



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

**Χωροχρονική Ανάλυση και Μοντελοποίηση των Αλλαγών του Τοπίου και οι
Επιδράσεις των Φυσικών & Ανθρωπογενών Παραγόντων σε αυτό**

Διδακτορική Διατριβή

Γεώργιος Κεφαλάς

Αθήνα, 2020



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Χωροχρονική Ανάλυση και Μοντελοποίηση των Αλλαγών του Τοπίου και οι Επιδράσεις των
Φυσικών & Ανθρωπογενών Παραγόντων σε αυτό

Διδακτορική Διατριβή

Γεώργιος Κεφαλάς

Η Διδακτορική Διατριβή εξετάστηκε από την κάτωθι Επταμελή Επιτροπή:

Μέλη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής:

- 1. Χρίστος Χαλκιάς**
Καθηγητής,
Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
- 2. Κωνσταντίνος Ποϊραζίδης**
Αναπληρωτής Καθηγητής,
Τμήμα Περιβάλλοντος, Ιόνιο Πανεπιστήμιο
- 3. Δημήτριος Σταθάκης**
Καθηγητής,
Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας &
Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλη Επταμελούς Επιτροπής Εξέτασης:

- 4. Βασίλειος Δέτσης**
Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Οικιακής Οικονομίας & Οικολογίας,
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
- 5. Διανύσιος Καλύβας**
Καθηγητής,
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής
Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- 6. Αριστοτέλης Μαρτίνης**
Επίκουρος Καθηγητής,
Τμήμα Περιβάλλοντος, Ιόνιο Πανεπιστήμιο
- 7. Παντελεήμων Ξόφης**
Επίκουρος Καθηγητής,
Τμήμα Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος,
Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος

Αθήνα, 2020

© 2020, Γεώργιος Κεφαλάς

© 2020, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Γεωγραφίας

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος – all rights reserved

Κεφαλάς, Γ. (2020). Χωροχρονική ανάλυση και μοντελοποίηση των αλλαγών του τοπίου και οι επιδράσεις των φυσικών & ανθρωπογενών παραγόντων σε αυτό (*Διδακτορική Διατριβή*). Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

Kefalas G. (2020). Spatiotemporal analysis and modelling of landscape changes and the effects of natural and anthropogenic factors (*Doctoral Thesis*). Harokopio University, Athens.

Ηλεκτρονική διεύθυνση επικοινωνίας με τον συγγραφέα: gkefalas@hua.gr

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου δεν υποδηλώνει και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα.

Επίσης, ο Γεώργιος Κεφαλάς δηλώνει υπεύθυνα ότι:

1. Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
2. Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας



ΕΛΙΔΕΚ.
Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας & Καινοτομίας

Ο Υπ. Διδάκτορας κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής, έλαβε υποτροφία από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) και το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛΙΔΕΚ) στο πλαίσιο της 1^{ης} Προκήρυξης Υποτροφιών Υποψηφίων Διδακτόρων ΕΛΙΔΕΚ για το διάστημα 01/08/2017 έως 29/02/2020 (Αριθμός Υποτροφίας: 62).

Στη Roxanne, τους γονείς και τα αδέλφια μου

*“Τὰ κύματα τῆς θάλασσας
μοῦ τό ’πανε
αὐτὴ ἢ νύχτα μένει,
γιὰ αὐριο ποιὸς ξέρει...”*

Αρζεντίνα - Χειμερινοί Κολυμβητές, 1981

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η απόκτηση του Διδακτορικού διπλώματος είναι το τέλος ενός ταξιδιού που άρχισε τον Οκτώβριο του 2010 στη Ζάκυνθο, ως προπτυχιακός φοιτητής του τμήματος Τεχνολογίας Περιβάλλοντος και Οικολογίας του ΤΕΙ Ιονίων Νήσων. Τα ακαδημαϊκά εφόδια που απέκτησα από εκεί ήταν πολύ σημαντικά για την συνέχιση των σπουδών μου σε Μεταπτυχιακό και Διδακτορικό επίπεδο, στο τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου. Κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών και μεταπτυχιακών σπουδών μου έλαβα αμέριστη υποστήριξη και συμπαράσταση από πλήθος ανθρώπων, τους οποίους ευχαριστώ θερμά.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την σύντροφό μου Roxanne Suzette Lorilla. Το ταξίδι έτυχε να το αρχίσουμε μαζί, όμως δουλέψαμε πολύ για να το τελειώσουμε και μαζί. Την ευχαριστώ πολύ, που για περίπου δέκα χρόνια ανέχεται (και πιστεύω θα συνεχίσει να το κάνει...) τις παραξενιές μου και τα άγχη μου. Οι συμβουλές, η λογική και η αγάπη της ήταν καταληκτικά στοιχεία τα οποία με βοήθησαν πολύ σε διάφορες φάσεις, και με ώθησαν να συνεχίσω ακόμα και όταν περνούσαμε πολύ δύσκολα. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους γονείς Σοφία και Δημήτρη και στα αδέρφια μου Χριστίνα, Γιάννη, Θεανώ. Όλοι τους ήταν πάντα δίπλα μου, με υποστήριζαν, με διόρθωναν και μου έδιναν πάντα όλα τα άυλα και υλικά εφόδια για να συνεχίσω να κάνω αυτό που αγαπώ. Ξέρω, ότι καμιά φορά τους αδίκησα ή δεν πέρασα μαζί τους παραπάνω χρόνο που αυτοί θα ήθελαν, και για αυτό το αποτέλεσμα αυτού του ταξιδιού τους το αφιερώνω. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στον Δημήτρη Σαρκίζογλου ο οποίος στάθηκε δίπλα μου πολύ υποστηρικτικά καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον καθηγητή μου και συν-επιβλέποντα της Διδακτορικής Διατριβής Κωνσταντίνο Ποϊραζίδη. Η γνωριμία μας έγινε το 2011, και από τότε, η αφοσίωσή του στο πρόσωπό μου και η αμέριστη υποστήριξή του σε κάθε ακαδημαϊκό, και όχι μόνο, βήμα μου, ήταν καταληκτική. Όμως, πέρα από καθηγητής, ο κ. Ποϊραζίδης είναι δάσκαλος με όλη τη σημασία του όρου. Με δίδαξε πώς να παίρνω αποφάσεις με γνώμονα την ηθική και την αλήθεια, πώς να σκέφτομαι, πώς να δουλεύω, πώς να συνεργάζομαι, και πάρα πολλά άλλα «πώς» που με βοηθήσαν και με βοηθούν να προχωράω. Κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου είχα την τύχη να γνωρίσω τον κ. Σταμάτη Καλογήρου, ο οποίος μου έδειξε μεγάλη εμπιστοσύνη και ανέλαβε την επίβλεψη τόσο της Μεταπτυχιακής Εργασίας όσο και της Διδακτορικής Διατριβής μου. Μου έδωσε χωρίς κανένα δισταγμό τις γνώσεις του στη Χωρική Ανάλυση, ενώ ήταν πάντα εκεί για να με συμβουλευτεί και να με καθοδηγήσει κατάλληλα και αποτελεσματικά. Δυστυχώς, η ολοκλήρωση της Διδακτορικής

Διατριβής, αν και το θέλαμε και οι δύο πολύ, δεν μας βρίσκει, τυπικά, μαζί. Το δύσκολο έργο της ολοκλήρωσης το ανέλαβε ο καθηγητής κ. Χρίστος Χαλκιάς, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και δέχτηκε να αναλάβει την επίβλεψη της παρούσας διατριβής. Οι συμβουλές και οι διορθώσεις του διαδραμάτισαν σημαντικότερο ρόλο στην επιτυχή ολοκλήρωσή της εργασίας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω και στον καθηγητή κ. Δημήτριο Σταθάκη, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής. Η επιστημονική του καθοδήγηση και οι παρατηρήσεις του ήταν πάντα πολύ εποικοδομητικές, βοηθώντας με σημαντικά να σκεφτώ και να αναθεωρήσω τις διάφορες πτυχές της έρευνας.

Φυσικά, μέσα σε αυτά τα χρόνια, είχα την τύχη να λαμβάνω γνώσεις και βοήθεια από ανθρώπους που δεν ήταν μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, και θα ήθελα να τους ευχαριστήσω θερμά. Τέτοια περίπτωση ήταν του κ. Παντελεήμων Ξόφη, επίκουρου καθηγητή στο Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος, ο οποίος με δίδαξε τα μυστικά της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης. Σημαντική ήταν η συνεισφορά του στη συγγραφή του πρώτου και τρίτου άρθρου της Διδακτορικής Διατριβής, όπου μέσα από τα εποικοδομητικά του σχόλια και παρατηρήσεις με βοήθησε σημαντικά να κατανοήσω το πολύπλοκο Μεσογειακό τοπίο, καθώς και τον ακαδημαϊκό τρόπο γραφής. Μεγάλο ευχαριστώ οφείλω επίσης στον κ. Αριστοτέλη Μαρτίνη, επίκουρο καθηγητή του Ιονίου Πανεπιστημίου, του οποίου η υποστήριξη, η ενθάρρυνση, και η ευγένειά του με βοήθησαν στην επιτυχή ολοκλήρωση των σπουδών μου. Ευχαριστώ επίσης τον καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Διονύσιο Καλύβα, και τον επίκουρο καθηγητή του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου κ. Βασίλειο Δέτση, που μαζί με τους κ. Παντελεήμων Ξόφη και κ. Αριστοτέλη Μαρτίνη δέχτηκαν να αποτελέσουν τα μέλη της επταμελούς επιτροπής εξέτασης.

Καθοριστική ήταν η βοήθεια που έλαβα από τον πρόεδρο του τμήματος Γεωγραφίας καθηγητή κ. Ευθύμιο Καρύμπαλη, ο οποίος ανέλαβε το ρόλο του επιστημονικά υπεύθυνου της υποτροφίας που έλαβα από το ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ., ενώ συνέβαλε και σε άλλα σημαντικά ζητήματα για την ομαλή εκπόνηση της Διδακτορικής μου έρευνας. Την ευγνωμοσύνη μου θα ήθελα επίσης να εκφράσω στις κ. Ειρήνη Πρωτογεράκη (υπαλλήλου Ε.Λ.Κ.Ε. του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου) και κ. Βασιλική Κερασιώτη (υπαλλήλου Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας) που συνέβαλαν στην ομαλή συνέχιση και περάτωση της εργασίας. Αρωγός κατά τη διάρκεια των αναλύσεων της διατριβής στάθηκε επίσης και η εταιρεία λογισμικών γεωπληροφορικής Inforest Research O.C. και ιδιαιτέρως η κ. Μαρουλιώ Χανιώτη, η οποία μου παρείχε χωρίς κανένα κόστος τα λογισμικά eCognition Developer 9 και ENVI 5.3.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην πολύ καλή φίλη Υπ. Δρ. Αθανασία (Νάνσυ) Καραγεώργη για την αμέριστη υποστήριξη, και βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Δρ. Πολυξένη (Ξένια) Κατσιγιάννη, και την Υπ. Δρ. Γεωργία Τσεβά με τις οποίες μοιράστηκα τις σκέψεις, το άγχος και τους προβληματισμούς μου σε διάφορα στάδια συγγραφής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	XIX
ABSTRACT.....	XXI
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	XXIII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	XXIV
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ.....	XXV
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	XXVII

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

<u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	<u>1</u>
1.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	3
1.2 ΣΤΟΧΟΙ, ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	6
1.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	8
1.4 ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

<u>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ</u>	<u>13</u>
2.1 Η ΧΡΗΣΗ/ΚΑΛΥΨΗ ΤΗΣ ΓΗΣ, ΚΑΙ ΤΟ ΤΟΠΙΟ.....	15
2.1.1 Η ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ Η ΚΑΛΥΨΗ ΤΗΣ ΓΗΣ	15
2.1.2 ΤΟ ΤΟΠΙΟ ΚΑΙ Η ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΤΟΠΙΟΥ	17
2.2 Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ	18
2.3 Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ	23
2.4 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ: ΜΕΘΟΔΟΙ, ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	24
2.4.1 Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ	24
2.4.2 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ	34
2.5 ΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΙ, ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	42

2.5.1	ΟΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗΡΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ.....	42
2.5.2	ΠΟΣΟΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΙΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ.....	51
2.6	ΠΡΟΒΛΕΨΗ/ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

<u>ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ</u>		63
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	65
3.2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	67
3.2.1	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	67
3.2.2	ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ.....	69
3.2.3	ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ	77
3.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	78
3.3.1	ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ.....	78
3.3.2	ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ	82
3.4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

<u>ΕΡΜΗΝΕΥΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ</u>		95
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	97
4.2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	99
4.2.1	ΔΕΔΟΜΕΝΑ	99
4.2.2	ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ	104
4.2.3	ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ	105
4.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	108
4.3.1	ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ	108
4.3.2	ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ.....	112
4.3.3	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ.....	114
4.4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	121

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

<u>ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ & ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ</u>	<u>127</u>
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	129
5.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	130
5.2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	130
5.2.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ	133
5.2.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ	140
5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	140
5.3.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	140
5.3.2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ ΤΟ 2045.....	142
5.4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	145

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

<u>ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	<u>149</u>
6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ	151
6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	153
6.2.1 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ	153
6.2.2 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΡΜΗΝΕΥΤΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ	154
6.2.3 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ.....	156
6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	158
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	<u>159</u>
<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ</u>	<u>193</u>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές της Μεσογείου, η μακρόχρονη αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τη φύση έχει ως αποτέλεσμα τη σύνθεση ενός ετερογενούς τοπίου, πλούσιο σε πολιτιστικά και φυσικά στοιχεία. Όμως, οι κοινωνικοοικονομικές μεταβολές σε συνδυασμό με τα ιδιαίτερα βιοφυσικά χαρακτηριστικά των περιοχών, επιφέρουν μεταβολές στις χρήσεις/καλύψεις γης, δημιουργώντας σε πολλές περιπτώσεις, μη αναστρέψιμες βλάβες στο φυσικό περιβάλλον. Έτσι, η ολοκληρωμένη προσέγγιση του ζητήματος, μέσω α) της συστηματικής παρακολούθησης των αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης, β) της εύρεσης των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής, καθώς και γ) της πρόβλεψης της σύστασης και δομής του τοπίου, κρίνεται ως προαπαιτούμενο για την βιώσιμη διαχείριση αυτών των περιοχών.

Στο παραπάνω πλαίσιο, η διδακτορική διατριβή στοχεύει στην ολοκληρωμένη μελέτη των μεταβολών του Μεσογειακού τοπίου των Ιονίων Νήσων, εφαρμόζοντας σύγχρονες τεχνικές γεωπληροφορικής. Συγκεκριμένα, για τη χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης αναπτύχθηκε ένα σχήμα αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης, το οποίο είναι άμεσα εφαρμόσιμο για τη συστηματική παρακολούθηση Μεσογειακών περιοχών, που παρουσιάζουν όμοια χαρακτηριστικά τοπίου με αυτά των Ιονίων Νήσων. Με σκοπό την ερμηνεία των μεταβολών του τοπίου, και την εύρεση των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής, εφαρμόστηκαν ολικά και τοπικά μοντέλα παλινδρόμησης. Έπειτα, για την πρόβλεψη της μελλοντικής σύστασης και δομής του τοπίου, χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός δύο μοντέλων: α) των Μαρκοβιανών αλυσίδων για την εύρεση της μελλοντικής ζήτησης των χρήσεων/καλύψεων γης, σε τρία διαφορετικά σενάρια και β) το *Future Land Use Simulation Model*, για τη χωροθέτηση των χρήσεων/καλύψεων γης.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων φάνηκε η υψηλή δυναμική των χρήσεων/καλύψεων γης των Ιονίων Νήσων, η οποία διαφέρει ως προς την ένταση και κατεύθυνση τόσο εντός όσο και μεταξύ των νησιών. Η εφαρμογή των μοντέλων παλινδρόμησης ανέδειξε τους βασικούς κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις διαδικασίες μεταβολής του τοπίου, καθώς και τα κύρια βιοφυσικά χαρακτηριστικά των περιοχών στις οποίες συμβαίνουν αλλαγές. Στο τελευταίο τμήμα των αναλύσεων, η σύνθεση και δομή του τοπίου, προβλέφθηκε ότι μπορεί να διαμορφωθεί ανάλογα με την ένταση των ανθρωπογενών πιέσεων και των φαινομένων πυρκαγιάς, σε δύο κύρια πρότυπα. Το πρώτο αναφέρεται στην εξάπλωση των υψηλής ποιότητας οικοσυστημάτων, ενώ αντίθετα, το δεύτερο αναφέρεται στην υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης.

Συμπερασματικά, η χρήση σύγχρονων τεχνικών και δεδομένων τηλεπισκόπησης προσφέρει ένα γρήγορο και αποτελεσματικό μέσο συστηματικής παρακολούθησης της μεταβολής του τοπίου, το οποίο είναι σημαντικό για την άμεση λήψη κατάλληλων διαχειριστικών μέτρων. Παράλληλα, η αξιοποίηση καινοτόμων μεθόδων χωρικής ανάλυσης και γεωπληροφορικής για την ερμηνεία και την πρόβλεψη των μεταβολών του τοπίου (π.χ. Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση, *Future Land Use Simulation Model*, κοκ) προσφέρει ένα σημαντικό εργαλείο για την προώθηση βιώσιμων στρατηγικών διαχείρισης που θα λαμβάνουν υπόψη σημαντικές λειτουργίες και διαδικασίες των οικοσυστημάτων μιας περιοχής, καθώς επίσης και την αυξανόμενη ζήτηση από τον άνθρωπο για φυσικούς πόρους.

Λέξεις Κλειδιά: Αλλαγές Χρήσεων/Καλύψεων γης, Αντικειμενοστραφής Ταξινόμηση, Κοινωνικό-περιβαλλοντικοί Παράγοντες, Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση, Κυψελοειδή Αυτόματα, Μεσογειακό Τοπίο, Ιόνια Νησιά.

ABSTRACT

In Mediterranean islands and coastland areas, the historical interaction between anthropogenic and human processes resulted in the creation of heterogeneous landscapes, with high cultural and natural value. However, socio-economic changes, along with biophysical characteristics, have altered land use/cover, causing, in some cases, irreversible impacts on the natural environment. An integrated approach for exploring landscape transitions, as a prerequisite for sustainable management of ecosystems, consists of a) a systematic monitoring of land use/cover, b) the identification of the driving forces causing changes, and c) the future simulation of the landscape's composition and structure.

In this context, this doctoral dissertation aims to the comprehensive study of landscape changes in the Ionian Islands, through the application of contemporary geoinformatics techniques. Specifically, to map land use/cover, an object-oriented classification scheme was developed, which could directly be applied for the systematic monitoring of Mediterranean sites with similar landscapes, such as those of the Ionian Islands. To interpret landscape transitions and to identify the main driving forces of changes, global and local regression models were employed. The prediction of the future landscape composition and structure was conducted through the integration of two modeling approaches: a) the Markov chain, to estimate future land use demands, under the three different scenarios, and b) the Future Land Use Simulation model, for allocating the future land use/cover categories.

