) στο σύνολο της περιοχής, θέρους 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες (οικισμοί και κτήρια)	Οδικό δίκτυο	Χώροι εξόρυξης/ απόθεσης	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Μικτοί θαμνώνες/ φυσικά λιβάδια	Καλαμώνες	Εποχιακά ρέματα	Μόνιμες λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες (οικισμοί και κτήρια)	17	0	3	0	0	0	0	0	0	0	4	0	24	70.83%	0.6983
Οδικό δίκτυο	2	20	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	25	80.00%	0.7942
Χώροι εξόρυξης/απόθεσης	1	0	9	0	0	0	0	0	0	0	3	0	13	69.23%	0.6869
Αρόσιμη γη	7	3	0	242	0	0	0	1	9	0	7	0	269	89.96%	0.8541
Αρδευόμενη γη	0	0	0	1	44	3	0	0	0	0	0	0	48	91.67%	0.9118
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	0	0	1	108	2	1	3	1	0	0	116	93.10%	0.9199
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	0	0	0	37	2	0	1	0	0	40	92.50%	0.9211
Θαμνώνες	0	0	0	1	0	2	0	108	7	2	0	0	120	90.00%	0.8810
Μικτοί θαμνώνες/ φυσικά λιβάδια	0	0	0	10	0	0	1	17	46	0	0	0	74	62.16%	0.5888
Καλαμώνες	0	0	0	0	0	0	0	1	0	13	0	0	14	92.86%	0.9270
Εποχιακά ρέματα	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	16	0	17	94.12%	0.9388
Μόνιμες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	54	100.00%	1
Σύνολο	27	23	14	254	45	113	40	130	65	17	32	54	814	ΟΑ	ΣΚ
ΑΚ	62.96%	86.96%	64.29%	95.28%	97.78%	95.58%	92.50%	83.08%	70.77%	76.47%	50.00%	100.00%		87.71%	0.8525

Πίνακας Θ-45. Μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (ML) εικόνων Sentinel-2 (κανάλια 2-8, 8A, 11, 12) στο σύνολο της περιοχής, θέρους 2018.

Κατηγορία	Τεχνητές επιφάνειες (οικισμοί και κτήρια)	Οδικό δίκτυο	Χώροι εξόρυξης/απόθεσης	Αρόσιμη γη	Αρδευόμενη γη	Δάσος πλατυφύλλων	Δάσος κωνοφόρων	Θαμνώνες	Μικτοί θαμνώνες/φυσικά λιβάδια	Καλαμώνες	Εποχιακά ρέματα	Μόνιμες λίμνες	Σύνολο	ΑΧ	ΣΚ
Τεχνητές επιφάνειες (οικισμοί και κτήρια)	22	0	3	2	0	0	0	0	0	1	1	1	30	73.33%	0.7242
Οδικό δίκτυο	4	23	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	31	74.19%	0.7344
Χώροι εξόρυξης/απόθεσης	1	0	9	1	0	0	0	0	0	0	0	1	12	75.00%	0.7456
Αρόσιμη γη	0	0	0	220	0	0	0	0	0	0	0	0	220	100.00%	1.0000
Αρδευόμενη γη	0	0	0	0	45	0	0	0	1	0	0	0	46	97.83%	0.9770
Δάσος πλατυφύλλων	0	0	0	0	0	107	0	0	1	0	0	0	108	99.07%	0.9892
Δάσος κωνοφόρων	0	0	0	0	0	5	38	3	0	1	0	0	47	80.85%	0.7986
Θαμνώνες	0	0	0	0	0	1	1	117	8	0	0	0	127	92.13%	0.9063
Μικτοί θαμνώνες/φυσικά λιβάδια	0	0	0	28	0	0	1	10	55	0	0	0	94	58.51%	0.5491
Καλαμώνες	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	15	100.00%	1
Εποχιακά ρέματα	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	29	0	32	90.63%	0.9024
Μόνιμες λίμνες	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	52	100.00%	1
Σύνολο	27	23	14	254	45	113	40	130	65	17	32	54	814	ΟΑ	ΚΣ
ΑΚ	81.48%	100.00%	64.29%	86.61%	100.00%	94.69%	95.00%	90.00%	84.62%	88.24%	90.63%	96.30%		89,93%	0,8813

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allen, H., W. Simonson, E. Parham, E. D. E. Santos, and P. Hotham, 2018. Satellite remote sensing of land cover change in a mixed agro-silvo-pastoral landscape in the alentejo, portugal, *Int. J. Rem. Sens.*, 39(14):4663–4683, <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1440095>.
- Allen, R. T., and J. A. Kupfer, 2000. Application of Spherical Statistics to Change Vector Analysis of Landsat Data: Southern Appalachian Spruce–Fir Forests, *Rem. Sens. Environ.* 74, 482–493, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00140-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00140-1).
- Anderson, J. R., E. E. Hardy, J. T. Roach, and R. E. Witmer, 1976. A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data, US Government Printing Office, Washington, USA.
- Andrew, M. M., A. Wulder, and T. A. Nelson, 2014. Potential contributions of remote sensing to ecosystem service assessments, *Prog. Phys. Geogr.*, 38(3):328–353, <https://doi.org/10.1177/0309133314528942>.
- Aschbacher, J., and M. P. M. Pérez, 2010. GMES-Status review and policy developments. In K. Schrogl, W. Rathgeber, B. Baranes, and C. Venet (Eds.), *Yearbook on Space Policy 2008/2009*, pp. 188–207, Vienna (Retrieved from <http://www.springerlink.com/content/k546p12832126066>).
- Banskota, A., Kayastha, N., Falkowski, M. J., Wulder, M. A., Froese, R. E., and J. C. White, 2014. Forest monitoring using Landsat Time Series Data: A review, *Can. J. Rem. Sens.*, 40, 362–384, <https://doi.org/10.1080/07038992.2014.987376>.
- Belgiu, M., and O. Csillik, 2018. Sentinel-2 cropland mapping using pixel-based and object-based time-weighted dynamic time warping analysis, *Rem. Sens. Environ.* 204, 509–523, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.005>.
- Berberoglu, S. and A. Akin, 2009. Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean, *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinfor.*, 11:46–53.
- Berveglieri, A. N. N. Imai, L. E. Christovam, M. L. B. T. Galo, A. M. G. Tommaselli, and E. Honkavaara, 2021. Analysis of trends and changes in the successional trajectories of tropical forest using the Landsat NDVI time series, *Rem. Sens. App.*, 24, 100622, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100622>.
- Blaschke, T., S. Lang, E. Lorup, J. Strobl, and P. Zeil, 2000. Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications, *Env. Infor. Planning, Politics and the Public*, 2:555–570.