The main findings indicated the highly dynamic landscape of Ionian Islands, which varied in terms of magnitude and direction within and among the islands. The application of regression models highlighted the key socio-economic factors affecting landscape processes and indicated the main biophysical characteristics of the areas where landscape changes occurred. The future simulation of land use/cover predicted that the landscape of the Ionian Islands would be following two different patterns. The first pattern refers to the expected increase of high-quality ecosystems (mainly, natural vegetation and agro-forest ecosystems), while the second refers to the degradation of natural vegetation. Anthropogenic pressures and fire events showed a significant contribution to these two expected patterns of change.

In conclusion, the use of contemporary remote sensing techniques and data offers an effective means for the systematic monitoring of landscape changes, which, in turn, is critical for the evaluation of appropriate management measures. In parallel, utilizing innovative spatial analysis and geoinformatics methods for the interpretation and prediction of the landscape provides an important

tool in designing sustainable management strategies, taking into account ecosystem functions and processes, as well as the growing human demand for natural resources.

Keywords: Land Use/Cover Changes, Object-Oriented Based Classification, Socio-environmental Factors, Geographical Weighted Regression, Cellular Automata, Mediterranean Landscape, Ionian Islands

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1. Δομή Διδακτορικής Διατριβής.....	7
Εικόνα 1.2. Περιοχή μελέτης.	9
Εικόνα 2.1. Αλληλουχία μελέτης των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης.....	21
Εικόνα 2.2. Το σύστημα αλλαγών του τοπίου.	24
Εικόνα 2.3. Στάδια αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης εικόνων.	28
Εικόνα 2.4. Οι εφαρμογές OBIA στη διεθνή βιβλιογραφία.....	29
Εικόνα 2.5. Αριθμός δημοσιευμένων εργασιών που εφαρμόζουν τις διάφορες μεθόδους ταξινόμησης σε εικόνες Landsat.	33
Εικόνα 2.6. Μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις άμεσες και βαθύτερες αιτίες μεταβολής του τοπίου.	44
Εικόνα 2.7. Τα τέσσερα εννοιολογικά μοντέλα.	46
Εικόνα 2.8. Τα εννοιολογικά μοντέλα, προσαρμοζόμενα σε σχέση με την κλίμακα ανάλυσης και τους σκοπούς της μελέτης.....	48
Εικόνα 2.9. Η σχέση μεταξύ των διαδικασιών μεταβολής της κάλυψης γης και των μοντέλων προσομοίωσης/πρόβλεψης.	56
Εικόνα 2.10. α) η γειτονιά Von Neumann, και β) η γειτονιά Moore.	57
Εικόνα 2.11. Ροή εργασιών πρόβλεψης/προσομοίωσης των χρήσεων καλύψεων γης μέσω των Κυψελωδών Αυτομάτων.....	59
Εικόνα 3.1. Πολυγωνικά αρχεία αγροτικών εκτάσεων.....	68
Εικόνα 3.2. Οικισμοί Ιονίων Νήσων για τα έτη 1985 και 2015.....	69
Εικόνα 3.3. Διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης εικόνας.....	70
Εικόνα 3.4. Ιεραρχικό σχήμα ταξινόμησης.....	72
Εικόνα 3.5. Χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης των Π.Ε. Κέρκυρας και Λευκάδας.....	80
Εικόνα 3.6. Χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης των Π.Ε. Κεφαλονιάς και Ζακύνθου.....	81
Εικόνα 3.7. Ποσοστά κατηγοριών χρήσεων καλύψεων γης στα Ιόνια Νησιά.....	79
Εικόνα 3.8. Χάρτης όπου παρουσιάζονται οι περιοχές που διατήρησαν τη χρήση/ κάλυψης γης	83
Εικόνα 3.9. Χάρτης συχνότητας εμφάνισης πυρκαγιάς.....	93
Εικόνα 4.1. Υψηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση.....	100
Εικόνα 4.2. Μέσης Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση.....	100
Εικόνα 4.3. Χαμηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση.....	101
Εικόνα 4.4. Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες.	101

Εικόνα 4.5. Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες.	102
Εικόνα 4.6. Χαρακτηρισμός μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης.	104
Εικόνα 4.7. Χάρτης μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης.	111
Εικόνα 4.8. Συστάδες για το GWR μοντέλο φυσικής αναγέννησης.	117
Εικόνα 4.9. Συστάδες για το GWR μοντέλο υποβάθμισης.	118
Εικόνα 4.10. Συστάδες για το GWR μοντέλο εντατικοποίησης.	119
Εικόνα 4.11. Συστάδες για το GWR μοντέλο εγκατάλειψης.	120
Εικόνα 4.12. Συστάδες για το GWR μοντέλο αστικοποίησης.	121
Εικόνα 5.1. Χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης για τα έτη 1985, 1995, 2005 και 2015	132
Εικόνα 5.2. Διάγραμμα ροής εργασιών/μεθοδολογικό πλαίσιο	134
Εικόνα 5.3. Τάσεις χρήσεων/καλύψεων γης (1985 - 2015) & σενάρια.	136
Εικόνα 5.4. Προβλεπόμενος και ταξινομημένος χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης.	141
Εικόνα 5.5. Χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης για το έτος 2045, υπό τα τρία διαφορετικά σενάρια.	143

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Μέθοδοι ανίχνευσης αλλαγών.	37
Πίνακας 2.2. Επιλεγμένες μελέτες ερμηνείας των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης	50
Πίνακας 2.3. Επιλεγμένες μελέτες, που εφαρμόζουν τη GWR για την εύρεση των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης.	53
Πίνακας 2.4. Επιλεγμένες μελέτες πρόβλεψης/προσομοίωσης των χρήσεων/καλύψεων γης.	61
Πίνακας 3.1. Ημερομηνίες λήψης δορυφορικών εικόνων.	67
Πίνακας 3.2. Δείκτες βλάστησης.	71
Πίνακας 3.3. Τα επίπεδα και οι κατηγορίες ταξινόμησης.	73
Πίνακας 3.4. Κατηγορίες κάλυψης γης ανάλογα με την πολυπλοκότητα ταξινόμησης.	75
Πίνακας 3.5. Συνολική ακρίβεια ταξινόμηση και Kappa Statistic.	78
Πίνακας 3.6. Εκτάσεις και ποσοστό κάλυψης χρήσεων/καλύψεων γης στα Ιόνια Νησιά για τα έτη 1985 και 2015.	78
Πίνακας 3.7. Πίνακας μεταβολών καλύψεων/χρήσεων γης για την Π.Ε. Κέρκυρας.	85
Πίνακας 3.8. Πίνακας μεταβολών καλύψεων/χρήσεων γης για την Π.Ε. Λευκάδας.	86
Πίνακας 3.9. Πίνακας μεταβολών καλύψεων/χρήσεων γης για την Π.Ε. Κεφαλονιάς.	87
Πίνακας 3.10. Πίνακας μεταβολών καλύψεων/χρήσεων γης για την Π.Ε. Ζακύνθου.	88
Πίνακας 3.11. Πληθυσμιακή πυκνότητα κατά την περίοδο 1941 – 2011.	90
Πίνακας 3.12. Πυκνότητα κλινών κατά την περίοδο 1996 – 2015.	91

Πίνακας 3.13. Πυκνότητα κτηνοτροφικών ζώων κατά την περίοδο 1981 – 2011.....	92
Πίνακας 3.14. Καμένες Εκτάσεις (ha) κατά την περίοδο 1985 – 2015.	92
Πίνακας 4.1. Πιθανοί κινητήριοι παράγοντες μεταβολών του τοπίου – Ανεξάρτητες μεταβλητές.	103
Πίνακας 4.2. Δείκτες τοπίου (σε επίπεδο τοπίου) για τα έτη 1985 και 2015.....	109
Πίνακας 4.3. Δείκτες τοπίου (σε επίπεδο κλάσης) για τα έτη 1985 και 2015.....	109
Πίνακας 4.4. Πίνακας μεταβολών καλύψεων/χρήσεων γης.....	110
Πίνακας 4.5. Στατιστικά καλής προσαρμογής μοντέλων.....	112
Πίνακας 4.6. Αποτελέσματα Πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης.....	113
Πίνακας 4.7. Εκτιμώμενοι παράμετροι των δύο τύπων μοντέλων, για τα μοντέλα Φυσικής Αναγέννησης και Υποβάθμισης.	115
Πίνακας 4.8. Εκτιμώμενοι παράμετροι των δύο τύπων μοντέλων για τα μοντέλα Εντατικοποίησης και Εγκατάλειψης.	115
Πίνακας 4.9. Εκτιμώμενοι παράμετροι των δύο τύπων μοντέλων για το μοντέλο Αστικοποίησης.	116
Πίνακας 5.1. Μεταβλητές πρόβλεψης χρήσεων/καλύψεων γης.	133
Πίνακας 5.2. Πιθανότητες μεταβολής των έξι κατηγοριών χρήσεων/καλύψεων γης.....	136
Πίνακας 5.3. Κόστος μετατροπής κατηγοριών χρήσεων/καλύψεων γης,.....	139
Πίνακας 5.4. Έλεγχος ακρίβειας πρόβλεψης.	141
Πίνακας 5.5. Ποσοστά χρήσεων/καλύψεων γης για τα έτη 1985, 1995, 2005, 2015, και 2045	142
Πίνακας 5.6. Μετρικές τοπίου, υπολογιζόμενες σε επίπεδο τοπίου	144
Πίνακας 5.7. Μετρικές τοπίου, υπολογιζόμενες σε επίπεδο κλάσης.	145

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΙΚΟΝΕΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα Παραρτήματος 1. Μεταβλητές Φυσικών Καταστροφών (Κεφάλαιο 4).	203
Εικόνα Παραρτήματος 2. Περιβαλλοντικές Μεταβλητές (Κεφάλαιο 4).	204
Εικόνα Παραρτήματος 3. Κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές (Κεφάλαιο 4).	205
Εικόνα Παραρτήματος 4. Αποτέλεσμα μοντέλου GWR για τη φυσική αναγέννηση.	206
Εικόνα Παραρτήματος 5. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την υποβάθμιση (1/2).	207
Εικόνα Παραρτήματος 6. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την υποβάθμιση (2/2).	208
Εικόνα Παραρτήματος 7. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την εντατικοποίηση (1/2).	209
Εικόνα Παραρτήματος 8. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την εντατικοποίηση (2/2).	210
Εικόνα Παραρτήματος 9. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την εγκατάλειψη (1/2).	211

Εικόνα Παραρτήματος 10. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την εγκατάλειψη (2/2).	212
Εικόνα Παραρτήματος 11. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την αστικοποίηση (1/2).	213
Εικόνα Παραρτήματος 12. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την αστικοποίηση (2/2).	214
Εικόνα Παραρτήματος 13. Περιβαλλοντικές Μεταβλητές (Κεφάλαιο 5).	215
Εικόνα Παραρτήματος 14. Μεταβλητές Απόστασης (Κεφάλαιο 5).	216
Εικόνα Παραρτήματος 15. Κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές (Κεφάλαιο 5).	217
Εικόνα Παραρτήματος 16. Μεταβλητές φυσικών καταστροφών (Κεφάλαιο 5).	218

ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Πίνακας Παραρτήματος 1. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 1985 στην ΠΕ Κέρκυρας. 195	
Πίνακας Παραρτήματος 2. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2015 στην ΠΕ Κέρκυρας. 196	
Πίνακας Παραρτήματος 3. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 1985 στην ΠΕ Λευκάδας. 197	
Πίνακας Παραρτήματος 4. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2015 στην ΠΕ Λευκάδας. 198	
Πίνακας Παραρτήματος 5. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 1985 στην ΠΕ Κεφαλονιάς.	199
Πίνακας Παραρτήματος 6. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2015 στην ΠΕ Κεφαλονιάς.	200
Πίνακας Παραρτήματος 7. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 1985 στην ΠΕ Ζακύνθου...201	
Πίνακας Παραρτήματος 8. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2015 στην ΠΕ Ζακύνθου. 202	
Πίνακας Παραρτήματος 10. Περιγραφικά στατιστικά ερμηνευτικών παραγόντων	203

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

A-C	Actors-Change model
AIC	Akaike Information Criterion
ANN	Artificial Neural Network
AWMSI	Area Weighted Mean Shape Index
CA	Cellular Automata
CVA	Change Vector Analysis
DFA-C	Driving Forces Actors-Change model
DF-A-C	Driving Forces-Actors-Change model
DF-C	Driving Force-Change model
DI	Disturbance Index
ED	Edge Density
ENN	Euclidian Nearest Neighbor
EVI	Enhanced Vegetation Index
FLUS	Future Land Use Simulation Model
GLM	Generalized Linear Model
GWR	Geographical Weighted Regression
LiDAR	Light Detection and Ranging
LR	Logistic Regression
MAD	Multivariate Alteration Ration
MC	Markov Chains
Mean.PROX	Mean Proximity Index
MNDWI	Modified Normalized Differencing Water Index
MPAR	Mean Perimeter-Area Ration
MPS	Mean Patch Size
NDMI	Normalized Differencing Moisture Index
NDVI	Normalized Differencing Vegetation Index
NP	Number of Patch
OBIA	Object-Based Image Analysis
PCA	Principal Component Analysis
RF	Random Forest
SAR	Synthetic Aperture Radar
(M)SAVI	(Modified) Soil Adjusted Vegetation Index
SD	System Dynamic models
SHDI	Shannon's Diversity Index

SHEI	Shannon's Evenness Index
SVM	Support Vector Machine
TE	Total Edge
VHR	Very-High Resolution Image
ΑΣ	Αστικές Περιοχές
ΑΣΤ	Αστικοποίηση
ΓΠΣ	Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα
ΕΓΚ	Εγκατάλειψη
ΕΝΤ	Εντατικοποίηση
ΚΑ	Κυψελοειδή Αυτόματα
ΚΑΠ	Κοινή Αγροτική Πολιτική
ΜΠΕ	Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες
ΜΠΦΒ	Μέσης Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση
Π.Ε.	Περιφερειακή Ενότητα
ΥΠΕ	Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες
ΥΠΟ	Υποβάθμιση
ΥΠΦΒ	Υψηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση
ΦΑΝ	Φυσική Αναγέννηση
ΧΠΦΒ	Χαμηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση



"Mediterranean Landscape"
Pablo Picasso-1952

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Οι μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης είναι ένα σύνθετο φαινόμενο το οποίο οδηγείται κυρίως από α) την ανθρώπινη δραστηριότητα, β) τις φυσικές διαδικασίες και γ) τις φυσικές και ανθρωπογενείς καταστροφές (Bajocco et al., 2016; Lambin et al., 2001). Ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες, ο συνδυασμός των αυξανόμενων ανθρωπογενών πιέσεων μαζί με τα φαινόμενα φυσικών καταστροφών έχει επιφέρει σημαντικές μεταβολές στα οικοσυστήματα της Γης, όπως είναι η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και ο κατακερματισμός του τοπίου (De Montis et al., 2017). Για το λόγο αυτό, η μελέτη, ερμηνεία και πρόβλεψη της κάλυψης γης, καθίσταται ως ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά και κοινωνικά επιστημονικά ζητήματα παγκοσμίως (Krausmann et al., 2003).

Οι μεταβολές στην κάλυψη γης, επηρεάζουν σημαντικά την ετερογένεια και ποικιλότητα του τοπίου, ευνοώντας ή παρεμποδίζοντας τη ροή ενέργειας και των λειτουργιών των οικοσυστημάτων (Jongman 2002; Lorilla et al., 2018). Η μελέτη της δυναμικής μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης αποτελεί τη βάση για την κατανόηση των προτύπων μεταβολής του τοπίου. Παράλληλα, η διατήρηση ή αποκατάσταση της ετερογένειας του τοπίου είναι σήμερα στο επίκεντρο ενδιαφέροντος τόσο σε θέματα που αφορούν τη διατήρηση της βιοποικιλότητας όσο και σε θέματα βιώσιμου σχεδιασμού του τοπιακού χώρου (Hernández-Morcillo et al., 2013; Jaafari et al., 2016).

Στις νησιωτικές και ηπειρωτικές περιοχές της Μεσογείου, η αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τη φύση συμβαίνει για χιλιάδες χρόνια, συνθέτοντας ένα ποικίλο τοπίο, πλούσιο σε πολιτιστικά και φυσικά στοιχεία (Bajocco et al., 2012; Geri et al., 2010; Vogiatzakis & Griffiths, 2008). Παράλληλα, η υψηλή ετερογένεια, που χαρακτηρίζει το Μεσογειακό τοπίο, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση των υψηλών επιπέδων βιοποικιλότητας και στην παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών (Lorilla et al., 2019; Zomeni et al., 2008). Όμως, από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα οι ραγδαίες κοινωνικοοικονομικές μεταβολές που παρατηρούνται στην περιοχή, μαζί με την κλιματική αλλαγή, συνεισφέρουν σημαντικά στην αλλαγή των χρήσεων/καλύψεων γης, δημιουργώντας σε πολλές περιπτώσεις μη αναστρέψιμες βλάβες στο φυσικό περιβάλλον (π.χ. φαινόμενα ερημοποίησης) (Blondel et al., 2010; Geri et al., 2010a; Petanidou et al., 2008). Κάποιες από τις σημαντικότερες διαδικασίες μεταβολής του τοπίου είναι η εντατικοποίηση και εγκατάλειψη των αγρών στις ηπειρώτικές και ορεινές/ημι-ορεινές περιοχές, η αστικοποίηση των παράκτιων περιοχών, και η υποβάθμιση ή φυσική αναγέννηση των περιοχών που καλύπτονται από φυσική βλάστηση (Estel et al., 2015; Parcerisas et al., 2012; Pert et al., 2015; Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011).

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες μελέτες χαρτογράφησης και ερμηνείας των μεταβολών του τοπίου σε ηπειρωτικές περιοχές της Μεσογείου (Kilic et al., 2006; Kolios & Stylios, 2013; Lamine et al., 2017; Romano et al., 2018; Xofis & Poirazidis, 2018). Αντίθετα, τα νησιά και νησιωτικά συμπλέγματα είναι λιγότερο μελετημένα, με λίγες επιστημονικές εργασίες να εστιάζουν σε αυτού του τύπου περιβάλλοντα (Mei et al., 2016; Symeonakis et al., 2012; Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011). Παράλληλα, ενώ, οι μεταβολές της σύνθεσης και δομής του τοπίου, όπως και οι κινητήριοι παράγοντες αυτών, μπορεί να είναι όμοιες στις ηπειρωτικές και νησιωτικές περιοχές της Μεσογείου, οι επιδράσεις στα νησιωτικά φυσικά και αγροτικά οικοσυστήματα μπορεί να διαφέρουν σημαντικά, λόγω των ιδιαιτεροτήτων που τα νησιά παρουσιάζουν, όπως είναι το μέγεθος, η γεωγραφική απομόνωση, η διαθεσιμότητα των πόρων κ.α. (Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011).

Η τηλεπισκόπηση παρέχει αποτελεσματικές και χαμηλού κόστους λύσεις για τη χαρτογράφηση και τη διαχρονική παρακολούθηση των χρήσεων/καλύψεων γης τόσο σε μικρές, όσο και σε μεγάλες γεωγραφικά περιοχές (Nagendra et al., 2013). Τα τελευταία χρόνια, η ακρίβεια των χαρτογραφήσεων που εξάγονται από την επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι ιδιαίτερος υψηλή, κυρίως λόγω των νέων αλγορίθμων και τεχνικών επεξεργασίας που έχουν αναπτυχθεί, όπως επίσης και των νέων, δορυφορικών εικόνων, καλύτερης ανάλυσης (φασματικής και χωρικής), που προσφέρονται (Liu et al., 2018; Otukei & Blaschke, 2010). Σχετικά με τις νέες τεχνικές επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων, η Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνων (*Object-Oriented Image Analysis - OBIA*) αποτελεί μία νέα προσέγγιση, κυρίως για την ταξινόμηση χρήσεων/καλύψεων γης. Σε περιπτώσεις χαρτογράφησης περιοχών με υψηλή ετερογένεια, η OBIA παρέχει ακριβέστερα αποτελέσματα απ' ό,τι η παραδοσιακή προσέγγιση που στηρίζεται στο εικονοστοιχείο (*Pixel-Based Classification*) (Galidaki & Gitas, 2014). Το βασικό πλεονέκτημα της OBIA είναι ότι η αναγνώριση και ταξινόμηση των στοιχείων της επιφάνειας της γης δεν στηρίζεται μόνο στα φασματικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων, αλλά και σε άλλες ιδιότητες όπως είναι το μέγεθος του χαρακτηριστικού, η θέση του στο χώρο, το σχήμα και η υφή του (Baatz & Schäpe, 2000; Kindu et al., 2013).

Εκτός όμως από τη χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης και της διερεύνησης της δυναμικής μεταβολής τους, κρίσιμο ζήτημα αποτελεί και η εύρεση των κινητήριων δυνάμεων που επιφέρουν τις αλλαγές αυτές (Plieninger et al., 2016). Διάφορες προσεγγίσεις εύρεσης των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής του τοπίου έχουν προταθεί. Σε αυτές περιλαμβάνονται ποιοτικές προσεγγίσεις, που είναι και η πλειονότητα των μελετών, στις οποίες οι ερευνητές συνδέουν τις παρατηρούμενες μεταβολές με διάφορους κοινωνικό-περιβαλλοντικούς παράγοντες, βασιζόμενοι σε προσωπικές ερμηνείες και

βιβλιογραφικές αναφορές (Plieninger et al., 2016). Από την άλλη πλευρά, στις υπολογιστικές προσεγγίσεις η σύνδεση των κινητήριων δυνάμεων με τις μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης γίνεται μέσω στατιστικών τεχνικών όπως είναι η Λογιστική (*Logistic Regression*) ή Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση (*Generalized Linear Model - GLM*) και η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (*Principal Component Analysis - PCA*) (Alig & Healy, 1987; Feng & Tong, 2018; Hietel et al., 2007; Liverman & Cuesta, 2008). Ωστόσο, το βασικό μειονέκτημα των παραπάνω υπολογιστικών προσεγγίσεων είναι ότι το επίπεδο ανάλυσης αφορά το σύνολο της περιοχής μελέτης, μη επιτρέποντας τη διερεύνηση τυχόν γεωγραφικών διαφοροποιήσεων εντός αυτής. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε η Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (*Geographical Weighted Regression - GWR*), η οποία χρησιμοποιείται για την εύρεση των γεωγραφικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ της εξαρτημένης (μεταβολή χρήσης/κάλυψης γης) και των ανεξάρτητων μεταβλητών (κινητήριες δυνάμεις) (Anselin, 2002; Charlton & Fotheringham, 2002). Λόγω αυτού το βασικού πλεονεκτήματος, η χρήση της GWR είναι συνεχώς αυξανόμενη σε μελέτες που αποσκοπούν στην εύρεση και ερμηνεία των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής του τοπίου (Li et al., 2015; Maimaitijiang et al., 2015; Wellausen & Freitas, 2013).

Με σκοπό τον αποτελεσματικό σχεδιασμό του χώρου και την αξιολόγηση των συνεπειών της μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, ερευνητές έχουν αναπτύξει και εφαρμόσει διάφορα μοντέλα πρόβλεψης. Τα συχνότερα εφαρμοσμένα μοντέλα είναι τα Κυψελοειδή Αυτόματα (*Cellular Automata - CA*), τα οποία διακρίνονται για την απλή και αποτελεσματική εφαρμογή τους (Agarwal et al., 2002). Όσον αφορά την πρόβλεψη των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης σε κάθε κελί, αυτή στηρίζεται κυρίως σε προκαθορισμένους κανόνες μετάβασης, και στην χωρική κατανομή των γειτονικών κελιών (Ghosh et al., 2017), ενώ σε άλλες προσεγγίσεις καθοριστικό ρόλο στην πρόβλεψη έχει και ο καθορισμός της μελλοντικής ζήτησης για κάθε χρήση/κάλυψη γης (Liu et al., 2017).

Με βάση τα παραπάνω γίνεται σαφές, ότι ο συνδυασμός σύγχρονων και αποτελεσματικών προσεγγίσεων ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων (δηλ. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Τηλεπισκόπηση και Χωρική Ανάλυση) μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο βιώσιμης διαχείρισης μίας περιοχής. Η γνώση που παρέχεται μέσω αυτών των εργαλείων σε επιστήμονες και λήπτες αποφάσεων είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς τους δίνεται η δυνατότητα να μελετήσουν τις διαχρονικές τάσεις μεταβολής της κάλυψης γης, να διερευνήσουν τους κινητήριους παράγοντες

των αλλαγών, να εξετάσουν τις συνέπειες των εφαρμοζόμενων πολιτικών, και να σχεδιάσουν νέες στρατηγικές διαχείρισης με γνώμονα την ευημερία του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.

1.2 Στόχοι, αντικείμενο μελέτης και δομή Διδακτορικής Διατριβής

Με βάση το παραπάνω θεωρητικό πλαίσιο, ως στόχοι της παρούσας διδακτορικής διατριβής ορίζονται: *α) η μελέτη της δυναμικής μεταβολής του Μεσογειακού νησιωτικού τοπίου την περίοδο 1985 – 2015, β) η εύρεση των κινητήριων κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών δυνάμεων μεταβολής του τοπίου, και γ) η πρόβλεψη της μελλοντικής σύστασης και διάρθρωσης του Μεσογειακού νησιωτικού τοπίου.*

Για την επίτευξη των στόχων, η διδακτορική διατριβή διακρίνεται σε έξι κεφάλαια. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.1, τα πρώτα δύο κεφάλαια είναι προκαταρκτικά, όπου αναλύονται το θεωρητικό υπόβαθρο και τα κύρια αντικείμενα ανάλυσης, ενώ τα επόμενα κεφάλαια μπορούν να χαρακτηριστούν ως ο κύριος πυλώνας της διατριβής. Πιο συγκεκριμένα στο 3^ο, 4^ο και 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις που εφαρμόστηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Σε κάθε ένα από αυτά τα κεφάλαια πραγματοποιείται συζήτηση των αποτελεσμάτων όπου ερμηνεύονται και συγκρίνονται τα ευρήματα των αναλύσεων με αυτά άλλων επιστημονικών μελετών. Το 6^ο κεφάλαιο αποτελείται από τη σύνοψη του βασικού αντικειμένου ανάλυσης, των μεθοδολογικών προσεγγίσεων και των εξαγόμενων αποτελεσμάτων, ενώ παράλληλα παρατίθενται τα γενικά και ειδικά συμπεράσματα της διατριβής.

Αναλυτικότερα, η δομή των κεφαλαίων καθώς και οι ειδικοί στόχοι τους είναι:

Κεφάλαιο 1 «Εισαγωγή»: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η γενική περιγραφή του θέματος, περιγράφονται οι στόχοι και τα αντικείμενα ανάλυσης της διατριβής, αναφέρονται οι δημοσιευμένες σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά και συνέδρια εργασίες που εξήχθησαν από τα αποτελέσματα, και παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης.

Κεφάλαιο 2 «Θεωρητικό Πλαίσιο»: Στο δεύτερο κεφάλαιο της διατριβής αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο των μεταβολών της κάλυψης γης. Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τεχνικές χαρτογράφησης και ανίχνευσης των μεταβολών, αναλύονται οι σχέσεις μεταξύ αλλαγών κάλυψης/χρήσης γης με τις κινητήριες δυνάμεις και παρουσιάζονται οι έως σήμερα προσεγγίσεις σύνδεσης των δύο. Επιπροσθέτως, παρουσιάζονται τα χωρικά μοντέλα πρόβλεψης

χρήσεων/καλύψεων γης. Σε κάθε επιμέρους υπό-κεφάλαιο γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στο Μεσογειακό τοπίο, η μελέτη του οποίου αποτελεί ένα από τα κύρια ζητήματα της διατριβής.



Εικόνα 1.1. Δομή Διδακτορικής Διατριβής.

Κεφάλαιο 3 «Χαρτογράφηση των Μεταβολών του Τοπίου»: Σκοπός και αντικείμενο μελέτης του τρίτου κεφαλαίου είναι η διερεύνηση της δυναμικής μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης για περίοδο 30 χρόνων, με τη χρήση δεδομένων και τεχνικών τηλεπισκόπησης. Ειδικότερα, οι επιμέρους στόχοι του κεφαλαίου είναι α) η ανάπτυξη, εφαρμογή και έλεγχος αντικειμενοστραφούς λογικής ταξινόμησης (OBIA) για τη χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης, η οποία θα είναι άμεσα

εφαρμόσιμη και σε άλλα νησιωτικά συμπλέγματα της Μεσογείου, β) η ανίχνευση και χαρτογράφηση των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης, και γ) η διερεύνηση των κύριων δυνάμεων που επιδρούν στις παρατηρούμενες μεταβολές.

Κεφάλαιο 4 «Ερμηνευτικοί Παράγοντες Μεταβολής Τοπίου»: Στο κεφάλαιο αυτό εφαρμόζονται καινοτόμες τεχνικές χωρικής ανάλυσης για την ερμηνεία των μεταβολών του νησιωτικού Μεσογειακού τοπίου, μέσω διάφορων κοινωνικό-περιβαλλοντικών παραγόντων. Αρχικά, προσδιορίζονται και χαρτογραφούνται οι διαδικασίες μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης και διερευνώνται οι μεταβολές της δομής του τοπίου. Η μελέτη της σχέσης μεταξύ μεταβολής και παραγόντων πραγματοποιείται σε δύο κλίμακες ανάλυσης α) για το σύνολο της περιοχής μελέτης – μέσω Πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης (GLM), και β) για κάθε τοπική/δημοτική ενότητα – μέσω Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (GWR).

Κεφάλαιο 5 «Πρόβλεψη της Σύστασης & Δομής του Τοπίου»: Αντικείμενο μελέτης του πέμπτου κεφαλαίου είναι η πρόβλεψη της σύστασης και δομής του τοπίου, κάτω από διαφορετικά σενάρια. Για το σκοπό αυτό, γίνεται ο συνδυασμός δύο διαφορετικών μοντέλων πρόβλεψης: α) του Μαρκοβιανού μοντέλου (*Markovian Chain Analysis*) για τον υπολογισμό της μελλοντικής ζήτησης και β) του Μοντέλου Προσομοίωσης Μελλοντικών Χρήσεων Γης (*Future Land Use Simulation Model - FLUS*) για την προσομοίωση των χρήσεων/καλύψεων γης.

Κεφάλαιο 6 «Σύνοψη - Συμπεράσματα»: Στο τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η σύνοψη του αντικειμένου μελέτης της διδακτορικής διατριβής και παρατίθενται τα γενικά και ειδικά συμπεράσματα που εξάγονται από τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Τέλος, αναφέρονται οι μελλοντικές ερευνητικές προσεγγίσεις, για την εξέλιξη της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

1.3 Περιοχή μελέτης

Ως περιοχής μελέτης της παρούσας διδακτορικής διατριβής ορίζεται η Περιφέρεια Ιονίων Νήσων. Τα Ιόνια Νησιά εκτείνονται κατά μήκος των δυτικών παραλίων της Ελλάδας, με συνολική έκταση 2.296 km² και καλύπτουν το 1,75% της συνολικής έκτασης της χώρας. Αποτελείται από τις Περιφερειακές Ενότητες Κέρκυρας, Λευκάδας, Κεφαλονιάς και Ιθάκης, και Ζακύνθου (Εικόνας 1.2).

Όπως και σε άλλα νησιά και παράκτιες περιοχές της Μεσογείου, στα νησιά του Ιονίου πελάγους, παρουσιάζονται ισχυρές οι φυσικές και ανθρωπογενείς πιέσεις, όπως είναι τα συχνά φαινόμενα πυρκαγιάς (Poirazidis et al., 2018) και οι έντονες, εποχιακές τουριστικές δραστηριότητες (Martinis et

al., 2016; Prokopiou et al., 2008). Παράλληλα όμως με τις έντονες πιέσεις, στην περιοχή βρίσκονται και κάποιες από τις σημαντικότερες προστατευόμενες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου. Στη Ζάκυνθο υπάρχουν τρεις περιοχές που εντάσσονται στο δίκτυο *Natura 2000*, οι οποίες βρίσκονται υπό τη διαχείριση και προστασία του Εθνικού Θαλάσσιου Πάρκου Ζακύνθου, και αποτελούν θεμελιώδους σημασία περιοχές για τα είδη *Caretta caretta*, *Monachus monachus*, καθώς και για άλλα ενδημικά είδη χλωρίδας (Martinis et al., 2016). Στην Κεφαλονιά, το όρος Αίνος είναι μέρος του δικτύου *Natura 2000* και διαχειρίζεται από τον Φορέα Διαχείρισης Εθνικού Δρυμού Αίνου, λόγω των σπάνιων ειδών βλάστησης και ιδιαίτερα της Κεφαλληνιακής Ελάτης (*Abies cephalonica*) και της Μαύρης Πεύκης (*Pinus nigra*). Επιπλέον στην Π.Ε. Κεφαλονιάς εντάσσονται τρεις ακόμη περιοχές στο δίκτυο προστασίας *Natura 2000*. Τέλος, υπό καθεστώς προστασίας είναι δύο και τρεις περιοχές στη Λευκάδα και στην Κέρκυρα, αντίστοιχα.



Εικόνα 1.2. Περιοχή μελέτης.

Τα βασικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των Ιονίων Νήσων είναι οι ορεινοί όγκοι, οι λιμνοθάλασσες, οι χείμαρροι καθώς και οι εύφορες πεδιάδες. Τα υψηλότερα όρη είναι ο Αίνος

(Μεγάλος Σωρός), οι Χιονίστρες, ο Σταυρός και η Κουρκουμπιά στην Κεφαλονιά, ο Σταυρωτάς (ή Ελάτη) στη Λευκάδα, ο Παντοκράτορας στην Κέρκυρα, και ο Βραχιώνας στη Ζάκυνθο. Συνολικά, οι ορεινές εκτάσεις καλύπτουν το 28,3% της έκτασης των Ιονίων, οι ημιορεινές το 35,8% και οι πεδινές το 35,9%. Οι ορεινές εκτάσεις της Λευκάδας καλύπτουν το 72,6% του νησιού. Η Κεφαλονιά μαζί με τη Ζάκυνθο έχουν επίσης εκτεταμένες ζώνες ημιορεινών εκτάσεων, 41,84% και 55,15%, αντίστοιχα. Οι πιο εκτεταμένες πεδινές εκτάσεις εντοπίζονται στο κέντρο της Κέρκυρας και φτάνουν το 68,32% περίπου της έκτασης του νησιού.

Οι κλιματικές συνθήκες διατηρούν τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού Κλίματος, με τους ήπιους και υγρούς χειμώνες και τα θερμά και ξηρά καλοκαίρια (Katsafados et al., 2012). Οι θερμοκρασίες στα Ιόνια παρουσιάζουν διακυμάνσεις από το ένα νησί στο άλλο, με τις υψηλότερες να εμφανίζονται στα νότια και οι χαμηλότερες στα βόρεια. Όσον αφορά τη μέση ετήσια βροχόπτωση, αυτή κυμαίνεται από 950 mm στη Ζάκυνθο και στην Κεφαλονιά, ενώ φτάνει τα 1.100 mm στην Κέρκυρα και στους Παξούς. Οι περισσότερες βροχοπτώσεις σημειώνονται την περίοδο Οκτωβρίου – Φεβρουαρίου.

Τα στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος που απαντώνται στα Ιόνια είναι αείφυλλες σκληρόφυλλες διαπλάσεις και πευκοδάση χαμηλών υψομέτρων. Στα χαμηλότερα υψόμετρα και στις όποιες περιοχές δεν καλλιεργούνται, συναντώνται φρύγανα, ενώ στα υψηλότερα σκληρόφυλλες διαπλάσεις καθώς και φυσικές συστάδες Χαλεπίου Πεύκης (*Pinus halepensis*). Ιδιαίτερα τα δάση Χαλεπίου Πεύκης της Ζακύνθου, έχουν υποβαθμιστεί σημαντικά κυρίως λόγω των επαναλαμβανόμενων πυρκαγιών (Poirazidis et al. 2018). Στην Κεφαλονιά, στον Αίνο, βρίσκεται το μόνο δάσος ενδημικής Κεφαλληνιακής Ελάτης (*Abies cephalonica*) στα Ιόνια Νησιά. Σύμφωνα με τους Λιαρίκο et al., 2012, η βασικότερη κάλυψη γης αφορά τις γεωργικές εκτάσεις. Η γεωργική γη καταλάμβανε το 1987 περίπου 108.100 ha (47% της έκτασης των Ιονίων), ενώ το 2007 αυξήθηκε στα 128.500 ha (56% της έκτασης των Ιονίων). Αντίστοιχα τα δάση και οι δασικές εκτάσεις καταλάμβαναν το 2007 περίπου το 23%, έναντι 24% το 1987. Τέλος οι εκτάσεις χαμηλής βλάστησης φαίνεται να έχουν υποστεί σημαντικές πιέσεις, αφού το 2007 καταλάμβαναν το 16,7%, ποσοστό σημαντικά χαμηλότερο του 24,4% που καταλάμβαναν το 1987.

1.4 Δημοσιεύσεις Διδακτορικής Διατριβής

Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Επιστημονικά Περιοδικά

Kefalas G., Poirazidis K., Xofis P., Kalogirou S. (2018). Mapping and Understanding the Dynamics of Landscape Changes on Heterogeneous Mediterranean Islands with the Use of OBIA: The Case of Ionian Region, Greece. *Sustainability*, 10(9), 2986.