- Bontemps, S., P. Bogaert, N. Titeux, N., and P. Defourny, 2008. An object-based change detection method accounting for temporal dependences in time series with medium to coarse spatial resolution, *Rem. Sens. Environ.*, 112:3181-3191.
- Bullock, L. E., C. E. Woodcock, and C. E. Holden, 2020. Improved change monitoring using an ensemble of time series algorithms, *Rem. Sens. Environ.*, 238, 111165, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.018>.
- Büttner, G. and B. Kosztra, 2017. CLC2018 Technical Guidelines, Service Contract No 3436/R0-Copernicus/EEA 56665, 25 Oct., ETC Urban, Land and Soil Systems, EEA, 60p.
- Büttner, G., 2014. Corine Land Cover and Land Change Products, In *Proc. Land Use and Land Cover Mapping in Europe: Practices and Trends*, I. Manakos and M. Braun, (eds.), p. 3, London.
- Chang, C. T., S. F. Wang, M. A. Vadeboncoeur, and T. C. Lin, 2014. Relating vegetation dynamics to temperature and precipitation at monthly and annual time scales in Taiwan using MODIS vegetation indices, *Inter. J. Rem. Sens.*, 35(2):598-620.
- Chen, J., J. Chen, A. Liao, X. Cao, L. Chen, X. Chen, C. He, G. Han, S. Peng, M. Lu, W. Zhang, X. Tong, and J. Mills, 2014. Global land cover mapping at 30m resolution: A POK-based operational approach, *ISPRS J. Phot. Rem. Sens.*, 103:7-27, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.09.002>.
- Chrysafis I., G. Mallinis, I. Gitas and M. Tsakiri-Strati, 2017. Estimating Mediterranean forest parameters using multi seasonal Landsat 8 OLI imagery and an ensemble learning method, *Rem. Sens. Environ.*, 199: 154-166, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.018>.
- Chrysafis, I., G. Mallinis, M. Tsakiri, and P. Patias, 2019. Evaluation of single-date and multi-seasonal spatial and spectral information of Sentinel-2 imagery to assess growing stock volume of a Mediterranean forest, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.12.004>.
- Cochran, W. G., 1977. *Sampling techniques* (3rd ed.), New York, John Wiley & Sons.
- Cohen, B. W., Y. Zhiqiang, S. P. Healey, P. Sean, R. E. Kennedy, and N. Gorelick, 2018. A LandTrendr multispectral ensemble for forest disturbance detection, *Rem. Sens. Environ.*, 205:131-140, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.11.015>.
- Cohen, W. B., Z. Yang, V. S. Stehman, A. T. Schroeder, M. D. Bell, G. J. Masek, C. Huang, and W. G. Meigs, 2016. Forest disturbance across the conterminous United States from 1985–2012: the emerging dominance of forest decline, *For. Ecol. Manag.* 360:242-252, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.042> (Special Section: Forest Management for Climate Change).

- Coppin, P., I. Jonckheere, K. Nackaerts, M. Muys, and E. Lambin, 2004. Review article digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review, *Int. J. of Rem. Sens.* 25(9):1565–1596.
- Coulston, J. W., D. M. Jacobs, C. R. King, and I. C. Elmore, 2013. The influence of multi-season imagery on models of canopy cover: a case study, *Photogram. Engin. Rem. Sens.*, 79:469-477.
- Coulston, J.W., G. G. Moisen, B. T. Wilson, M. V. Finco, W. B. Cohen, and C. K. Brewer, 2012. Modeling percent tree canopy cover: a pilot study, *Photogram. Engin. Rem. Sens.*, 78:715-727.
- Crist P. E. and R. C. Cicone, 1984. A physically-based transformation of thematic mapper data-the TM tasselled cap, *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.*, 22(3):256–263.
- Czerwinski, J. C., D. J. King, and S. W. Mitchell, 2014. Mapping forest growth and decline in a temperate mixed forest using temporal trend analysis of Landsat imagery, 1987–2010, *Rem. Sens. Environ.*, 141:188-200, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.11.006>.
- DeFries, R. S., A.R. Houghton, C. M. Hansen, B. C. Field, D. Skole, and J. Townshend, 2002. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 99:14256-14261.
- Deng, J. S., K. Wang, Y. Hong, and G. J. Qi, 2009. Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 92:187-198.
- De Wit, A. J. W. and J. G. P. W. Clevers, 2004. Efficiency and accuracy of per-field classification for operational crop mapping, *Int. J. Rem. Sens.*, 25(20): 4091-4112, <https://doi.org/10.1080/01431160310001619580>.
- Di Gregorio, A., M. Henry, E. Donegan, Y. Finegold, J. Latham, I. Jonckheere and R. Cumani, 2016. Classification Concepts, Land Cover Classification System: Software version 3, FAO, Rome, 29p.
- Di Gregorio, A. and J. Latham, 2003. Africover Land Cover Classification and Mapping project, In *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)* Werheve, W., (ed.), ELOSS: Paris, France, pp. 236–254, ISBN:978-1-84826-235-5.
- Duan, Z., & W. G. M. Bastiaanssen, 2013. Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data. *Rem. Sens. Environ.*, 134:403-416.
- Drusch, M., U. Del Bello, S. Carlier, O. Colin, V. Fernandez, and F. Gascon, 2012. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services, *Rem. Sens. Environ.* 120:25–36.