Kefalas G., Kalogirou S., Poirazidis K., Lorilla R.S. (2019). Landscape transition in Mediterranean islands: the case of Ionian Islands, Greece 1985 -2015. *Landscape and Urban Planning*, 191, 103641.

Kefalas G., Poirazidis K., Xofis P., Kalogirou S., Chalkias C. Landscape dynamics on insular environments of south-east Mediterranean Europe. *Geocarto International (Under Review)*.

Δημοσιεύσεις/Ανακοινώσεις σε συνέδρια

Κεφαλάς Γ., Ποϊραζίδης Κ., Καλογήρου Σ., Μαρτίνης Α. (2016). Δυναμική μεταβολή των χρήσεων/καλύψεων γης και του τοπίου των Ιόνιων Νήσων. *8^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οικολογίας. Ελληνική Οικολογική Εταιρία*. Θεσσαλονίκη 20-23 Οκτωβρίου 2016.

Κεφαλάς Γ., Ποϊραζίδης Κ., Καλογήρου Σ., Μαρτίνης Α. (2016). Η Δυναμική μεταβολή των καλύψεων/χρήσεων γης και του τοπίου των Ιονίων Νήσων και η επίδραση των κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων. *9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο HellasGIs*. Ελληνική Εταιρία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Αθήνα 8-9 Δεκεμβρίου 2016.

Κεφαλάς Γ., Ποϊραζίδης Κ., Καλογήρου Σ., Μαρτίνης Α. (2017). Δυναμική μεταβολή των καλύψεων γης και του τοπίου στα Ιόνια Νησιά την περίοδο 1985 – 2011. *2^ο Συνέδριο Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και Χωρικής Ανάλυσης στη Γεωργία και στο Περιβάλλον*. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 25-27 Μαΐου 2017.

Κεφαλάς Γ., Ποϊραζίδης Κ., Ξόφης Π. (2019). Πρόβλεψη της σύνθεσης και δομής του νησιωτικού μεσογειακού τοπίου: η περίπτωση των Ιονίων Νήσων. *3^ο Συνέδριο Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και Χωρικής Ανάλυσης στη Γεωργία και στο Περιβάλλον*. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 11-13 Δεκεμβρίου 2019.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

2.1 Η χρήση/ κάλυψη της γης, και το τοπίο

2.1.1 Η χρήση και η κάλυψη της γης

Κατά τη διάρκεια των ετών διάφορες προσεγγίσεις που καθορίζουν τις έννοιες «χρήση» και κάλυψη» γης έχουν παρουσιαστεί στη διεθνή βιβλιογραφία. Το Συμβούλιο της Καλιφόρνια το 1973 όρισε ως χρήση γης την κατοχή ή τη διασφάλιση οποιασδήποτε επιφάνειας υδάτινης ή χερσαίας για ανθρώπινη δραστηριότητα με προκαθορισμένο σκοπό (CCIR, 1973). Αντίστοιχα οι Mayer et al. (1995) αναφέρουν πως η χρήση γης είναι ο τρόπος και ο σκοπός για τον οποίο οι άνθρωποι χρησιμοποιούν το έδαφος και τους πόρους του. Πιο συγκεκριμένα, οι Turner et al. (1995) ερμήνευσαν τον όρο ως τη χρήση της γης που περιλαμβάνει τόσο τον τρόπο με το οποίο βιοφυσικές ιδιότητες επιδρούν στο έδαφος όσο και το λόγο για τον οποίο χρησιμοποιείται αυτό. Τέλος, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος σημειώνει πως η χρήση γης είναι η ανθρώπινη τροποποίηση του φυσικού περιβάλλοντος ή των μη καλλιεργημένων εκτάσεων σε αγρούς, λιβάδια και οικισμούς (European Environment Agency, 2007). Στην κοινωνικοοικονομική περιγραφή των εκτάσεων αυτών εντάσσονται και περιοχές που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο για διάφορους σκοπούς, όπως για βιομηχανικούς, εμπορικούς, δασοκομικούς και καλλιεργητικούς.

Από την άλλη πλευρά, ο όρος κάλυψη γης, σύμφωνα με τους Turner et. al. (1995) είναι η φυσική κατάσταση (χωρίς την ανθρώπινη επέμβαση) της γήινης επιφάνειας και του άμεσου υποστρώματός της. Δηλαδή, ο όρος κάλυψη γης αναφέρεται στον τύπο της βλάστησης που καλύπτει την επιφάνεια της γης, στις ανθρώπινες κατασκευές (κτίρια, δρόμους κ.α.), αλλά και σε άλλες πλευρές του φυσικού περιβάλλοντος, όπως είναι τα επιφανειακά νερά, η βιοποικιλότητα κ.α. Συνεπώς, η κάλυψη γης αφορά τη φυσική διάσταση της χρήσης γης (Moser, 1996).

Συμπερασματικά, είναι σαφές πως οι δύο έννοιες αλληλοσυμπληρώνονται και καλύπτουν σε ορισμένες περιπτώσεις η μία την άλλη. Οι Καρτέρης και Τσομπονίκος (1986) αναφέρουν ότι «ο όρος *χρήσεις γης που χρησιμοποιείται στις ταξινομήσεις των διάφορων χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης δεν είναι απόλυτα ικανοποιητικός, αφού δεν καλύπτει όλες τις περιπτώσεις που παρουσιάζονται*». Για το λόγο αυτό πρότειναν τη χρησιμοποίηση του σύνθετου όρου χρήση/ κάλυψη γης, ο οποίος θεωρείται πιο πλήρης και συνδέει τη φυσική διάσταση της επιφάνειας της γης με την ανθρώπινη δραστηριότητα και την εκμετάλλευσή της.

Στα θέματα ορολογίας των δύο εννοιών, υπάρχει πληθώρα ορισμών, οι οποίοι καταλήγουν στο παρόμοιο συμπέρασμα πως η χρήση και η κάλυψη γης περιγράφουν μία πολύπλοκη έννοια, που περιλαμβάνει τη δράση πολλών μεταβλητών (φυσικών και ανθρωπογενών).

Η φυσική διάσταση της επιφάνειας της γης είναι η αρχική και κύρια μεταβλητή μελέτης των χρήσεων γης μίας περιοχής. Με τον όρο φυσική διάσταση εννοείται η τοπολογία, το έδαφος, τα φυσικά διαθέσιμα, το κλίμα, το υψόμετρο ακόμα και οι συντελεστές τραχύτητας του εδάφους μίας περιοχής. Ο συνδυασμός των στοιχείων αυτών επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την πορεία και εξέλιξη των ανθρωπινων δραστηριοτήτων. Το παραπάνω γίνεται πλήρως αντιληπτό από τη σύγκριση των κοινωνικών και οικονομικών προτύπων αλλά και των προτύπων χρήσεων γης που εμφανίζονται σε παραθαλάσσιες, πεδινές και σε ορεινές – δύσβατες περιοχές (Turner et al., 1995).

Από τον Farina (1998), έγινε μία προσπάθεια κατηγοριοποίησης των παραγόντων που συντελούν στην αλλαγή της χρήσης γης και σχετίζονται με την ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως:

- Εντατικοποίηση της αγροτικής παραγωγής
- Εγκατάλειψη της γης
- Επίδραση πυρκαγιών
- Υλοτομία
- Επίδραση από τη βόσκηση
- Αστική ανάπτυξη

Ο Χουβαρδάς (2007) συμπληρώνει την παραπάνω λίστα με τους παρακάτω παράγοντες:

- Κατασκευή φραγμάτων
- Εξορύξεις
- Πολιτικές απόλυτης προστασίας

Όμως, εκτός από τον άνθρωπο, οι φυσικοί παράγοντες, όπως είναι η πυρκαγιά, η διάβρωση και η εξέλιξη της βλάστησης, συντελούν στη διαμόρφωση νέων τύπων χρήσεων/καλύψεων γης (Plieninger et al., 2016). Σε κάθε περίπτωση, η μελέτη των χρήσεων/καλύψεων γης, αλλά και της δυναμικής μεταβολής τους, απαντά σε βασικά ερωτήματα σχετικά με τους παράγοντες που συντελούν στη διαμόρφωση του τοπίου και στις συνέπειες των αλλαγών στη λειτουργία των οικοσυστημάτων.

2.1.2 Το τοπίο και η οικολογία τοπίου

Ως τοπίο ορίζεται ένας συγκεκριμένος γεωγραφικός χώρος με ιδιαίτερη ομορφιά που προκαλεί ευχαρίστηση στον επισκέπτη. Τοπίο ονομάζεται επίσης και μία περιοχή στην επιφάνεια της γης που παρουσιάζει μία χαρακτηριστική διάταξη οικοσυστημάτων. Ο πρώτος ορισμός αναφέρεται κυρίως στην αισθητική άποψη του τοπίου. Με βάση αυτή, τοπίο είναι η γενική «εικόνα» που δημιουργείται από τον συνδυασμό των οπτικών στοιχείων, όπως είναι η τοπογραφία, η βλάστηση τα ζώα, το νερό με διάφορες κατασκευές που εμφανίζονται (Chust et al., 1999).

Στην πραγματικότητα όμως το τοπίο είναι μία πιο σύνθετη έννοια αφού περιλαμβάνει φυσικά, γεωμορφολογικά, βιολογικά και πολιτισμικά χαρακτηριστικά, τα οποία είναι άρρηκτα συνυφασμένα μεταξύ τους και δημιουργούν ένα ενιαίο και μοναδικό σύνολο το οποίο συνεχώς εξελίσσεται. Οι επιστήμονες που μελετούν το τοπίο, έχουν παρατηρήσει και περιγράψει τη χωρική ετερογένεια σε οικολογικά συστήματα, αποκαλύπτοντας τις πολυάριθμες αβιοτικές και βιοτικές αιτίες που οδηγούν σε οικολογικές συνέπειες (Li & Reynolds, 1995). Έτσι, η διαμόρφωση του τοπίου προκύπτει από τις σχέσεις που αναπτύσσουν αβιοτικοί και βιοτικοί παράγοντες. Το κλίμα, ανάμεσα σε διάφορους βιοτικούς παράγοντες όπως είναι ο ανταγωνισμός, η φυτοφαγία, και η θήρευση, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στο βαθμό και την ανάπτυξη του τοπίου (Parker & Bendix, 1996). Τέλος, σημαντικότατο ρόλο στη διαμόρφωση του τοπίου έχει ο άνθρωπος, του οποίου η άμεση επέμβαση μπορεί να καθορίσει τις σημαντικές αλλαγές των χρήσεων/καλύψεων γης (Riitters et al., 2002).

Η οικολογία τοπίου εστιάζει στη μελέτη των τριών χαρακτηριστικών του τοπίου: τη δομή, τη λειτουργία και την αλλαγή. Με τον όρο δομή νοούνται οι χωρικές σχέσεις ανάμεσα στα διακριτά στοιχεία ή πιο ειδικά, στην κατανομή της ενέργειας, υλικών και ειδών σε σχέση με το μέγεθος, το σχήμα, τον αριθμό, το είδος και τη διαμόρφωση των στοιχείων αυτών. Λειτουργία ονομάζονται οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα χωρικά στοιχεία, που είναι η ροή της ενέργειας, των υλικών και των ειδών ανάμεσα στα στοιχεία του οικοσυστήματος. Τέλος, ως μεταβολή του τοπίου, ορίζεται η μεταβολή της δομής και της λειτουργίας του μωσαϊκού των οικοσυστημάτων μέσα στο χρόνο (McGarial & Marks, 1995).

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι η οικολογία του τοπίου εστιάζει στη χωρική ετερογένεια και τα πρότυπα του χώρου. Για τη μελέτη αυτών είναι αναγκαία η ποσοτικοποίηση τους, έτσι ώστε να φανούν οι σχέσεις ανάμεσα στις οικολογικές διεργασίες και τις χωρικές διαμορφώσεις. Για το σκοπό αυτό, έχει αναπτυχθεί πλήθος ποσοτικών δεικτών (μετρικών) τοπίου που αφορούν στη σύνθεση και διαμόρφωση του τοπίου. Οι μετρικές αυτές αναφέρονται αποκλειστικά σε θεματικούς χάρτες και

χαρακτηρίζουν τις γεωμετρικές και χωρικές ιδιότητες των προτύπων αυτών σε μία συγκεκριμένη κλίμακα. Σύμφωνα με τους Riitters et al. (1995) δεν υπάρχει ένας μεμονωμένος δείκτης ο οποίος μπορεί να αποτυπώσει ικανοποιητικά το μοτίβο ενός τοπίου και για το λόγο αυτό, έχουν γίνει πολυάριθμες έρευνες για τον τρόπο λήψης του ορθού συνόλου δεικτών που θα οδηγήσει στα επιθυμητά αποτελέσματα.

Οι πληροφορίες που προκύπτουν από την ανάλυση και ποσοτικοποίηση του τοπίου θεωρούνται σημαντικές για: α) την κατανόηση των οικοσυστημάτων και την ανάπτυξη οικολογικών μελετών και μοντέλων, β) για έρευνες που συνδέουν την επίδραση των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων με πρακτικές διαχείρισης της γης και γ) την κατανομή των παρόντων ή μελλοντικών χρήσεων γης.

2.2 Η μελέτη των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης

Ο όρος «αλλαγή χρήσης/κάλυψης γης» είναι αρκετά γενικός και αναφέρεται κυρίως στη μεταβολή κάλυψης της γήινης επιφάνειας που προκαλείται από τον άνθρωπο και από άλλες περιβαλλοντικές διαδικασίες (Lambin et al., 2001). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2000), οι αλλαγές των χρήσεων/καλύψεων γης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) τη μετατροπή (*conversion*), όπου η κάλυψη της γης αλλάζει πλήρως το καθεστώς διαχείρισής της (π.χ. από δάσος σε καλλιέργεια) και β) την τροποποίηση (*modification*), όπου η αλλαγή της κάλυψης γίνεται εντός της ίδιας – γενικότερης - κατηγορίας (π.χ. από αμπελώνα σε ξηρικό χωράφι). Έτσι, προκύπτει ότι, η μετατροπή της κάλυψης γης είναι η πλήρης αντικατάσταση μίας κατηγορίας κάλυψης από μία άλλη, ενώ η τροποποίηση της κάλυψης είναι η αλλαγή του «χαρακτήρα» της γης η οποία μπορεί να προκληθεί είτε από την ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητες, είτε από το αποτέλεσμα διάφορων περιβαλλοντικών διαδικασιών (π.χ. πλημμύρα, ξηρασία κλπ.).

Η μεταβολή της κάλυψης γης είναι ένα παγκόσμιο ζήτημα το οποίο απασχολεί διαχρονικά την επιστημονική κοινότητα και τους λήπτες αποφάσεων (Lamdin et al., 2001). Κατά συνέπεια, αναπτύσσονται συνεχώς νέοι προβληματισμοί και ερωτήματα που προσπαθούν να ερμηνεύσουν τα αίτια και τις συνέπειες των μεταβολών της κάλυψης γης με απώτερο στόχο την αποτελεσματική διαχείριση/προστασία του περιβάλλοντος και τη βιώσιμη χωρική ανάπτυξη (Lambin et al., 2001; Liu et al., 2017; Plieninger et al., 2016; Veldkamp & Lambin, 2001; Verburg & Chen, 2000).

Οι αλλαγές των χρήσεων/καλύψεων γης έχουν αναγνωριστεί ως η κύρια παράμετρος καθορισμού της ποιότητας του φυσικού περιβάλλοντος καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ατμόσφαιρα, τα υδάτινα συστήματα και το έδαφος (Verburg, et al., 2009), ενώ παράλληλα έχουν άμεση επίδραση

στην ποιότητα της ζωής των ανθρώπων, καθώς καθορίζουν την παροχή σημαντικών οικοσυστημικών υπηρεσιών, όπως η τροφή, η ποιότητα του αέρα, και η αναψυχή (Lorilla et al., 2018; Metzger et al., 2006). Η μελέτη των μεταβολών της κάλυψης γης γίνεται κυρίως για τις σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να προκληθούν, όπως είναι η καύση της βιομάζας και οξείδωση της οργανικής εδαφικής ύλης (επίπτωση που μπορεί να προκληθεί από την καταστροφή των δασών) που αυξάνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, επιταχύνοντας με αυτόν τον τρόπο την κλιματική αλλαγή (Anav et al., 2010). Επίσης, η εντατικοποίηση των καλλιεργειών – ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη τοπογραφία – οδηγεί σε υποβάθμιση των εδαφών, μειώνοντας την ικανότητά τους να παρέχουν τροφή, ενώ παράλληλα σε πολλές περιπτώσεις προκαλούν εκτεταμένη ρύπανση υδάτων και εδάφους, η οποία επηρεάζει τόσο την ανθρώπινη υγεία όσο και τη συνολική λειτουργία του οικοσυστήματος (Karamesouti et al., 2015; Petanidou et al., 2008).