ECA, 2016. The Land Parcel Identification System: A Useful Tool to Determine the Eligibility of Agricultural Land – But its Management could be Further Improved. Special Report PL 2016 25, European Court of Auditors.

Eklundh, L., T. Johansson, and S. Solberg, 2009. Mapping insect defoliation in scots pine with MODIS time-series data, *Rem. Sens. Environ.*, 113:1566-1573.

Ellis, E. A., and L. Porter-Bolland, 2008. Is community-based forest management more effective than protected areas? A comparison of land use/land cover change in two neighboring study areas of the Central Yucatan Peninsula, Mexico, *For. Ecol. Manag.*, 256:1971-1983.

European Commission. (n.d.). GEOSS: Policy relevance, Future Challenges, EU contribution to GEOSS, Relevant documentation, GEOSS (ανάκτηση από [http://ec.europa.eu/research/environment/index\\_en.cfm?section=geo&pg=geoss](http://ec.europa.eu/research/environment/index_en.cfm?section=geo&pg=geoss)).

ESA, 2010. Mission Requirements Document GMES Sentinel-2 (ανάκτηση από [http://esamultimedia.esa.int/docs/GMES/Sentinel-2\\_MRD.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/GMES/Sentinel-2_MRD.pdf)).

Feng, Y., X. Wang, W. Du, J. Liu, and Y. Li, 2019. Spatiotemporal characteristics and driving forces of urban sprawl in China during 2003-2017, *J. Clean. Prod.*, 241, 118061, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118061>.

Feyisa, L. G., H. Meilby, R. Fensholt, and S. R. Proud, 2014. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery, *Rem. Sens. Environ.*, 140:23-35.

Foody, G. M., 2020. Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification, *Rem. Sens. Environ.* 239, 111630, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111630>.

Foody, G. M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment, *Rem. Sens. Environ.* 80, 185-201, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4).

Fraser H. R., I. Olthof, and D. Pouliot, 2009. Monitoring land cover change and ecological integrity in Canada's national parks, *Rem. Sens. Environ.*, 113(7):1397-1409.

Franklin, E. S. and M. A. Wulder, 2002. Remote sensing methods in medium spatial resolution satellite data land cover classification of large areas, *Prog. Phys. Geogr.: Eart. Environ.* 26(2):173-205, <https://doi.org/10.1191/0309133302pp332ra>.

Franklin, E. S., A. S. Oumer, A. M. Wulder, J. C. White, T. Hermosilla and N. C. Coops, 2015. Large Area Mapping of Annual Land Cover Dynamics Using Multitemporal Change Detection and Classification of Landsat Time Series Data, *Can. J. Rem. Sens.* 41(4):293-314.

- Fry J., G. Xian, S. Jin, J. Dewitz, C. Homer, L. Yang, C. Barnes, N. Herold, J. Wickham, 2011. Completion of the 2006 National Land Cover Database for the conterminous United States, *Photogram. Engin. Rem. Sens.*, 77 (9):858-863.
- Gong, J., H. Sui, M. Guorua and Z. Qiming, 2008. A review of multi-temporal remote sensing data change detection algorithms, In *Proc. The Inter. Arch. Photogram. Rem. Sens. and Spat. Inform. Scien.*, vol. XXXVII, Part B7, Beijing.
- Gong P., J. Wang, L. Yu, Y. Zhao, Y. Zhao, L. Liang, Z. Niu, X. Huang, H. Fu, S. Liu, C. Li, X. Li, W. Fu, C. Liu, Y. Xu, X. Wang, Q. Cheng, L. Hu, W. Yao, H. Zhang, P. Zhu, Z. Zhao, H. Zhang, Y. Zheng, L. Ji, Y. Zhang, H. Chen, A. Yan, J. Guo, L. Yu, L. Wang, X. Liu, T. Shi, M. Zhu, Y. Chen, G. Yang, P. Tang, B. Xu, C. Giri, N. Clinton, Z. Zhu, J. Chen, and J. Chen, 2013. Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data, *Int. J. Rem. Sens.*, 34(7):2607-2654, <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.748992>.
- Goodwin, N. R., C. N. Coops, A. M. Wulder, S. Gillanders, A. T. Schroeder and T. Nelson, 2008. Estimation of insect infestation dynamics using a temporal sequence of Landsat data. *Rem. Sens. Environ.*, 112:3680-3689.
- Gorelick, N., M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, and R. Moore, 2017. Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone, *Rem. Sens. Environ.*, 202:18–27, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Griffiths, P., C. Nendel, and P. Hostert, 2019. Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping, *Rem. Sens. Environ.* 220, 135–151. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.031>.
- GCOS, 2016. The Global Observing System for Climate: Implementation Needs, GCOS 200 (GOOS-214), 325, World Meteorological Organization, Geneva, (Accessed 03-09-2019, [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3417](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3417)).
- Hansen, M. C., V. P. Potapov, R. Moore, M. Hancher, A. S. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thaus, V. Stehman, J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chinic, C. O. Justice and J. R. G. Townshend, 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change, *Science*, 342(6160):850-853, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1244693>.
- Hansen, M. C. and R. T., Loveland, 2012. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data, *Rem. Sens. Environ.*, 122:66-74.
- Hansen, M. C. and S. R. DeFries, 2004. Detecting long-term global forest change using continuous fields of tree-cover maps from 8-km advanced very high resolution radiometer (AVHRR) data for the years 1982–99, *Ecosystems*, 7:695-716.

Hais, M., M. Jonášová, J. Langhammer, and T. Kučera, 2009. Comparison of two types of forest disturbance using multitemporal Landsat TM/ETM+ imagery and field vegetation data, *Rem. Sens. Environ.*, 113(4):835-845, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.12.012>.

Healey, P. S. W. B. Cohen, Z. Yang, C. K. Brewer, E. B. Brooks, N. Gorelick, A. J. Hernandez, C. Huang, M. J. Hughes, R. E. Kennedy, T. R. Loveland, G. G. Moisen, T. A. Schroeder, S. V. Stehman, J. E. Vogelmann, C. E. Woodcock, L. Yang, and Z. Zhu, 2018. Mapping forest change using stacked generalization: An ensemble approach, *Rem. Sens. Environ.*, 204:717-728, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.09.029>.

Hechteljen, A., F. Thonfeld, and G. Menz, 2014. Recent advances in remote sensing change detection – a review. In: *Land Use and Land Cover Mapping in Europe*. Springer, pp. 145-178.

Heydari, S. S. and G. Mountrakis, 2018. Effect of classifier selection, reference sample size, reference class distribution and scene heterogeneity in per-pixel classification accuracy using 26 Landsat sites. *Rem. Sens. Environ.*, 204:648–658.

Hill, M. J., 2013. Vegetation index suites as indicators of vegetation state in grassland and savanna: An analysis with simulated SENTINEL 2 data for a North American transect, *Rem. Sens. Environ.* 137:94-111, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.06.004>.

Helmer, E. H., S. T. Ruzicky, M. J. Jr. Wunderle, S. Vogesser, B. Ruefenacht, C. Kwit, J. T. Brandeis, and M. D. Ewert, 2010. Mapping tropical dry forest height, foliage height profiles and disturbance type and age with a time series of cloud-cleared Landsat and ALI image mosaics to characterize avian habitat, *Rem. Sens. Environ.*, 114:2457-2473, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.05.021>.

Hermosilla, T., A.M. Wulder, C. J. White, C. N. Coops, and W. G. Hobart, 2015. Regional detection, characterization, and attribution of annual forest change from 1984 to 2012 using Landsat-derived time-series metrics, *Rem. Sens. Environ.*, 121-132.

Herold, M., R. Hubald, and Di Gregorio, 2009. Translating and evaluating the land cover legends using the UN Land Cover Classification System (LCCS), 6 Aug, GOLF-GOLD, Florence, Italy, 189p.

Herold, M. and C. Schmullius, 2004. Report on the harmonization of global and regional land cover products. GOFCEGOLD Report No. 20, In Proc. Workshop at FAO, 14–16 July, Rome, Italy.

Homer, C. G., J. DeWitz, M. Coan, N. Hossain, C. Larson, N. Herold, et al., 2007. Completion of the 2001 National Land Cover Database for the conterminous United States, *Photogram. Engin. Rem. Sens.*, 73:337-341.

- Hu T., E. M. Toman, G. Chen, G. Shao, Y. Zhou, Y. Li, K. Zhao, and Y. Feng, 2021. Mapping fine-scale human disturbances in a working landscape with Landsat time series on Google Earth Engine, *J. Photogram. Rem. Sens.*, 176:250-261, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.04.008>.
- Huang C., S. N. Goward, J. G. Masek, N. Thomas, Z. Zhu, and J. E. Vogelmann, 2010. An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks, *Rem. Sens. Environ.*, 114(1):183-198.
- Huang, S., L. Tang, J. Hupy, and G. Shao, 2020. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing, *J. For. Res.*, 31(5), <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>.
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao, and L.G. Ferreira, 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, *Rem. Sens. Environ.*, 83(1):195-213.
- Hui, F., B. Xu, H. Huang, Q. Yu and P. Gong, 2008. Modelling spatial-temporal change of Poyang Lake using multitemporal Landsat imagery, *Inter. J. Rem. Sens.*, 29:5767-5784.
- Hussain, M., M. D. Chen, A. Cheng, H. Wei, and D. Stanley, 2013. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS J. Photogram. Rem. Sens.*, 80:91–106.
- Inan, H. I., V. Sagris, W. Devos, P. Milenov, T. van Oosterom, and J. Zevenbergen, 2010. Data model for the collaboration between land administration systems and agricultural land parcel identification systems, *J. Environ. Manag.*, 91:2440-2454.
- Ienco, D., R. Interdonato, R. Gaetano, and D. H. T. Minh, 2019. Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 Satellite Image Time Series for land cover mapping via a multi-source deep learning architecture, *ISPRS J. Photogram. Rem. Sens.*, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.09.016>.
- Irons, J. R., L.J. Dwyer, A. J. Barsi, 2012. The next Landsat satellite: the Landsat Data Continuity Mission, *Rem. Sens. Environ.*, 122:11-21, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>.
- ISO, 2012. 19144 Part 2: Land Cover Meta Language.
- Jia, K., W. Xiangqin, G. Xingfa, Y. Yunjun, X. Xianhong and L. Bin, 2014. Land cover classification using Landsat 8 Operational Land Imager data in Beijing, China, *Geocarto International*, 29(8):941-951, DOI: 10.1080/10106049.2014.894586.
- Jian, Z, A. Huete, K. Didan, and T. Miura, 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band, *Rem. Sens. Environ.*, 112:3833-3845.
- Jin, S., L. Yang, P. Danielson, C. Homer, J. Fry, G. Xian, 2013. A comprehensive change detection method for updating the National Land Cover Database to circa, *Rem. Sens. Environ.* 132:159-175.