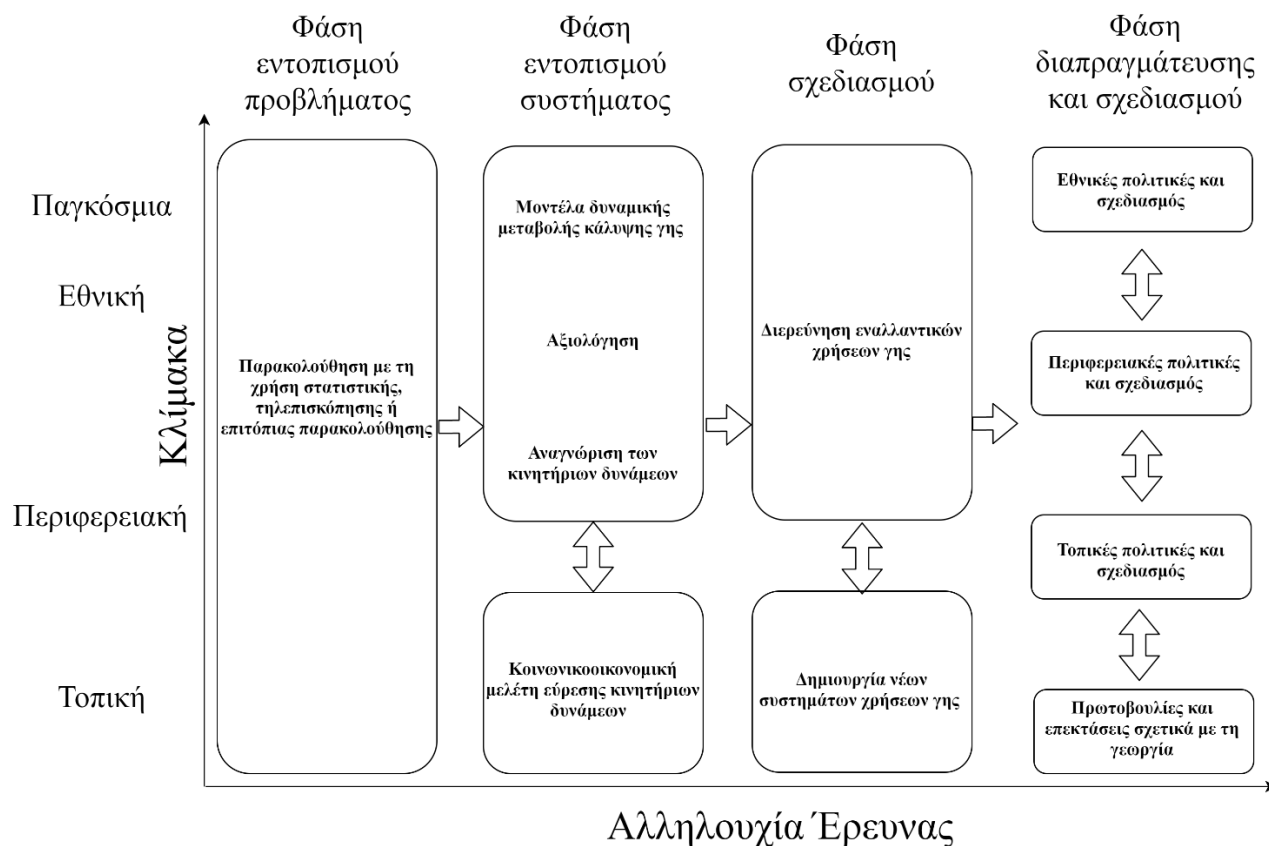
Έτσι, γίνεται κατανοητό πως η μελέτη των μεταβολών των χρήσεων/καλύψεων γης και των παραγόντων που τις οδηγούν είναι η βάση για τη χάραξη αποτελεσματικών στρατηγικών προστασίας, βιώσιμης διαχείρισης και ανάπτυξης μίας περιοχής. Τις τελευταίες δεκαετίες το αντικείμενο της αλλαγής των χρήσεων/καλύψεων γης έχει απασχολήσει πολλούς επιστήμονες καθώς η μελέτη αυτών δίνει χρήσιμα συμπεράσματα για τις μελλοντικές χρήσεις/καλύψεις γης (Lambin et al., 2001). Στο πλαίσιο αυτό, σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν αναπτυχθεί διάφορες ατζέντες, στρατηγικές και ερευνητικά προγράμματα που προσπαθούν να αναλύσουν σε βάθος τις κύριες συνιστώσες του προβλήματος. Σημείο καμπής αποτελεί η Διάσκεψη του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ), που πραγματοποιήθηκε στο Rio de Janeiro το 1992, όπου πέραν των άλλων κυρώθηκαν α) η Σύμβαση για την Κλιματική Αλλαγή (*United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC*) και β) η Ατζέντα 21, που αποτελεί ένα κείμενο/πλαίσιο που εξειδικεύει τις προτεινόμενες δράσεις για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης (UN, 1992). Την ίδια περίοδο, δημιουργήθηκε το Διεθνές Πρόγραμμα Γεώσφαιρας - Βιόσφαιρας (*International Geosphere-Biosphere Programme - IGBP*), που τελέστηκε υπό την αιγίδα του Παγκόσμιου Συμβουλίου Επιστημών (*International Council for Science - ICSU*). Κατά το πρόγραμμα αυτό αναπτύχθηκαν σημαντικές ερευνητικές δράσεις για τη μελέτη των αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης σε παγκόσμιο επίπεδο. Κατά τη διάρκεια της περιόδου 1996 – 2005, το Παγκόσμιο Συμβούλιο Επιστημών (ICSU) και το Παγκόσμιο Συμβούλιο Κοινωνικών Επιστημών της UNESCO (*International Social Science Council - ISSC*) ανέπτυξαν το Διεθνές Πρόγραμμα για τις Ανθρώπινες Διαστάσεις των Παγκόσμιων Περιβαλλοντικών Αλλαγών (*International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change - IHDP*). Στο πλαίσιο αυτού του προγράμματος, το έργο Αλλαγές Χρήσεων γης και Καλύψεων γης (*Land – Use and Land – Cover*

Change - LUC), μελέτησε τις μεταβολές της γήινης επιφάνειας υπό το πρίσμα τριών συνιστωσών: α) τη μελέτη των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης και την κατανόηση των άμεσων και έμμεσων κινητήριων δυνάμεων μεταβολής σε τοπικό και σε περιφερειακό επίπεδο, β) την αξιοποίηση των δορυφορικών δεδομένων και των τεχνικών τηλεπισκόπησης για τη χαρτογράφηση των μεταβολών κάλυψης γης και γ) την ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης σε περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο. Μετά την ολοκλήρωση του IHDP, η διεθνής επιστημονική κοινότητα ανέπτυξε το ερευνητικό πρόγραμμα *Global Land Project (GLP)*, όπου πέρα από την περαιτέρω ερμηνεία και κατανόηση των μεταβολών της κάλυψης/χρήσης γης, στόχευε στην εύρεση και μελέτη των επιπτώσεων των μεταβολών, καθώς και στην πρόβλεψη των μελλοντικών καλύψεων γης ώστε να επιτευχθεί βιώσιμη διαχείριση των εδαφών.

Η κατανόηση και αποτύπωση των συνεπειών της μεταβολής της γήινης επιφάνειας, είναι στον πυρήνα μελέτης και του Προγράμματος Παρακολούθησης της Βιοποικιλότητας (*DIVERSITAS*), καθώς οι μεταβολές της κάλυψης σε συνδυασμό με την υπερεκμετάλλευση των πόρων και την κλιματική αλλαγή επιφέρουν ραγδαία μείωση της βιοποικιλότητας σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο (Torres et al., 2014). Για το λόγο αυτό, όλες οι προαναφερθείσες πρωτοβουλίες και προγράμματα από τις αρχές του 2000 βρίσκονται υπό την αιγίδα του Επιστημονικού Εταιρικού Οργανισμού Παρακολούθησης του Πλανητικού Συστήματος (*Earth System Science Partnership - ESSP*), του οποίου σκοπός είναι η μελέτη των ανθρωπογενών πιέσεων στον πλανήτη. Όμως, παρόλο τις επιτυχείς προσπάθειες μελέτης του φαινομένου της μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης, προκύπτουν νέα ερωτήματα και ζητήματα που σχετίζονται τόσο με τεχνικά θέματα, όπως είναι ακριβέστερη χαρτογράφηση και πρόβλεψη των χρήσεων/καλύψεων γης, όσο και με θεωρητικά, όπως είναι η μελέτη των μεταβολών και οι κινητήριες δυνάμεις τους σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα κάτω από συγκεκριμένες κοινωνικοοικονομικές συνθήκες (Kilic et al., 2006; Lambin et al., 2001; Plieninger et al., 2016; van Vliet et al., 2015; Veldkamp & Lambin, 2001).

Όπως φαίνεται, κατά τη διάρκεια των ετών, στη μελέτη των χρήσεων/καλύψεων γης εντάχθηκαν νέα ερωτήματα και προβληματισμοί οι οποίοι με τη σειρά τους οδήγησαν στη διαμόρφωση κατάλληλων προσεγγίσεων μελέτης τους ζητήματος. Μία από τις σημαντικότερες είναι αυτή των Verburg et al. (2000), η οποία λαμβάνει υπόψη και την κλίμακα ανάλυσης (τοπική, περιφερειακή, εθνική, και παγκόσμια) (Εικόνα 2.1). Ο σχεδιασμός και τα διάφορα στάδια εργασιών της διδακτορικής διατριβής, ακολουθούν σε μεγάλο βαθμό, αυτή τη συλλογιστική. Κατά την προσέγγιση αυτή, η μελέτη του

φαινομένου διακρίνεται σε τέσσερις φάσεις αρχίζοντας από τον εντοπισμό του προβλήματος, και καταλήγοντας στο σχεδιασμό των νέων πολιτικών και στρατηγικών διαχείρισης μίας περιοχής.



Εικόνα 2.1. Αλληλουχία μελέτης των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης.
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία/διαμόρφωση από τους Verburg et al., 2000).

Αναλυτικότερα η αλληλουχία μελέτης των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης είναι:

1^η Φάση: Εντοπισμός του προβλήματος

Απαραίτητος είναι ο λεπτομερής εντοπισμός και κατανόηση του ζητήματος/προβλήματος που συνδέεται με την μεταβολή χρήσεων/καλύψεων γης. Τις περισσότερες φορές, αυτό πραγματοποιείται μέσω της συστηματικής παρακολούθησης του περιβάλλοντος με τη χρήση στατιστικής ανάλυσης, τηλεπισκόπησης ή/και επιτόπιας παρακολούθησης. Αποτελέσματα αυτής της φάσης αποτελούν η εύρεση της κατεύθυνσης και της έντασης των μεταβολών αλλά και των επιπτώσεων που προκαλούνται.

2^η Φάση: Εντοπισμός του συστήματος

Μόλις γίνει η αναγνώριση του προβλήματος, δημιουργείται η ανάγκη για κατανόηση όλου του συστήματος μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης. Κατά τη διάρκεια της φάσης εντοπισμού του

συστήματος, εντάσσονται στην ανάλυση και ζητήματα που σχετίζονται με την κλίμακα της ανάλυσης. Ένα τυπικό παράδειγμα τέτοιων μελετών είναι ο εντοπισμός περιοχών (σε περιφερειακή και τοπική κλίμακα) με έντονες μεταβολές (ή *hot-spot*) (Bajocco et al., 2012, Geri et al., 2010). Εκτός όμως από το παραπάνω, σημαντική είναι και η αναγνώριση των κύριων δυνάμεων μεταβολής, όπου σε τοπική - και ορισμένες φορές και σε περιφερειακή κλίμακα - πραγματοποιείται εντάσσοντας στο σύστημα και δεδομένα που σχετίζονται με την κοινωνική και οικονομική κατάσταση της περιοχής μελέτης. Σε περιπτώσεις όμως όπου η ανάλυση γίνεται σε παγκόσμιο ή εθνικό επίπεδο, είναι περισσότερο δύσκολο να βρεθούν οι παράγοντες που μεταβάλλουν τη χρήση/καλύψη της γης. Για το λόγο αυτό, σε αυτές τις κλίμακες ανάλυσης, οι μεταβολές συνδέονται με μακρο-μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν έμμεσους παράγοντες μεταβολής. Τα μοντέλα αυτού του τύπου - δηλ. της εύρεσης των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής - χρησιμοποιούνται για την ερμηνεία και κατανόηση των μεταβολών αλλά και για την πρόβλεψη των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης. Σε κάθε περίπτωση, τα μοντέλα παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες στους λήπτες των αποφάσεων για τη λήψη αποτελεσματικών δράσεων διαχείρισης μίας περιοχής (Clarke et al., 1997, Van der Sluis et al., 2019).

3^η Φάση: Σχεδιασμός

Σκοπός της τρίτης φάσης είναι ο σχεδιασμός των παρεμβάσεων/πολιτικών που θα πρέπει να εφαρμοστούν ώστε να διασφαλιστεί η επιτυχημένη διαχείριση του τοπίου. Κατά τη φάση αυτή, διερευνώνται διάφορα σενάρια μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης (μοντέλα πρόβλεψης) από τα οποία επιλέγονται εκείνα που πιθανόν θα εφαρμοστούν στο μέλλον και θα οδηγήσουν σε νέα συστήματα χρήσεων/καλύψεων γης. Στα διάφορα μοντέλα που χρησιμοποιούνται, εντάσσονται και πληροφορίες που σχετίζονται με τις ανάγκες και τις αποφάσεις που έχουν ληφθεί από την κοινωνία, όπως τις αγροτικές δραστηριότητες, και άλλες ζητούμενες χρήσεις/καλύψεις γης.

4^η Φάση: Διαπραγμάτευση και Σχεδιασμός

Βασιζόμενοι στη φάση του εντοπισμού του συστήματος, στην οποία αναδεικνύονται οι κινητήριες δυνάμεις μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης, και τη φάση του σχεδιασμού, στην οποία δημιουργούνται τα διάφορα σενάρια μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης, κατά τη φάση της διαπραγμάτευσης και σχεδιασμού επιλέγεται και εφαρμόζεται το κατάλληλο σχέδιο.

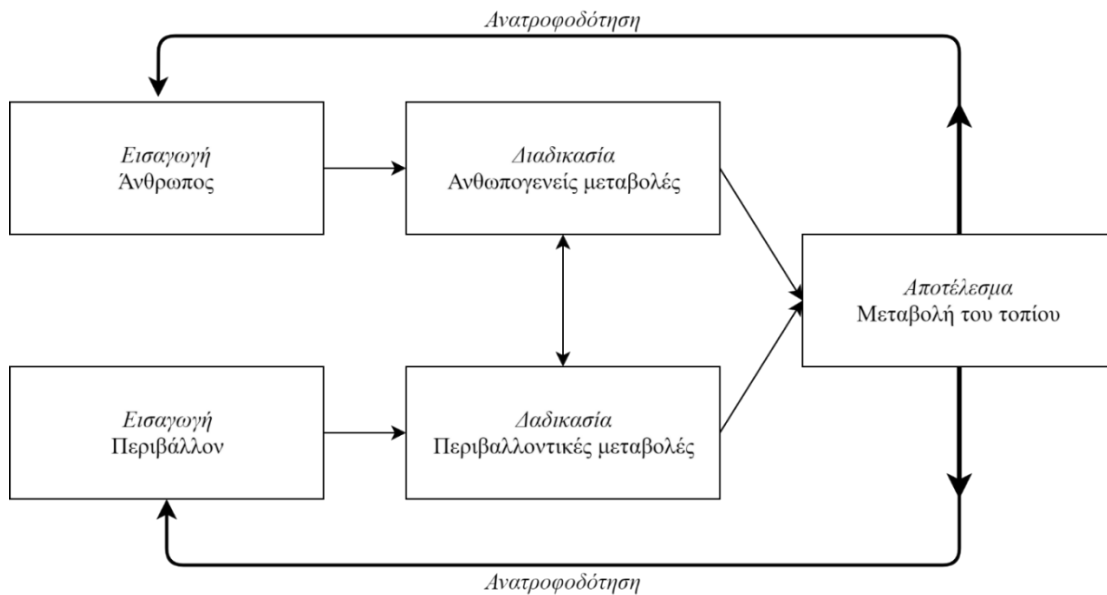
2.3 Η μεταβολή του τοπίου

Όπως συμβαίνει με την κάλυψη της γης, έτσι και το τοπίο είναι ένα δυναμικό χαρακτηριστικό της επιφάνειας της γης το οποίο εξελίσσεται συνεχώς. Οι επιπτώσεις των αλλαγών που συμβαίνουν δεν είναι πάντοτε εμφανείς και για αυτό θα πρέπει να αξιολογούνται από τον άνθρωπο ώστε να φανεί αν αυτές βελτιώνουν ή επιδεινώνουν την προηγούμενη ή την υπάρχουσα κατάσταση (Sluis et al., 2014). Ωστόσο, η απόφαση για την κατάσταση του τοπίου βασίζεται κυρίως στην οπτική της χρησιμότητας του ή σε σχέση με την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου που τέθηκε. Κατά συνέπεια, οι παρατηρούμενες μεταβολές είναι δύσκολο να χαρακτηρίζονται ως θετικές ή αρνητικές (Hernández-Morcillo et al., 2013).

Τα συστατικά των τοπίων είναι πολλά και διαφορετικά, έχοντας και αυτά τη δική τους δυναμική εξέλιξη. Έτσι, σε μελέτες αλλαγών του τοπίου απαιτείται προσοχή σχετικά με τη φύση των χαρακτηριστικών που θα μελετηθούν. Η αλλαγή του τοπίου μπορεί να εκφραστεί μόνο όταν είναι δυνατή η σύγκριση του μεταξύ τουλάχιστον δύο χρονικών στιγμών. Επιπλέον, η περίοδος εξέτασης θα πρέπει να είναι σχετική με το ρυθμό μεταβολής (συχνότητα και μέγεθος αλλαγών) των συστατικών του (McGarial & Marks, 1995). Οι δύο αυτές πτυχές του ρυθμού μεταβολής επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο το τοπίο, καθώς, συχνές, μικρές αλλαγές θα έχουν διαφορετική επίδραση απ' ότι αλλαγές μεγάλης κλίμακας ή μικρής περιοδικότητας (Alados et al., 2004).

Παρόλο που οι συνιστώσες του τοπίου αλλάζουν με βάση τα δικά τους χαρακτηριστικά, το τοπίο ως σύνολο θεωρείται ότι αλλάζει με βραδύτερους ρυθμούς. Έτσι, μπορεί κανείς να αναρωτηθεί: «Δημιουργείται ένα εντελώς καινούριο τοπίο μόνο όταν η κάλυψη/χρήση γης έχει αλλάξει»; «Έχει αλλάξει το τοπίο όταν το διαπερνά πλέον ένας αυτοκινητόδρομος»; Όχι, δεν δημιουργούν όλες οι αλλαγές νέα τοπία. Αντίθετα, το μέγεθος της αλλαγής έχει να κάνει από τη μία με αυτό που φαίνεται, και από την άλλη από το είδος αυτής της αλλαγής. Ο Antrop (1998) για το παραπάνω ερώτημα δίνει το εξής παράδειγμα: «πολλές αλλαγές του τοπίου είναι σαν τη γήρανση του προσώπου, του οποίου η εμφάνιση θα αλλάξει, ακόμη και δραστικά κατά τη διάρκεια της ζωής του αλλά θα είναι αναγνωρίσιμο από τους οικείους του». Παρόμοιες επιπτώσεις μπορούν να συμβούν και σε ένα τοπίο, όπου κάποιες αλλαγές μπορούν να διαταράξουν τη δομή του, δημιουργώντας ένα νέο τοπίο. Ενώ, σε άλλες περιπτώσεις, οι αλλαγές μπορούν να μην διαταράσσουν εντελώς την ταυτότητα του τοπίου αλλά κυρίως να μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά της δομής και της διάρθρωσής του. Άρα, άλλο ένα ζητούμενο στη μελέτη της μεταβολή του τοπίου είναι και ο ορισμός της ταυτότητάς του, θέτοντας όλα εκείνα τα κριτήρια, τα οποία αν μεταβληθούν το τοπίο της περιοχής θα αλλάξει.

Η μελέτη της δυναμικής του τοπίου αναφέρεται τόσο στη διαδικασία εξέλιξής του, όσο και στον εντοπισμό της σχέσης μεταξύ του ανθρώπου και του φυσικού περιβάλλοντος. Στη Εικόνα 2.2, παρουσιάζεται ένα πρότυπο σύστημα αλλαγής του τοπίου, όπου γίνεται κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται, σε μία συγκεκριμένη χρονική κλίμακα. Σύμφωνα με το πρότυπο, υπάρχει μία συνεχής ανατροφοδότηση των κινητήριων δυνάμεων (ανθρώπινων και περιβαλλοντικών – *Culture & Physical Environment*), από την τελική μεταβολή του τοπίου (Wood & Handley, 2001).



Εικόνα 2.2. Το σύστημα αλλαγών του τοπίου.
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία/διαμόρφωση από τους Wood & Handley, 2001).

Συμπερασματικά, η μελέτη της δυναμικής μεταβολής των τοπίων είναι τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο ενδιαφέρον για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση περιοχών. Χρησιμοποιώντας τη λογική των συστημάτων, αναγνωρίζεται η αξία των οδηγών της αλλαγής, αλλά φαίνεται και ο τρόπος με τον οποίο ένα τοπίο μπορεί να διατηρήσει τη μορφή του (Wood & Handley, 2001).

2.4 Χαρτογράφηση και ανίχνευση αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης: μέθοδοι, τεχνικές και δεδομένα

2.4.1 Η χρήση της τηλεπισκόπησης στη χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης

Η παρακολούθηση της γης από το διάστημα αποτελεί τα τελευταία σαράντα χρόνια ένα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του φυσικού περιβάλλοντος, την κατανόηση του παγκόσμιου κλίματος και την ενίσχυση των αναπτυξιακών και παραγωγικών δραστηριοτήτων μίας περιοχής. Σύμφωνα με τους Lillesand & Kiefer (1994), η μελέτη της γης από το διάστημα απέκτησε ακόμα μεγαλύτερο ενδιαφέρον όταν υπήρξε ραγδαία ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών (κυρίως στη διαχείριση

μεγάλου όγκου δεδομένων σε μικρό χρόνο), η οποία συμβάδιζε με τις τεχνικές προδιαγραφές των δορυφόρων που κινούνται γύρω από τη γη.

Η τηλεπισκόπηση είναι ο κλάδος της επιστήμης που ασχολείται με τη συλλογή δεδομένων από τεχνικά μέσα, χωρίς φυσική επαφή, για ένα αντικείμενο που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης ή στην ατμόσφαιρα της. Οι αεροφωτογραφίες, οι δορυφορικές εικόνες και οι εικόνες συστημάτων ραντάρ αποτελούν τυπικά παράγωγα τηλεπισκόπησης. Τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης είναι ιδιαιτέρως χρήσιμα για τη συστηματική παρακολούθηση ενός μεγάλου εύρους βιοφυσικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης (Poursanidis & Chrysoulakis, 2017), και γι' αυτό η χρήση τους είναι συνεχώς αυξανόμενη (Nagendra et al., 2013).

Παράλληλα όμως με την αύξηση της χρήσης, αυξάνονται συνεχώς και τα προσφερόμενα δεδομένα. Ιδιαίτερα οι εικόνες μέσης και υψηλής ανάλυσης, όπως αυτές που διατίθενται από τους δορυφόρους *Landsat*, *Sentinel*, *Spot*, και *Modis* χρησιμοποιούνται ευρέως για τη χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης σε τοπική, περιφερειακή και παγκόσμια κλίμακα. Εκείνες όμως που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι οι εικόνες που προέρχονται από τους δορυφόρους *Landsat*, που χρησιμοποιούνται και για τους σκοπούς της διδακτορικής διατριβής, καθώς διατίθενται δωρεάν, καλύπτουν μεγάλη χρονοσειρά (από το 1972), και έχουν καλή φασματική και χωρική ανάλυση για μελέτες περιφερειακής και εθνικής κλίμακας (Phiri & Morgenroth, 2017). Από τις αρχές του 2000, νέες εικόνες είναι διαθέσιμες, με κύρια χαρακτηριστικά την πολύ υψηλή χωρική ανάλυση (*Very High Resolution - VHR*), αλλά το αυξημένο κόστος απόκτησής τους κατέστησε σχετικά περιορισμένη τη χρήση τους (Hamel & Andréfouët, 2010). Καθώς όμως η χρήση όλων των παραπάνω εικόνων είναι πολύ περιορισμένη σε περιπτώσεις έντονης νεφοκάλυψης και ομίχλης, η χρήση προϊόντων ενεργητικής τηλεπισκόπησης, όπως είναι οι εικόνες *Synthetic Aperture Radar (SAR)* και *Light Detection and Ranging (LiDAR)*, σε τέτοιες ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι αρκετά συχνή, παρόλες τις τεχνικές και ερμηνευτικές δυσκολίες (Boyd & Danson, 2005; Gillespie et al., 2008).

Μαζί όμως με την ανάπτυξη των δορυφορικών συστημάτων, αναπτύχθηκε και ο τομέας της επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων, με νέες τεχνικές και αλγορίθμους, που στοχεύουν στην λεπτομερέστερη και ακριβέστερη καταγραφή του φυσικού περιβάλλοντος. Τα βασικά στάδια επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων για τη χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης μπορούν να διακριθούν σε τρεις γενικευμένες κατηγορίες: α) την προ-επεξεργασία, β) την ταξινόμηση, και γ) τη μετά-ταξινομική διαδικασία και αξιολόγηση (Awange et al., 2013). Στην πρώτη κατηγορία υπάγονται οι ραδιομετρικές, γεωμετρικές, ατμοσφαιρικές, και τοπογραφικές διορθώσεις (Συλλαίος et al., 2007).

Οι ραδιομετρικές διορθώσεις, έχουν σαν στόχο την απαλοιφή του θορύβου που οφείλεται σε παράγοντες που επηρεάζουν την πιστότητα της καταγραφής. Οι γεωμετρικές διορθώσεις σκοπεύουν στην εξάλειψη των παραμορφώσεων της εικόνας από την περιστροφή της γης, το γεωγραφικό πλάτος και γενικά την καμπυλότητα της γης. Οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις εφαρμόζονται με σκοπό τη μείωση της επίδρασης της ατμόσφαιρας, κάνοντας δυνατή τη σύγκριση διαχρονικών εικόνων. Τέλος οι τοπογραφικές διορθώσεις εφαρμόζονται για τη μείωση της επίδρασης του ανάγλυφου της γης έτσι ώστε οι τιμές των εικονοστοιχείων να αντικατοπτρίζουν τα φυσικά και τεχνικά στοιχεία των εικόνων.

Η δεύτερη κατηγορία επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων είναι η ταξινόμηση, η οποία ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας, καταχωρείται σε κάποια προκαθορισμένη από το χρήστη, κατηγορία κάλυψης/χρήσης γης (Jensen & Lulla, 1987). Από τα μέσα της δεκαετίας του 1960, οι ερευνητές είχαν την ικανότητα να χαρτογραφούν τις χρήσεις/καλύψεις, καθώς και άλλα βιοφυσικά χαρακτηριστικά της γης μέσω δορυφορικών εικόνων, αναγνωρίζοντας την ταξινομική διαδικασία ως μία από τις σημαντικότερες τεχνικές της τηλεπισκόπησης (Jensen et al., 2008). Οι προσεγγίσεις ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κύριες ομάδες: η μη-επιβλεπόμενη και επιβλεπόμενη ταξινόμηση, και η ταξινόμηση με βάση το εικονοστοιχείο ή το αντικείμενο (Awange et al., 2013; Jensen et al., 2008; Lu & Weng, 2007).

Κατά τον πρώτο διαχωρισμό, στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, το αποτέλεσμα βασίζεται στον αυτόματο φασματικό διαχωρισμό της εικόνας με τη χρήση κάποιου αλγορίθμου (π.χ. ISO DATA, K-Means). Η ακρίβεια του αποτελέσματος δεν είναι υψηλή, καθώς κάποιες κατηγορίες μπορεί να αποτελούν μίξη διαφορετικών κατηγοριών, ή να διαχωρίζεται μία κατηγορία σε περισσότερες από μία (Schowengerdt, 2007). Από την άλλη πλευρά, στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση η κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων γίνεται σε συγκεκριμένες και προκαθορισμένες κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης. Η κατηγοριοποίηση αυτή γίνεται με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων και με τη συνδρομή βοηθητικών δεδομένων που επιλέγονται από το χρήστη, με σκοπό την εκπαίδευση του αλγόριθμου έτσι ώστε να αναγνωρίζει τα φασματικά χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας (Maulik & Saha, 2009). Μία από τις σημαντικότερες διαδικασίες στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι η επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου. Κατά τη διάρκεια των ετών έχουν αναπτυχθεί ή προσαρμοστεί διάφοροι αλγόριθμοι, από τους πιο απλούς όπως ο αλγόριθμος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (*Maximum Likelihood*), Παραλληλεπιπέδου (*Parallelepiped*), Ελάχιστης Απόστασης (*Minimum Distance*), απόσταση Mahalanobis (*Mahanalobis' Distance*), και ο Χαρτογράφος Φασματικής Γωνίας (*Spectral Angle Mapper*), έως τους πολύ εξελιγμένους όπως είναι οι αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης (π.χ.

Support Vector Machine – SVM, Artificial Neural Network - ANN, Random Forest -RF) (Συλλαίος et al., 2007; Jensen et al., 2008; Jensen & Lulla, 1987). Στο σημείο αυτό, χρήσιμο είναι να αναφερθεί ότι υπάρχουν και προσεγγίσεις ταξινόμησης όπου συνδυάζουν επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση για τη χαρτογράφηση των χρήσεων καλύψεων γης. Σε αυτή την υβριδική προσέγγιση, η δορυφορική εικόνα αρχικά ταξινομείται με μη επιβλεπόμενο τρόπο και στη συνέχεια το εξαγόμενο αποτέλεσμα, αφού ερμηνευτεί και ελεγχθεί, ταξινομείται ξανά με τη διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Liu & Mason, 2013).

Η δεύτερη ομάδα προσεγγίσεων είναι η ταξινόμηση με βάση το εικονοστοιχείο ή με βάση το αντικείμενο. Η ταξινόμηση με βάση το εικονοστοιχείο, αναφέρεται στην παραδοσιακή προσέγγιση όπου κάθε εικόνα ταξινομείται χρησιμοποιώντας τη φασματική πληροφορία για κάθε εικονοστοιχείο ξεχωριστά (*pixel by pixel*), με επιβλεπόμενο ή μη επιβλεπόμενο τρόπο (Jensen et al., 2008). Αντίθετα, στην ταξινόμηση με βάση το αντικείμενο (αντικειμενοστραφής ταξινόμηση - *Object Based Image Analysis - OBIA*), τα εικονοστοιχεία αρχικά ομαδοποιούνται σε αντικείμενα (ομάδες εικονοστοιχείων με ίδια χαρακτηριστικά) και στη συνέχεια ταξινομούνται σε προκαθορισμένες κατηγορίες χρήσεων/καλύψεων γης. Καθώς η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση εικόνων είναι από τα κύρια ζητήματα της διδακτορικής διατριβής κρίνεται σκόπιμη η ενδελεχής ανάλυση της μεθόδου στην επόμενη ενότητα.

2.4.1.1 Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση εικόνων.

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, τα στάδια αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης εικόνων (OBIA) αποτυπώνονται στην εικόνα 2.3. Το πρώτο στάδιο αποτελείται από την αναγνώριση του προβλήματος και την είσοδο των δεδομένων σε κάποιο ειδικό λογισμικό. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ο οπτικός έλεγχος των δεδομένων που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη «στρατηγική» που θα ακολουθηθεί για την ταξινόμηση. Από τα βασικότερα στάδια της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης είναι ανάπτυξη των κανόνων ταξινόμησης, μέσω των οποίων πραγματοποιείται η κατάτμηση της εικόνας σε αντικείμενα και η ταξινόμηση αυτών στις προκαθορισμένες κατηγορίες. Μετά την εφαρμογή των κανόνων το εξαγόμενο αποτέλεσμα αξιολογείται (μέσω οπτικής ερμηνείας ή/και μέσω του ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης), και αν δεν βρεθεί ακριβές, η στρατηγική και οι κανόνες ταξινόμησης αναθεωρούνται, εφαρμόζονται και επαναταξινομούνται. Στην ενότητα 3.2.2. *Χαρτογράφηση χρήσεων/καλύψεων γης*, παρουσιάζεται αναλυτικότερα η εφαρμογή της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης, που ακολουθήθηκε στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής.

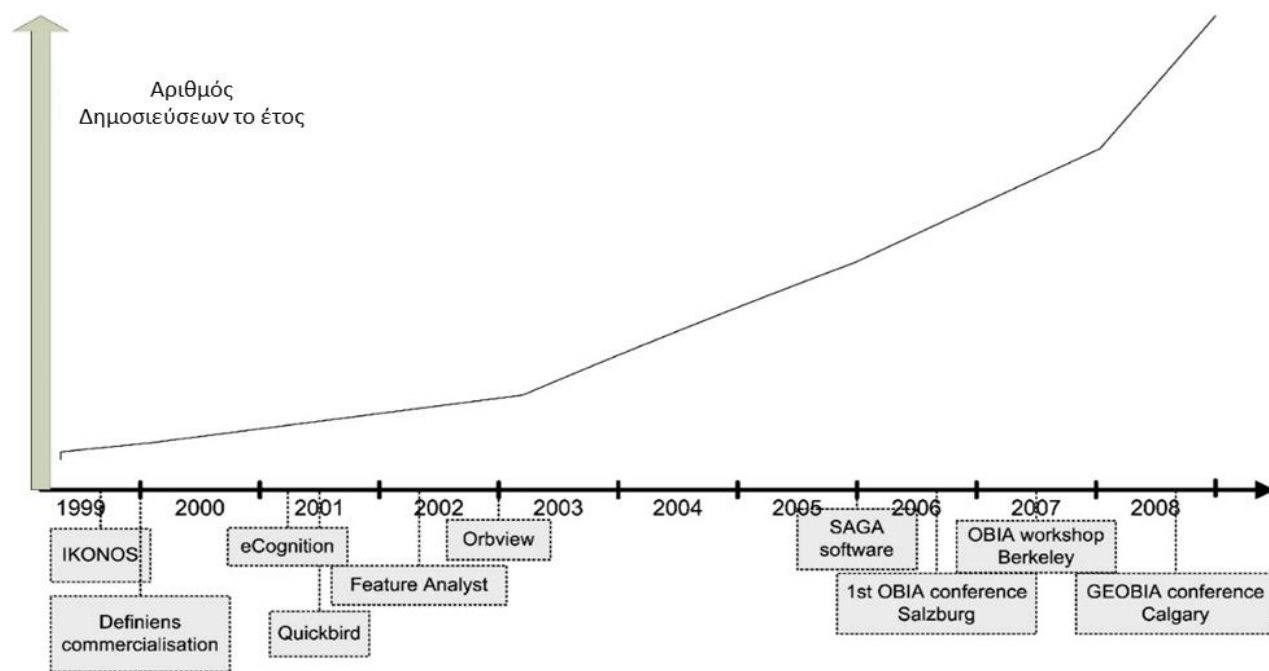


Εικόνα 2.3. Στάδια αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης εικόνων.

Η προσέγγιση της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης εικόνας προτάθηκε τη δεκαετία του 1970, αλλά γρήγορα εγκαταλείφθηκε, καθώς η ταξινόμηση με βάση το εικονοστοιχείο ήταν πιο εύκολα εφαρμόσιμη (Blaschke, 2010). Όμως από τις αρχές του 2000, λόγω της ανάπτυξης των ηλεκτρονικών υπολογιστών, των θεωριών για την ερμηνεία εικόνων, αλλά και της παροχής εικόνων καλής διακριτικής ικανότητας, η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση εικόνων αυξάνει συνεχώς τη δημοφιλία της (Blaschke, 2010; Gamanya et al., 2009; Ma et al., 2017).

Όμως ποιο ήταν το πρόβλημα της ανάλυσης με βάση το εικονοστοιχείο, που οδήγησε του επιστήμονες να εφαρμόσουν την OBIA; Το ερώτημα αυτό διατύπωσαν οι Blaschke & Strobl (2001), όταν διαπίστωσαν έναν «υπερβολικό ενθουσιασμό» για την ανάλυση εικόνων πέραν από την παραδοσιακή τεχνική με βάση το εικονοστοιχείο. Η απάντηση ήταν, και παραμένει να είναι, η κατάτμηση της εικόνας. Η διαδικασία της κατάτμησης της εικόνας δεν ήταν κάτι καινούριο σε εφαρμογές της ιατρικής ή σε άλλες επιστήμες την εποχή που τέθηκε το ερώτημα, ωστόσο κατά τη δεκαετία του 1990 εφαρμόστηκε σε γεωχωρικές μελέτες (Blaschke, et al., 2004). Αν και κατά τη διάρκεια των ετών έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι κατάτμησης εικόνας (π.χ. Neubert et al., 2008; Baatz, 2000; Kartikeyan et al., 1998), όλοι στηρίζονται σε κάποια βασικά κριτήρια φασματικής ομοιομορφίας των εικονοστοιχείων που θα αποτελούν ένα αντικείμενο. Έτσι, τα αντικείμενα παρέχουν επιπρόσθετες πληροφορίες στον αναλυτή, όπως είναι η μέση, η ελάχιστη, η μέγιστη τιμή, άλλα, και πρόσθετα στατιστικά μέτρα για κάθε κανάλι της εικόνας στο αντικείμενο. Επιπλέον, άλλες πληροφορίες που παρέχονται σχετίζονται με τοπολογικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων, όπως είναι η γειτνίαση, και το μέγεθος, των οποίων η χρησιμότητα ώθησε στην περαιτέρω εφαρμογή της OBIA (Gamanya et al., 2009). Πέραν των παραπάνω, ακόμα ένας σημαντικός λόγος εφαρμογής της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης, είναι η εξάλειψη του φαινομένου το αλατοπίπερου (*salt-and-paper*), δηλαδή να μην εμφανίζονται μεμονωμένες ανακρίβειες που είναι εμφανείς στα αποτελέσματα ταξινομήσεων που προέρχονται από την παραδοσιακή τεχνική με βάση το εικονοστοιχείο (Yu et al., 2006).

Σύμφωνα με τον Blaschke (2010), υπάρχουν δύο διακριτές τάσεις ανάπτυξης και εφαρμογής της OBIA (Εικόνα 2.4). Κατά την πρώτη περίοδο (1999 - 2005) η αύξηση των εφαρμογών και δημοσιευμένων μελετών σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης, και συγκεκριμένα από τους δορυφόρους *IKONOS* και *QuickBird*, αλλά κυρίως από την ανάπτυξη του λογισμικού *eCognition* (διαθέσιμο από το 2000) που είναι χρονολογικά το πρώτο λογισμικό αποκλειστικά αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνων (Flanders et al., 2003). Υπολογίζεται ότι τουλάχιστον το 55% των δημοσιευμένων μελετών χρησιμοποιεί το λογισμικό *eCognition* για την αντικειμενοστραφή ανάλυση δορυφορικών εικόνων (Blaschke, 2010). Η δεύτερη περίοδος (2005 - σήμερα), σχετίζεται και πάλι σε μεγάλο βαθμό με την ανάπτυξη διαφόρων εμπορικών ή μη λογισμικών, όπως είναι το *SAGA* (Böhner et al., 2006), το *Feature Analyst* (Opitz & Blundell, 2008), το *ENVI Feature Extraction* (Hölbling & Neubert, 2008), και το *Erdas Imagine 9.3*. Παράλληλα, κατά την περίοδο αυτή αναπτύσσονται από ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια, νέες τεχνικές και αλγόριθμοι για την κατάτμηση των εικόνων, αλλά και για τον έλεγχο της εγκυρότητας της κατάτμησης (Georganos et al., 2017; Hu et al., 2005; Lu & Weng, 2007; Wuest & Zhang, 2009).