Jin, S. and S. A. Sader, 2010. Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances, *Rem. Sens. Environ.* 94:364-372.

Καρτέρης, Α. Μ., 1995. Δασική αεροφωτογραφία, 2<sup>η</sup> έκδ., University studio press, Θεσσαλονίκη, 432pp.

Kennedy, R. E., S. Andréfouët, W. B. Cohen, C. Gómez, P. Griffiths, M. Hais, S. P. Healey, E. H. Helmer, P. Hostert, M. B. Lyons, G. W. Meigs, D. Pflugmacher, S. R. Phinn, S. L. Powell, P. Scarth, S. Sen, T. A Schroeder, A. Schneider, R. Sonnenschein, J. E Vogelmann, M. A Wulder, and Z. Zhu, 2014. Bringing an ecological view of change to landsat-based remote sensing, *Front. Ecol. Environ.*, 12(6):339-346.

Kennedy, R. E., Z. Yang, and B. W. Cohen, W.B., 2010. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr - temporal segmentation algorithms, *Rem. Sens. Environ.*, 114:2897-2910.

Kennedy, R. E., W. B. Cohen, and T. A. Schroeder, 2007. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics, *Rem. Sens. Environ.*, 110:370-386.

Knorn, J., A. Rabe, C. V. Radeloff, T. Kuemmerle, J. Kozak, and P. Hostert, 2009. Land cover mapping of large areas using chain classification of neighboring Landsat satellite images. *Remote. Sens. Environ.*, 113, 957–964.

Kolios S. and C. D. Stylios, 2013. Identification of land cover/land use changes in the greater area of the Preveza peninsula in Greece using Landsat satellite data, *Applied Geography* 40:150-160, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.02.005>.

Kosmidou, V., Z. I. Petrou, H.G.R. Bunce, A.C. Múcher, G.H.R. Jongman, M.M. Bogers, M.R. Lucas, V. Tomaselli, P. Blonda, E. Padoa-Schioppa, I. Manakos, M. Petrou, 2014. Harmonization of the land cover classification system (LCCS) with the general habitat categories (GHC) classification system, *Ecol. Indic.* 36:290-300.

Kuria, D. N., G. Menz, S. Misana, E. Mwita, H. Thamm, M. Alvarez, M., Mogha, N., Becker, and H. Oyieke, 2014. Seasonal Vegetation Changes in the Malinda Wetland Using Bi-Temporal, Multi-Sensor, Very High Resolution Remote Sensing Data Sets, *Advances in Rem. Sens.* 3, 33-48, <https://doi.org/10.4236/ars.2014.31004>.

Latifovic, R., and D. A. Pouliot, 2014. Monitoring cumulative long-term vegetation changes over the Athabasca Oil Sands region. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Rem. Sens.*, 7:3380-3392, <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2321058>.

Latifovic, R., and D. A. Pouliot, 2005. Multi-temporal land cover mapping for Canada: methodology and products, *Can. J. Rem. Sens.*, 31:347-363.

Lehmann, E. A., F. J. Wallace, A. P. Caccetta, L.S. Furby, and K. Zdunic, 2013. Forest cover trends from time series Landsat data for the Australian continent, *Int. J. Applied Earth Observ.*, 21:453-462, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.06.005>.

Olmanson, G. L., M. E. Bauer, and P. L. Brezonik, 2008. A 20-year Landsat water clarity census of Minnesota's 10,000 lakes, *Rem. Sens. Environ.*, 112(11):4086-4097, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.12.013>.

Li, Y., J. Chen, and Y. Rao, 2018. A practical sampling method for assessing accuracy of detected land cover/land use change: Theoretical analysis and simulation experiments. *ISPRS J. Photogram. Rem. Sens.* 144, 379-389, <https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2018.08.006>.

Lillesand, M. T., R. W. Kiefer, and J. W. Chipman, 2015. Remote sensing and image interpretation, 7th ed., Wiley, 770p.

Liu, H.Q. and A. Huete, 1995. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise, *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.*, 33:457-465.

Mantas, M. V., J. C. Marques, and A. J.S.C. Pereira, 2016. A geospatial approach to monitoring impervious surfaces in watersheds using Landsat data (the Mondego Basin, Portugal as a case study), *Ecological Indicators*, 71:449–466.

Marsett, C. R., J. Qi, P., Heilman, S. H. Biedenbender, C. M. Watson, S. Amer, M. Weltz, D. Goodrich, and R. Marsett, 2006. Remote sensing for grassland management in the arid Southwest, *Range Ecol. Manag.*, 59:530-540, <http://doi.org/10.2111/05-201R.1>.

Masek, G. J., F. E. Lindsay and S. N. Goward, 2000. Dynamics of urban growth in the Washington DC metropolitan area, 1973-1996, from Landsat observations, *Int. J. Rem. Sens.*, 21(18):3473-3486, <https://doi.org/10.1080/014311600750037507>.