Εικόνα 2.4. Οι εφαρμογές OBIA στη διεθνή βιβλιογραφία και σημαντικά γεγονότα σε σχέση με αυτή.
(Πηγή: Blaschke, 2010)

Αναλυτικότερα, την περίοδο 2000 – 2005, οι επιστημονικές μελέτες που χρησιμοποίησαν OBIA για την ανάλυση δορυφορικών εικόνων, είναι δημοσιευμένες κυρίως σε πρακτικά συνεδρίων, ή εμφανίζονται στη “γκρίζα βιβλιογραφία”, χωρίς να μπορούν να αξιολογηθούν από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα (Blaschke, 2010). Σταδιακά, προς το τέλος της παραπάνω περιόδου, μελέτες

εμφανίστηκαν σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά που παρουσίαζαν τα πλεονεκτήματα της OBIA έναντι της ανάλυσης με βάση το εικονοστοιχείο (Blaschke, 2010; Ma et al., 2017). Μία σημαντική μελέτη αποτέλεσε αυτή των Bock et al. (2003) που παρουσίασε τις δυνατότητες της OBIA στη χαρτογράφηση των οικοτόπων σε περιοχές NATURA 2000, στη Αυστρία. Στη μελέτη αυτή, αναπτύχθηκε μία σειρά κανόνων ταξινόμησης (*fuzzy rules*), η οποία είναι άμεσα εφαρμόσιμη και σε άλλες περιοχές με παρόμοια οικοσυστήματα. Ομοίως, οι Ehlers et al. (2003), σε μελέτη τους στη Γερμανία που αποσκοπούσε και αυτή στη χαρτογράφηση οικοτόπων, ως συμπέρασμα εξάγουν το σημαντικό πλεονέκτημα της OBIA, σχετικά με τη γρήγορη και ακριβή εφαρμογή των κανόνων ταξινόμησης σε άλλη, όμοια, περιοχή. Στο παραπάνω πλαίσιο, οι Bock et al. (2005), έδειξαν την σημαντική συνεισφορά της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης στην συστηματική παρακολούθηση της κάλυψης γης σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο. Οι Dorren et al. (2003), χαρτογράφησαν διάφορους τύπους δασικής βλάστησης στην Αυστρία τόσο με τη χρήση OBIA όσο και με τη χρήση της παραδοσιακής ταξινόμησης με βάση το εικονοστοιχείο, και κατέληξαν ότι μέσω της OBIA το μοτίβο της βλάστησης είναι πιο ακριβές. Παρόμοια αποτελέσματα, εξήχθησαν και από τους Hay et al. (2005), όπου μέσα από την πολυ-επίπεδη κατάτμηση της εικόνας, χαρτογράφησαν αποτελεσματικά την οριζόντια δομή ενός διασπασμένου δάσους στον Καναδά. Με σκοπό τη συστηματική παρακολούθηση της σύστασης και δομής του τοπίου σε περιφερειακή κλίμακα στη Γερμανία, οι Weiers et al. (2004) σημείωσαν και αυτοί την καταληκτική συνεισφορά της OBIA στην αποτελεσματική παρακολούθηση και διαχείριση του τοπίου. Άλλες σημαντικές μελέτες της περιόδου είναι των Benz et al. (2004) και Wang et al. (2004), οι οποίοι εξήγαγαν ακριβή αποτελέσματα από την εφαρμογή της OBIA στη χαρτογράφηση του αστικού ιστού και της μαγκρόβιας βλάστησης, αντίστοιχα. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι κατά την περίοδο 2000 - 2005, στην περιοχή της Μεσογείου δημοσιεύτηκε μόνο μία εργασία, η οποία εφάρμοσε τις τεχνικές αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση πυρκαγιών στις παράκτιες περιοχές της Ισπανίας (Gitas et al., 2004).

Το επόμενο διάστημα (2005 - σήμερα), καταγράφεται μία ραγδαία αύξηση των μελετών που εφαρμόζουν την αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνων για τη χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης, καθώς και άλλων βιοφυσικών χαρακτηριστικών (Blaschke, 2010; Ma et al., 2017). Κατά το διάστημα αυτό, οι εφαρμογές και οι μελέτες που χρησιμοποιούν OBIA, μπορούν να διακριθούν σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση αφορά την περίοδο 2005 – 2008, όπου η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση εφαρμόστηκε όλο και περισσότερο για τη χαρτογράφηση της φυσικής βλάστησης, των αγροτικών και αστικών περιοχών, κυρίως με τη χρήση κανόνων ταξινόμησης (*fuzzy rules*). Σημαντικές μελέτες της

περιόδου είναι των Radoux & Defourny (2007), που χαρτογράφησαν μεγάλης κλίμακας διαχειριζόμενα δάση στον Καναδά, και των Gergel et al. (2007), όπου με σκοπό τη διαχείριση και αποκατάσταση των δασών στην Κολομβία, χαρτογράφησαν τη δασική δομή μέσω OBIA. Παρόμοια λογική ακολούθησαν οι Pascual et al. (2008) και οι Shiba & Itaya (2006) για την διαχείριση πευκοδάσους στην Ισπανία, και για την αποκατάσταση δάσους στην Ιαπωνία, αντίστοιχα. Με σκοπό τη χαρτογράφηση διαφόρων παραμέτρων της φυσικής βλάστησης, όπως είναι η βιομάζα και η δομή, οι Addinka et al. (2007), εφάρμοσαν με επιτυχία την αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνας στην νότια Γαλλία, όπως επίσης και οι Mallinis et al. (2008) για τη χαρτογράφηση δάσους στο Νομό Θεσσαλονίκης. Την ίδια περίοδο (2005 - 2008), μεγάλη αύξηση παρουσίασαν και οι μελέτες που σκόπευαν στη χαρτογράφηση αστικών περιοχών όπως είναι, των Lackner & Conway (2008) που εφάρμοσαν OBIA στην πόλη Οντάριο του Καναδά, των Mo et al. (2007), που σύγκριναν και ανέδειξαν τα πλεονεκτήματα της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης έναντι της παραδοσιακής ταξινόμησης, για τη χαρτογράφηση του αστικού ιστού επαρχίας της Κίνας, και των Lang & Langanke (2006), όπου χαρτογράφησαν πέρα από τις δομημένες εκτάσεις, και περιοχές με μη μόνιμες εγκαταστάσεις όπως είναι μέρη που στεγάζονταν πρόσφυγες και άλλους καταυλισμούς.

Όμως, το βασικό χαρακτηριστικό της δεύτερης περιόδου, και ιδιαίτερα του διαστήματος 2008 – σήμερα, είναι η εφαρμογή της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας, ενσωματώνοντας κατά κύριο λόγο και κάποιον αλγόριθμο ταξινόμησης και όχι αποκλειστικά κανόνες (*fuzzy rules*), με σκοπό την αύξηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων (Ma et al., 2017). Οι κύριοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται, είναι ο *Support Vector Machine* (SVM), *Artificial Neural Network* (ANN), *Decision Trees* (DT), *Random Forest* (RF), και ο αλγόριθμος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (*Maximum Likelihood*).

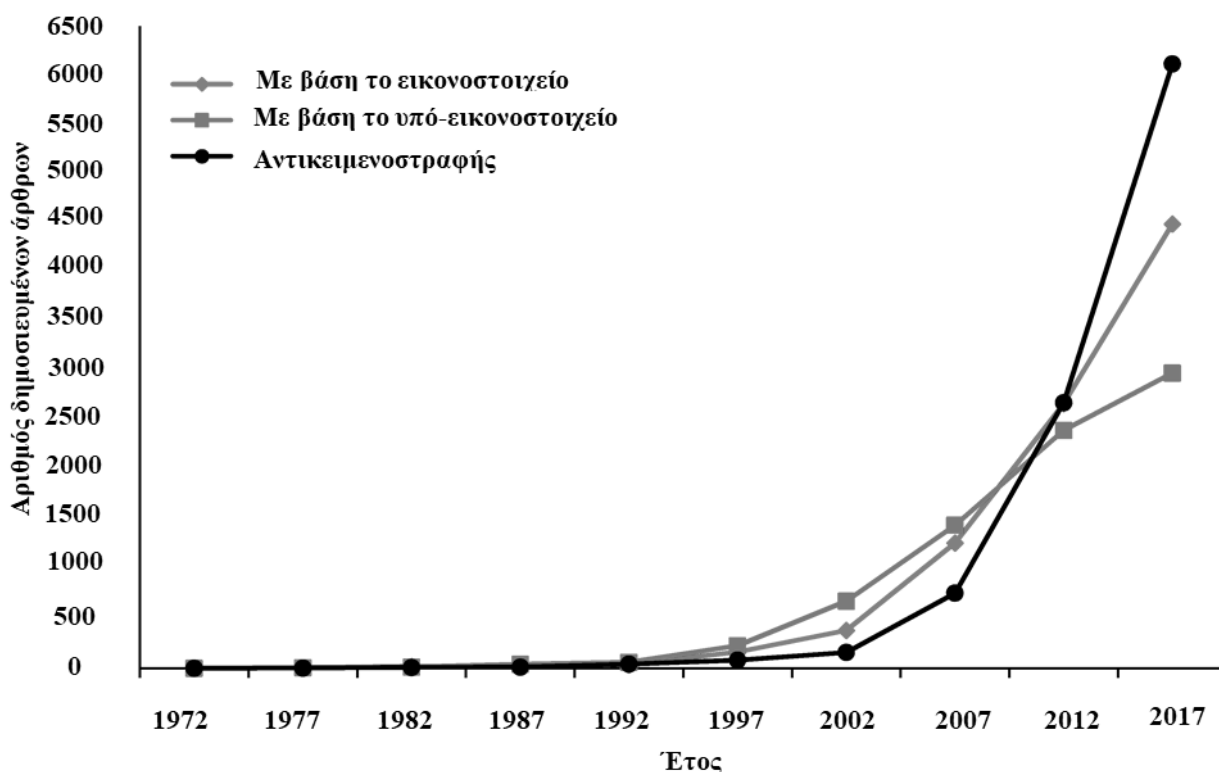
Με σκοπό την σύγκριση των αποτελεσμάτων από αντικειμενοστραφή και παραδοσιακή ταξινόμηση, οι Duro et al. (2012) εφάρμοσαν αλγόριθμους μηχανικής μάθησης στις δύο τεχνικές ταξινόμησης, και βρήκαν ότι τα αποτελέσματα ήταν πιο ακριβή με τη χρήση OBIA. Για την εύρεση του κατάλληλου αλγορίθμου για την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση αγροτικών εκτάσεων οι Li et al. (2016), σύγκριναν διάφορους αλγόριθμους και βρήκαν ότι οι αλγόριθμοι DT και RF είναι οι καταλληλότεροι. Παρομοίως, οι Ghosh & Joshi (2014) εφάρμοσαν διάφορους αλγόριθμους ταξινόμησης σε φυτείες μπαμπού στην Ινδία και βρήκαν ότι στη δική τους περίπτωση ο αλγόριθμος SVM, παρήγαγε ακριβέστερα αποτελέσματα. Ο SVM, εξήγαγε ακριβέστερα αποτελέσματα, έναντι άλλων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, και στην περίπτωση χαρτογράφησης διαφόρων χρήσεων/καλύψεων γης σε

περιοχή του Πεκίνο, στην Κίνα (Qian et al., 2015). Ομοίως, οι Xofis & Poirazidis (2018), μέσα από το συνδυασμό κανόνων ταξινόμησης (*fuzzy rules*) και του αλγορίθμου SVM ταξινόμησαν με υψηλή ακρίβεια (περίπου 90%) το ετερογενές δάσος της Δαδιάς, στον Νομό Έβρου.

Ωστόσο, ο αλγόριθμος *Random Forest*, είναι αυτός που παρουσιάζει μία συνεχόμενη αύξηση στην εφαρμογή του, με την πλειονότητα των μελετών να τον εφαρμόζουν επιτυχώς, κυρίως στο αστικό περιβάλλον (Du et al., 2015; Guan et al., 2013; Puissant et al., 2014; Wieland & Pittore, 2014), αλλά και στη χαρτογράφηση του φυσικού περιβάλλοντος και των διαφόρων διαδικασιών του (Adam, et al., 2014; Akar & Güngör, 2012; Duro et al., 2012; Li et al., 2016; Mishra & Crews, 2014; Stumpf & Kerle, 2011; Zhang et al., 2013). Με στόχο την ακριβέστερη χαρτογράφηση για κάθε κατηγορία χρήσεων/καλύψεων γης, οι Cánovas-García & Alonso-Sarría (2015) συνδύασαν διάφορους αλγορίθμους ταξινόμησης, σε περιοχή της Ισπανίας.

Στις περισσότερες από τις παραπάνω μελέτες, οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κυρίως υψηλής ή πολύ υψηλής διακριτικής ικανότητας (π.χ. *WorldView-2* ή *3*, *GeoEye*, *QuickBird*, *IKONOS*, κλπ.), ενώ συχνά εφαρμόστηκε η OBIA και σε εικόνες μέσης ανάλυσης (κυρίως *Landsat* και *Aster*), όπως επίσης παρατηρούν από την ανάλυση της σχετικής βιβλιογραφίας οι Ma et al. (2017). Από την ανάλυση των Ma et al. (2017), εξάγεται επίσης το συμπέρασμα, ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, η ακρίβεια των ταξινομήσεων με την OBIA ήταν πάνω από 80%, με εξαίρεση τις περιπτώσεις που έγινε η χρήση εικόνων από τους δορυφόρους *Pleiades* και *Aster*, οι οποίοι παρουσίασαν μειωμένη ακρίβεια. Όσον αφορά τις εικόνες *Landsat*, που είναι και η κύρια πηγή δορυφορικών δεδομένων στη διδακτορική διατριβή, τα αποτελέσματα που παρήχθησαν ήταν υψηλής ακρίβειας (Ma et al., 2017), γεγονός που ώθησε στη μεγάλη εφαρμογή της OBIA και σε εικόνες αυτού του τύπου (Εικόνα 2.5) (Phiri & Morgenroth, 2017). Γενικά, η OBIA εφαρμόστηκε κυρίως σε εικόνες *Landsat -5TM*, *-7 ETM+*, και *-8 OLI*, και λιγότερο σε εικόνες *Landsat MSS*, λόγω της χαμηλής τους διακριτικής ικανότητας (Vittekk et al., 2013).

Η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση σε εικόνες *Landsat*, εφαρμόστηκε αρχικά τη δεκαετία του 1970 από τους Kettig & Landgrebe (1976), ενώ στη συνέχεια εγκαταλείφθηκε όπως συνέβη και στις άλλες περιπτώσεις δορυφορικών εικόνων εκείνη την εποχή. Έκτοτε, η OBIA χρησιμοποιήθηκε σε εικόνα *Landsat* από τους Dorren et al. το 2003, για τη χαρτογράφηση της φυσικής βλάστησης στην Αυστρία, το οποίο πυροδότησε την εφαρμογή της μεθόδου για τη χαρτογράφηση διαφόρων τύπων χρήσεων/καλύψεων γης σε διάφορα μέρη του πλανήτη, σε εικόνες *Landsat* (Gilbertson et al., 2017; Kindu et al., 2013; Tewolde & Cabral, 2011).



Εικόνα 2.5. Αριθμός δημοσιευμένων εργασιών που εφαρμόζουν τις διάφορες μεθόδους ταξινόμησης σε εικόνες Landsat. (Πηγή: Phiri & Morgenroth, 2017).

Σε μελέτες που αποσκοπούσαν στη σύγκριση αντικειμενοστραφούς και παραδοσιακής ταξινόμησης σε εικόνες *Landsat*, βρέθηκε ότι μέσω της OBIA η ταξινόμηση είναι πιο ακριβής (Flanders et al., 2003; Frohn et al., 2011; Zerrouki & Bouchaffra, 2014). Επίσης, στην περίπτωση εικόνων *Landsat 8 OLI* η ταξινόμηση έδειξε ακριβέστερα αποτελέσματα έναντι των άλλων, όπως παρουσίασαν οι Poursanidis et al. (2015) στην εφαρμογή τους σε αστικό και περι-αστικό περιβάλλον. Παρά όμως τη γενική παραδοχή ότι μέσω της OBIA εξάγονται ακριβέστερα αποτελέσματα, υπάρχουν και κάποιοι βασικοί περιορισμοί, κατά την εφαρμογή της μεθόδου σε εικόνες *Landsat*. Οι βασικότεροι περιορισμοί είναι: α) η χαμηλή διακριτική ικανότητα των εικόνων, καθώς παρατηρείται μειωμένη ακρίβεια σε περιπτώσεις χαρτογράφησης ετερογενών τοπίων, και β) η εύρεση του κατάλληλου επιπέδου κατάτμησης (Phiri & Morgenroth, 2017). Συγκεκριμένα, καθώς η διαδικασία της κατάτμησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διακριτική ικανότητα των εικόνων, οι Frohn et al. (2011) σημειώνουν ότι σε δεδομένα *Landsat* η κατάτμηση θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή καθώς η εικόνα μπορεί να υπερ-κατατμηθεί (*over-segmentation*), και άρα ένας στόχο στην επιφάνεια της γης να ανήκει σε παραπάνω αντικείμενα, ή να υπο-κατατμηθεί (*under-segmentation*) και να ανήκουν διαφορετικές καλύψεις/χρήσεις γης σε ένα αντικείμενο.