Martínez-Casasnovas, A. J., M. M., Almudena and A. M. Casterad, 2005. Mapping multi-year cropping patterns in small irrigation districts from time-series analysis of Landsat TM images, *Europ. J. Agron.*, 23(2):159-169, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.11.004>.

McConnell, W. and E. Moran, 2000. Meeting in the Middle: The Challenge of Meso-Level Integration. In *Proc. Inter. Workshop on the harmonization of land use and land cover classification*, Land Use Policy and Cover Change Project Report Series No. 5, Indiana University, Bloomington, In, USA, 17–20 Oct., Land Use Policy: Ispra, Italy, pp. 99-101.

Milesi, C., C. D. Elvidge, R. R. Nemani, and S. W. Running, 2003. Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States, *Rem. Sens. Environ.*, 86(3):401-410, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00081-6).

Morisette, J. T., and S. Khorram, 2000. Accuracy assessment curves for satellite-based change detection. *Photogram. Engin. Rem. Sens.*, 66:875-880.



- Mountrakis, G., J. Im, and C. Ogole, 2011. Support vector machines in remote sensing: A review, *ISPRS J. Photogram. Rem. Sens.* 66, 247–259.
- Myint, S.W., P. Gober, A. Brazel, S. Grossman-Clarke, and H. Q. Weng, 2011. Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery, *Rem. Sens. Environ.*, 115:1145–1161.
- Noi, T. P., and M. Kappas, 2018. Comparison of random forest, k-nearest neighbor, and support vector machine classifiers for land cover classification using Sentinel-2 imagery, *Sensors*, 18, <https://doi.org/10.3390/s18010018>.
- Olofsson, P., M. G. Foody, M. Herold, V. S. Stehman, E. C. Woodcock, and A. M. Wulder, 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Rem. Sens. Environ.*, 148, 42-57, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>.
- Ouzemou, E.-J., A. El Harti, R. Lhissou, A. El Moujahid, N. Bouch, R. El Ouazzani, El M. Bachaoui, and A. El Ghmari, 2018. Crop type mapping from pansharpened Landsat 8 NDVI data: A case of a highly fragmented and intensive agricultural system, *Rem. Sens. App.*, 11:94-103, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.05.002>.
- Pal, M. and P. M. Mather, 2003. An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification, *Rem. Sens. Environ.*, 86(4): 554-565.
- Pasquarella, V. J., 2016. Utilizing the Landsat spectral-temporal domain for improved mapping and monitoring of ecosystem state and dynamics, Ph.D. Dissertation, Boston University.
- Pasquarella, V. J., Holden, C. E., Kaufman, L., Woodcock, C. E., 2016. From imagery to ecology: leveraging time series of all available Landsat observations to map and monitor ecosystem state and dynamics, *Rem. Sens. Ecol. Conserv.* 2, <https://doi.org/10.1002/rse2.24>.
- Pastick, N. J., K. B. Wylie, and Z. Wu, 2018. Spatiotemporal analysis of Landsat-8 and Sentinel-2 data to support monitoring of dryland ecosystems, *Rem. Sens.* 10., <https://doi.org/10.3390/rs10050791>.
- Pettorelli, N., M. Wegmann, A. Skidmore, S. Mùcher, P.T. Dawson, M. Fernandez, R. Lucas, E. M. Schaepman, T. Wang, B. O'Connor, and H. R. Jongman, 2016. Framing the concept of satellite remote sensing essential biodiversity variables: challenges and future directions, *Rem. Sens. Ecol. Conserv.*, 2(3):122-131.
- Pettorelli, N., J. O. Vik, A. Mysterud, J-M. Gaillard, C. J. Tucker, and N. C. Stenseth, 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change, *Trends Ecol. Evol.*, 20(9):503-510, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>.

Phan Thanh Noi and M. Kappas, 2019. Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine classifiers for land cover classification using Sentinel-2 imagery, *Sensors*, 18:1-20, <https://doi.org/10.3390/s18010018>.

Potapov, V. P., S. A. Turubanov, A. Tyukavin, A. M. Krylov, J. L. McCarty, V. C. Radeloff, and M. C. Hansen, 2012. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive, *Rem. Sens. Environ.*, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.027>.

Powell, S.L., B. W. Cohen, Z. Yang, D. J. Pierce, and M. Alberti, 2008. Quantification of impervious surface in the Snohomish Water Resources Inventory Area of Western Washington from 1972-2006, *Rem. Sens. Environ.*, 112:1895–1908, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.09.010>.

Röder, A., J. Hill, B. Duguy, A. J. Alloza, and R. Vallejo, 2008. Using long time series of Landsat data to monitor fire events and post-fire dynamics and identify driving factors. A case study in the Ayora region (eastern Spain), *Rem. Sens. Environ.*, 112(1):259-273, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.05.001>.

Rogan, J. and D. Chen, 2004. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change, *Progress in Planning* 61:301-325, [https://doi.org/10.1016/S0305-9006\(03\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0305-9006(03)00066-7).

Sagris, V., W. Devos, P. Milenov, S. Kay, 2008. New Evidence of Land Management in the Frame of Common Agricultural Policy: Needs for Standardization, FIG Working Week 2008, 14-19 June, Stockholm, Sweden.

Schneider, A., 2012. Monitoring land cover change in urban and peri-urban areas using dense time stacks of Landsat satellite data and a data mining approach, *Remote Sens. Environ.*, 124:689-704.

Senf C., D. Pflugmacher, P. Hostert, and R. Seidl, 2017. Using Landsat time series for characterizing forest disturbance dynamics in the coupled human and natural systems of Central Europe, *ISPRS J. Photogram. Rem. Sens.*, 130:453-463, <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.004>.

Sexton, J. O., L. D. Urban, J. M. Donohue, and C. Song, 2013b. Long-term land cover dynamics by multi-temporal classification across the Landsat-5 record, *Rem. Sens. Environ.* 128:246-258, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.010>.

Siachalou, S. G. Mallinis and M. Tsakiri-Strati, 2017. Analysis of time-series spectral index data to enhance crop identification over a mediterranean rural landscape, *IEEE Geosc. Rem. Sens. Lett.*, 14(9):1508-1512, <https://doi.org/10.1109/LGRS.2017.2719124>.

Shi, D. and X. Yang, 2015. Support vector machines for land cover mapping from remote sensor imagery. In *Monitoring and Modeling of Global Changes: A Geomatics Perspective* Springer: Dordrecht, The Netherlands, pp. 265–279.

- Sonobe, R., Y. Yamaya, H. Tani, X. Wang, N. Kobayashi and K. Mochizuki, 2019. Evaluating metrics derived from Landsat 8 OLI imagery to map crop cover, *Geocarto International*, 34:8, 839-855, <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1425739>.
- Stehman, S. V., and G. M. Foody, 2019. Key issues in rigorous accuracy assessment of land cover products, *Rem. Sens. Environ.* 231, 111199, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.05.018>.
- Stehman, S. V., 2012. Impact of sample size allocation when using stratified random sampling to estimate accuracy and area of land-cover change, *Rem. Sens. Let.*, 3, 111–120.
- Stomph, T. J., A. C. Múcher, and O. L. Fresco, 1997. Environmental impact of land use: a new basis for analysis, *Land* 1.2, 129–142.
- Tewkesbury, P. A., Comber J. A, Tate J. N., Lamb A., and P. F. Fisher, 2015. A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques, *Rem. Sens. Environ.*, 160:1-14.
- Townshend, J. R., G. J. Masek, C. Huang, F. E. Vermote, F. Gao, S. Channan, O. J. Sexton, M. Feng, R. Narasimhan, D. Kim, K. Song, D. Song, X.-P. Song, P. Noojipady, B. Tan, C. M. Hansen, M. Li, and E. R. Wolfe, 2012. Global characterization and monitoring of forest cover using Landsat data: Opportunities and Challenges, *Int. J. Digital Earth*, 5: 373–397, <https://doi.org/10.1080/17538947.2012.713190>.
- Turner, B. L., E. F. Lambin, and A. Reenberg, 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proc. Nat. Acad. Scienc. USA*, 104:20666-20671.
- Tso, B. and P. Mather, 2009. Classification methods for remotely sensed data, 2nd ed., CRC Press, 347p.
- Vázquez-Jiménez, P., R. N. Ramos-Bernal, R. Romero-Calcerrada, P. Arrogante-Funes, S. S. Tizapa and C. J. Novillo, 2018. Thresholding Algorithm Optimization for Change Detection to Satellite Imagery, *Colorimetry Image Processing, InTech*, <https://doi.org/10.5772/intechopen.71002>.
- Van Oort, P. A. J., 2007. Interpreting the change detection error matrix, *Rem. Sens. Environ.*, 108, 1-8, [doi.org/10.1016/j.rse.2006.10.012](https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.10.012).
- Vogelmann, J. E., L. A. Gallant, H. Shi, and X. Zhu, 2015. Perspectives on monitoring gradual change across the continuity of Landsat sensors using time-series data. *Rem. Sens. Environ.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.060>.
- Vogelmann, J. E., Xian, G., C. Homer, and B. Tolk, 2012. Monitoring gradual ecosystem change using Landsat time series analyses: Case studies in selected forest and rangeland ecosystems, *Rem. Sens. Environ.*, 122:92-105, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.027>.

Vogelmann, J. E., M. S. Howard, L. Yang, R. C. Larson, K. B. Wylie, and N. J. Van Driel, J. N., 2001. Completion of the 1990s National Land Cover Data Set for the conterminous United States, *Photogram. Engin. Rem. Sens.*, 67:650-662.

Vorovencii, I., 2014. A change vector analysis technique for monitoring land cover changes in Copsa Mica, Romania, in the period 1985-2011, *Environ. Monit. Assess.* 186, 5951-5968, <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3831-5>.

White, J. C., A. M. Wulder, W. G. Hobart, E. J. Luther, T. Hermosilla, P. Griffiths, C. N. Coops, J. R. Hall, P. Hostert, A. Dyk, and L. Guindon, 2014. Pixel-based image compositing for large-area dense time series applications and science, *Can. J. Rem. Sens.*, 40:192–212, <https://doi.org/10.1080/07038992.2014.945827>.

Wickham, J., C.G. Homer, J.E. Vogelmann, A. McKerrow, R. Mueller, N.D. Herold, and J. Coulston, 2014. The Multi-Resolution Land Characteristics (MRLC) Consortium-20 years of development and integration of USA national land cover data, *Rem. Sens.*, 6:7424-7441.

Wulder, M. A., C. N. Coops, D. Roy, C. J. White, and T. Hermosilla, 2018. Land Cover 2.0. *Int. J. Rem. Sens.*, <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1452075>.

Wulder, M. A., J. White, T. Loveland, C. Woodcock, A. Belward, W. Cohen, E. Fosnight, J. Shaw, J. Masek, and D. Roy, 2016. The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction, *Rem. Sens. Environ.*, 185:271-283.

Wulder, M. A., J. G. Masek, B. W. Cohen, R. T. Loveland, and E. C. Woodcock, 2012. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat, *Rem. Sens. Environ.*, 122:2-10.

Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *Inter. J. Rem. Sens.*, 27:3025-3033.

Xue, J. και B. Su, 2017. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications, *J. Sensors*, Vol. 2017, Art. ID 1353691, 1-17, <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>.

Yang, H., S. Li, C. J. Li, X. Zhang and X. Xu, 2017. The Standardization and Harmonization of Land Cover Classification Systems towards Harmonized Datasets: A Review, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 6, 154, <https://doi.org/10.3390/ijgi6050154>.

Yang, L., Jin, S., P. Danielson, C. Homer, L. Gass, A. Case, C. Costello, J. Dewitz, J. Fry, J. M. Funk, B. Grannemann, M. Rigge, and G. Xian, 2018. A New Generation of the United States National Land Cover Database: Requirements, Research Priorities, Design, and Implementation Strategies, p. 108-123.

- Yang, C., Q. Huang, Z. Li, K. Liu, and F. Hu, 2017. Big Data and Cloud Computing: Innovation Opportunities and Challenges, *Int. J. of Digital Earth*, 10(1):13-53.
- Yu, W., W. Zhou, Y. Qian and J. Yan, 2016. A new approach for land cover classification and change analysis: Integrating backdating and an object-based method, *Rem. Sens. of Environ.* 177:37-47.
- Yuan, F., E. K. Sawaya, C. B. Loeffelholz, and E. M. Bauer, 2005. Land cover classification and change analysis of the twin cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing, *Rem. Sens. Environ.*, 98:317–328.
- Zha, Y., J. Gao and S. Ni, 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery, *Int. J. Rem. Sens.*, 24(3):583-594, <https://doi.org/10.1080/01431160304987>.
- Zhang, Q., J. Wang, X. Peng, P. Gong and P. Shi, 2002. Urban built-up land change detection with road density and spectral information from multi-temporal Landsat TM data, *Int. J. Rem. Sens.*, 23(15):3057-3078, <https://doi.org/10.1080/01431160110104728>.
- Zhang, Z. X. Wang, X. Zhao, X. L. Liu, L. Yi, J. L. Zuo, and G. S. Hu, 2014. A 2010 update of National Land Use/Cover Database of China at 1:100000 scale using medium spatial resolution satellite images, *Rem. Sens. Environ.*, 149:142–154.
- Zhang, P., M. Gong, L. Su, J. Liu, and Z. Li, 2016. Key Change detection based on deep feature representation and mapping transformation for multi-spatial-resolution remote sensing images, *ISPRS J. Photogram. Rem. Sens.* 116:24-41.
- Zhou, W. Q., A. Troy., and M. J. Grove, 2008. Object-based land cover classification and change analysis in the Baltimore metropolitan area using multitemporal high resolution remote sensing data, *Sensors*, 8:1613-1636.
- Zhu, Z., J. Zhang, Z. Yang, A. Aljaddani, B. W. Cohen, S. Qiu, and C. Zhou, 2020. Continuous monitoring of land disturbance based on Landsat time series, *Rem. Sens. Environ.*, 238, 111116, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.009>.
- Zhu, Z., 2017. Change detection using Landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications, *ISPRS J. Photogram. Rem. Sens.*, 130:370-384.
- Zhu, Z., Y. Fu, E. C. Woodcock, P. Olofsson, P., Vogelmann, J. E., C. Holden, M. Wang, S. Dai, and Y. Yu, 2016. Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7, and 8 images: A case study from Guangzhou, China (2000–2014). *Rem. Sens. Environ.* 185, 243–257. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.036>.
- Zhu, Z., and C. E. Woodcock, 2014. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data, *Rem. Sens. of Environ.*, 144:152–171.

Zhu, Z., C. E. Woodcock, and P. Olofsson, 2012. Continuous monitoring of forest disturbance using all available Landsat imagery, *Rem. Sens. Environ.*, 122:75–91.

## ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ

Ο Μόσχος Βογιατζής έχει επαγγελματική εμπειρία >20 ετών στη διοίκηση και διαχείριση έργων, που αφορούν στην ανάπτυξη του κτηματολογίου, κατάρτιση των δασικών χαρτών, παρακολούθηση μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και προστασία της φύσης, με γεωχωρικά δεδομένα παρατήρησης γης. Είναι πτυχιούχος της Σχολής Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης (1990). Συνέχισε τις σπουδές του στο University of Florida των Η.Π.Α. απ' όπου έλαβε μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών (M.Sc.), με εξειδίκευση στη διαχείριση φυσικών πόρων και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (1995). Το 1997 εργάστηκε ως ειδικός Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στον ΑΡΚΤΟΥΡΟ. Το 1998 προσελήφθη στην ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. (νυν ν.π.δ.δ. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ) ως επιβλέπων δασολόγος. Το 2008 προήχθη σε Υποδιευθυντή. Από το 2010, προϊστάται της Διεύθυνσης Δασικών Χαρτών και Χαρτογράφησης Φυσικού Περιβάλλοντος. Μέχρι σήμερα είναι επικεφαλής για το σχεδιασμό και την υλοποίηση εξειδικευμένων έργων (όπως Δασικοί Χάρτες, επικαιροποίηση και καταγραφή χερσαίων τύπων οικοτόπων, Copernicus Land Cover, κ.λπ.) και διαδικτυακών γεωχωρικών εφαρμογών και υπηρεσιών γης στον τομέα των δασών και προστασίας της φύσης. Από το 2013, ο κ. Βογιατζής είναι εθνικός εκπρόσωπος της Ελλάδος στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος για θέματα παρακολούθησης μορφών κάλυψης/χρήσεων γης και δασών. Από το 2020, εκπροσωπεί την Ελλάδα στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Απογραφής Δασών.