2.4.2 Ανίχνευση αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η αλλαγή των χρήσεων/καλύψεων γης θεωρείται ως μία από τις σημαντικότερες μεταβολές που συντελούνται στην επιφάνεια της γης (Lambin et al., 2001). Η τηλεπισκόπηση είναι η κύρια πηγή δεδομένων για τη χαρτογράφηση και τη συστηματική παρακολούθηση των χρήσεων/καλύψεων γης, και για το λόγο αυτό κατά τη διάρκεια των ετών διάφοροι μέθοδοι και τεχνικές έχουν αναπτυχθεί, επιτρέποντας την συστηματική παρακολούθηση της επιφάνειας της γης εύκολα και σε πολλές περιπτώσεις με μηδενικό κόστος (Hame et al., 1998; Lu et al., 2014)

Η ανίχνευση αλλαγών είναι μία διαδικασία κατά την οποία καθορίζεται και ποσοτικοποιείται η μεταβολή της κάλυψης γης με τη χρήση διαχρονικών δορυφορικών εικόνων, καθιστώντας την ανάλυση αυτή ως μία από τις σημαντικότερες για τη διαχείριση των φυσικών πόρων (Jin et al., 2013; Kennedy et al., 2009). Σε θεωρητικό επίπεδο, κάθε τύπος χρήσης/κάλυψης της γης έχει μία μοναδική απόκριση σε διάφορα μέρη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (φασματική υπογραφή), άρα, η μεταβολή του τύπου χρήσης/κάλυψης θα έχει ως αποτέλεσμα και τη μεταβολή της φασματικής του υπογραφής. Με βάση αυτό το συλλογισμό, κάθε μεταβολή της επιφάνειας της γης μπορεί να ανιχνευτεί μέσω της διαχρονικής σύγκρισης των φασματικών υπογραφών ενός σημείου, με τη χρήση κατάλληλου αλγορίθμου (Lu et al., 2004). Ωστόσο, σε πρακτικό επίπεδο, μια σειρά από διάφορους παράγοντες, μπορεί να επηρεάσουν τη διαδικασία ανίχνευσης αλλαγών και να εξαχθούν λανθασμένα συμπεράσματα. Αυτοί οι παράγοντες μπορεί να αφορούν την περιοχή μελέτης (π.χ. πολυπλοκότητα του τοπίου και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής), τα χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων (π.χ. χωρική, φασματική, ραδιομετρική, και χρονική ανάλυση), τα στάδια προ-επεξεργασίας ή ταξινόμησης των εικόνων, και την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ανίχνευσης αλλαγών (Awange & Kiema, 2013; Lu et al., 2014).

Η έκταση και τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στο σχεδιασμό της διαδικασίας ανίχνευσης αλλαγών, καθώς από αυτά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η επιλογή και η περαιτέρω επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων (Lu et al., 2014). Συγκεκριμένα, σε περιπτώσεις όπου η μελέτη αναφέρεται σε τοπική κλίμακα, απαιτείται λεπτομερής και ακριβής ανάλυση. Τέτοιες μελέτες, εφαρμόζονται κυρίως σε αστικό περιβάλλον με τη χρήση εικόνων υψηλής ή πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης (Bruzzone & Bovolo, 2013; Falco et al., 2013; Lu et al., 2004; Volpi et al., 2012; Zhou et al., 2008). Όπως σημειώνουν οι παραπάνω μελέτες, στο αστικό περιβάλλον ο αναλυτής έχει να διαχειριστεί επιπλέον προκλήσεις, όπως είναι η σκίαση που δημιουργείται από το

ύψος των κτηρίων και η σύγχυση στην ερμηνεία των αντικειμένων της επιφάνειας της γης λόγω ομοιοτήτων στις φασματικές υπογραφές (δομημένες περιοχές - βραχώδης ή με μικρή φυτοκάλυψη εκτάσεις). Η χρήση των υψηλής ή πολύ υψηλής ανάλυσης εικόνων σε μελέτες ανίχνευσης αλλαγών σε τοπική κλίμακα γίνεται και σε περιπτώσεις συστηματικής παρακολούθησης αγρών ή φυσικής βλάστησης, ιδιαίτερα μετά την εισαγωγή των Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών στη διαδικασία λήψης δεδομένων (Nagendra et al., 2013; Veroustraete, 2015).

Σε μελέτες όπου η κλίμακα για την ανίχνευση αλλαγών είναι περιφερειακή, τα κύρια δεδομένα ανάλυσης είναι δορυφορικές εικόνες μέσης χωρικής διακριτικής ικανότητας. Ιδιαίτερα οι εικόνες *Landsat*, χρησιμοποιούνται ευρέως από τους ερευνητές κυρίως λόγω της μεγάλης χρονοσειράς που καλύπτουν, αλλά και της σχετικά καλής - για την κλίμακα ανάλυσης - διακριτικής ικανότητας (Kefalas et al., 2018; Phiri & Morgenroth, 2017). Όμως, σε περιοχές με ιδιαίτερες ατμοσφαιρικές συνθήκες (π.χ. έντονη νεφοκάλυψη), η λήψη τέτοιων εικόνων είναι αρκετά δύσκολη, οδηγώντας στη χρήση εικόνων που προέρχονται από διαφορετικούς αισθητήρες (Wulder et al., 2008). Ωστόσο, καθώς η φασματική και χωρική διακριτική ικανότητα είναι διαφορετική για κάθε δορυφορική εικόνα, σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται εικόνες από διαφορετικά δορυφορικά συστήματα, στη διαδικασία ανίχνευση αλλαγών εντάσσονται και τεχνικές σύμπτυξης εικόνας (*data fusion*), οι οποίες με τη σειρά τους εντάσσουν νέες παραμέτρους που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη (Du et al., 2012; Reiche et al., 2013). Καθώς όμως, αναπτύσσονται συνεχώς νέα δορυφορικά συστήματα, τα οποία παρέχουν εικόνες καλύτερης χωρικής και φασματικής ανάλυσης (π.χ. *Sentinel 2*), η ανίχνευση των μεταβολών της γήινης επιφάνειας μπορεί να γίνει με υψηλότερη ακρίβεια και για αναλύσεις περιφερειακής κλίμακας (Drusch et al., 2012).

Για την ανίχνευση αλλαγών σε εθνική ή παγκόσμια κλίμακα η χρήση εικόνων χαμηλής ανάλυσης (π.χ. *MODIS*, *ASTER VGT*), θεωρείται η καταλληλότερη. Ωστόσο, καθώς η διακριτική ικανότητα αυτών των εικόνων είναι μικρή, η εφαρμογή τους είναι ιδιαίτερος περιορισμένη σε περιπτώσεις όπου το τοπίο χαρακτηρίζεται από υψηλή ποικιλότητα, ή/και απαιτείται ο εντοπισμός αλλαγών που συντελούνται σε τοπικό επίπεδο (Bontemps et al., 2012; Lu et al., 2014; Mildrexler et al., 2007; Spruce et al., 2011). Σε περιπτώσεις όπου η ανίχνευση των αλλαγών σε εθνικό επίπεδο έγινε με τη χρήση εικόνων μέσης ανάλυσης *Landsat*, η διαδικασία των αναλύσεων ήταν αρκετά χρονοβόρα και απαιτούσε αυξημένη υπολογιστική ισχύ (Ahlgqvist, 2008; Jin et al., 2013; Xian et al., 2009). Με γνώμονα το παραπάνω, οι Hansen et al. (2008) εφάρμοσαν τεχνικές σύμπτυξης εικόνων σε δορυφορικά δεδομένα *Landsat* και *MODIS*, για την ανίχνευση αλλαγών της δασικής βλάστησης στο

Κονγκό, και σημείωσαν ότι η εφαρμογή τεχνικών σύμπτυξης εικόνων για την ανίχνευση αλλαγών σε εθνική ή παγκόσμια κλίμακα ανάλυσης είναι αρκετά δύσκολη και απαιτείται περεταίρω μελέτη.

Κατά τη διάρκεια των ετών διάφοροι μέθοδοι ανίχνευσης αλλαγών έχουν προταθεί στη διεθνή βιβλιογραφία. Σε ένα γενικευμένο πλαίσιο, μπορούν να διακριθούν δύο κύριες ομάδες μεθοδολογικών προσεγγίσεων α) οι προ-ταξινομικές και β) οι μετά-ταξινομικές συγκρίσεις εικόνας, με τις δεύτερες να θεωρούνται ως οι συχνότερα εφαρμοζόμενες (Nagendra et al., 2013). Εξειδικεύοντας τις παραπάνω προσεγγίσεις, οι Tewkesbury et al. (2015) διακρίνουν έξι διαφορετικές μεθόδους, που είναι εμφανείς στον πίνακα 2.1, και αναλύονται παρακάτω.

➤ Αριθμητική Σύγκριση

Ως προ-ταξινομικές μέθοδοι ανίχνευσης αλλαγών (ή αριθμητική σύγκριση εικόνων) νοούνται οι διαδικασίες σύγκρισης δορυφορικών εικόνων (ή μετασχηματισμών και δεικτών βλάστησης) για δύο ή/και περισσότερες χρονικές στιγμές (Tewkesbury et al., 2015). Οι τεχνικές αυτού του τύπου είναι αρκετά εύκολες στην εφαρμογή τους, χωρίς να απαιτούνται χρονοβόρες αναλύσεις (Green et al., 1994). Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου, είναι οι περιορισμένες πληροφορίες που παρέχονται στον αναλυτή (π.χ. δεν προσδιορίζονται τα κέρδη και οι απώλειες για κάθε κατηγορία κάλυψης γης). Έτσι, για την καλύτερη ερμηνεία των μεταβολών, στη διαδικασία της σύγκρισης εντάσσονται δείκτες, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τον τύπο κάλυψης στον οποίο πρόκειται να διερευνηθεί η μεταβολή.

Η χρήση των δεικτών βλάστησης για την ανίχνευση αλλαγών, παρέχει επιπλέον πλεονεκτήματα, όπως είναι η μείωση της επίδρασης του ανάγλυφου και των ατμοσφαιρικών συνθηκών (Lu et al., 2005; Lu et al., 2014). Με σκοπό την συστηματική παρακολούθηση της φυσικής βλάστησης, οι Lunetta et al. (2006) προτείνουν τη χρήση του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (*Normalized Differencing Vegetation Index - NDVI*), καθώς παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τη μεταβολή της φαινολογίας των διαφορετικών ειδών. Για τον ίδιο λόγο, οι Setiawan & Yoshino (2014), εφάρμοσαν τον Ενισχυμένο Δείκτη Βλάστησης (*Enhanced Vegetation Index - EVI*), σε περιοχή όπου καλύπτεται από φυσική βλάστηση, αλλά και από εκτεταμένα αγροτικά συστήματα. Εστιάζοντας στην υποβάθμιση της δασικής βλάστησης, οι Wang et al. (2005) προτείνουν τον Τροποποιημένο Δείκτη Βλάστησης (*Modified Soil Adjusted Vegetation Index - MSAVI*) έναντι άλλων, λόγω της γραμμικής του σχέσης με τις περιοχές όπου το φύλλωμα των δέντρων είναι αραιό.

Πίνακας 2.1. Μέθοδοι ανίχνευσης αλλαγών (Πηγή: Ιδία διαμόρφωση/επεξεργασία από τους Tenkesbury et al. 2015).

Μέθοδος	Περιγραφή	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Αριθμητική σύγκριση εικόνων (Arithmetic layer)	Σύγκριση των τιμών ανακλαστικότητας της εικόνας ή διάφορων δεικτών.	Εύκολη εφαρμογή.	Περιορισμένες πληροφορίες σχετικά με την αλλαγή.
Μετά-ταξινόμηση σύγκριση (Post-classification)	Σύγκριση διαχρονικών χαρτών χρήσεων/καλύψεων γης.	Εξάγει την κατεύθυνση και το μέγεθος της αλλαγής, καθώς επίσης και θεματικό χάρτη.	Το σφάλμα της ταξινόμησης μεταφέρεται και στη διαδικασία ανίχνευσης αλλαγών.
Απευθείας ταξινόμηση (Direct classification)	Διαχρονικές εικόνες στοιβάζονται (stack) και ταξινομούνται.	Απαιτείται μόνο μία ταξινόμηση. Εξάγεται θεματικός χάρτης.	Δύσκολη εύρεση δεδομένων εκπαίδευσης του αλγορίθμου ταξινόμησης.
Μετασχηματισμός (Transformation)	Μαθηματικός μετασχηματισμός της εικόνας, ώστε να αναδειχθούν οι αλλαγές μεταξύ δύο εικόνων.	Αποτελεσματική μέθοδος για τη διαχείριση πολυδιάστατων δεδομένων	Δύσκολη ερμηνεία των αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης. Δεν εξάγεται θεματικός χάρτης.
Διανυσματική ανάλυση αλλαγών (Change vector analysis)	Υπολογισμός διανυσμάτων διαφοράς μεταξύ μονάδων ανάλυσης, εξάγοντας το μέγεθος και την κατεύθυνση της αλλαγής.	Εξάγει λεπτομέρειες σχετικά με τις αλλαγές που συμβαίνουν.	Σε ορισμένες περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι αμφίβολα.
Υβριδικές μέθοδοι (Hybrid)	Συνδυασμός διαφόρων μεθόδων. Αρχικά εφαρμόζεται η αριθμητική σύγκριση και στη συνέχεια η απευθείας ταξινόμηση.	Συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των μεθόδων που εφαρμόζονται.	Δεν έχουν αναφερθεί συγκεκριμένοι περιορισμοί.

Ένας ακόμα δείκτης ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί στα δασικά οικοσυστήματα είναι ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Υγρασίας (*Normalized Differencing Moisture Index - NDMI*), με τη χρήση του οποίου εξάγονται ακριβή αποτελέσματα σε μελέτες που στοχεύουν στην ανίχνευση αλλαγών (Wilson & Sader, 2002). Όμως, σε περιπτώσεις που απαιτείται η συστηματική παρακολούθηση και αξιολόγηση των μεταβολών της κάλυψης γης σε περιφερειακή ή εθνική κλίμακα, ερευνητές έχουν αναπτύξει και εφαρμόσει αυτόματα ή ημί-αυτόματα μοντέλα ανίχνευσης αλλαγών, που στηρίζονται στην αριθμητική σύγκριση και σε δείκτες βλάστησης (Jin et al., 2013; Lv et al., 2017; Xian & Homer, 2010). Το βασικό πλεονέκτημα των μοντέλων ανίχνευσης αλλαγών, είναι ότι εξάγεται τόσο η ένταση όσο και η κατεύθυνση της μεταβολής (π.χ. από δασική βλάστηση σε αγρούς), περιορίζοντας περαιτέρω τις αδυναμίες της αριθμητικής σύγκρισης εικόνων (Lv et al., 2017).

➤ Μετά-ταξινομική σύγκριση

Μετα-ταξινομική ανίχνευση αλλαγών, ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία συγκρίνονται δύο θεματικοί χάρτες, που αναφέρονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (Jin et al., 2017). Τα βασικότερα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι α) στηρίζεται σε θεματικούς χάρτες όπου οι κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης είναι γνωστές, β) για την εφαρμογή τους δεν είναι απαραίτητες ραδιομετρικές διορθώσεις, καθώς και το γεγονός ότι γ) εξάγονται θεματικοί χάρτες και πίνακες που δείχνουν την κατεύθυνση και την ένταση της μεταβολής για κάθε κατηγορία κάλυψης/χρήσης γης (Coppin et al., 2004; Lu et al., 2014; Nagendra et al., 2013; Warner et al., 2008). Ωστόσο, για την εφαρμογή της μετά-ταξινομικής διαδικασίας, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και κάποιοι βασικοί περιορισμοί. Αρχικά, απαιτείται να εφαρμοστεί κάποιου είδους ταξινόμηση, η οποία είναι μία δύσκολη, χρονοβόρα, και σε πολλές περιπτώσεις δαπανηρή εργασία (Lu et al., 2004). Θα πρέπει, συνεπώς, να συνυπολογίζεται κατά τη διαδικασία ανίχνευσης αλλαγών αν οι θεματικοί χάρτες προέρχονται από διαφορετικές ταξινομικές διαδικασίες ή/και δορυφορικά συστήματα. Αυτό διότι καθώς παρατηρούμενες από τη διαδικασία μεταβολές μπορεί να είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών χαρακτηριστικών των θεματικών χαρτών (Comber et al., 2004). Ο σημαντικότερος, ωστόσο, περιορισμός της μεθόδου, είναι ότι η ακρίβεια του αποτελέσματος είναι πλήρως εξαρτώμενη από την ακρίβεια και ποιότητα των θεματικών χαρτών που θα αναλυθούν, αυξάνοντας το βαθμό δυσκολίας, το χρόνο και το κόστος για την εξαγωγή ακριβέστερων αποτελεσμάτων ταξινόμησης (Tewkesbury et al., 2015). Στο πλαίσιο αυτό οι Anderson et al. (1976) και οι Thomlinson et al. (1999) όρισαν ότι, για την εφαρμογή της μετά-ταξινομικής διαδικασίας ανίχνευσης αλλαγών, η ολική ακρίβεια των ταξινομήσεων θα πρέπει να είναι πάνω από 85%.

Παρόλους τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν, η μετά-ταξινομική ανίχνευση αλλαγών είναι η συχνότερα εφαρμοζόμενη μέθοδος, τόσο για την εύρεση μεταβολών σε πολλαπλές όσο και σε συγκεκριμένες χρήσεις/καλύψεις γης. Η μέθοδος αυτή, συγκεκριμένα, έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε θεματικούς χάρτες που προέρχονται από εικόνες υψηλής και μέσης ανάλυσης, από ταξινομικές διαδικασίες με βάση το εικονοστοιχείο ή αντικειμενοστραφούς λογικής, από την εφαρμογή επιβλεπόμενης ή μη-επιβλεπόμενης ταξινόμησης, καθώς και σε μελέτες σε τοπική, περιφερειακή ή εθνική κλίμακα ανάλυσης (Chen et al., 2012; Chou et al., 2005; Gamanya et al., 2009; Geri et al., 2010; Hester et al., 2010; Kefalas et al., 2018; Kilic et al., 2006; Robertson & King, 2011; Serra et al., 2008; Tewkesbury et al., 2015; Torres-Vera et al., 2008; Xofis & Poirazidis, 2018).

Σε κάποιες από τις παραπάνω εφαρμογές έγινε προσπάθεια για τη βελτίωση της ακρίβεια των αποτελεσμάτων που εξάγονται από τη μετά-ταξινομική διαδικασία ανίχνευσης αλλαγών, λαμβάνοντας υπόψη την ακρίβεια των θεματικών χαρτών, ή την εφαρμογή διαφόρων σεναρίων μεταβολής. Σχετικά με την ακρίβεια των χαρτών χρήσεων/καλύψεων γης, στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί δύο προσεγγίσεις: α) η εφαρμογή της διαδικασίας ανίχνευσης αλλαγών σε ευρείες κατηγορίες χρήσεων/καλύψεων γης, και β) η σύγκριση της πιθανότητας του εικονοστοιχείου να ανήκει σε συγκεκριμένη κατηγορία χρήσης/κάλυψης γης (*fuzzy class probability comparison*). Με βάση την πρώτη προσέγγιση, οι Xofis & Poirazidis (2018) εφάρμοσαν τη μετά-ταξινομική διαδικασία ανίχνευσης αλλαγών στο Εθνικό Πάρκο Δαδιάς - Λευκίμμης – Σουφλίου, για την περίοδο 2001 – 2011. Το σχήμα αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης που ανέπτυξαν, εξήγαγε σαν αποτέλεσμα δεκατέσσερις χρήσεις/καλύψεις γης, τις οποίες ενοποίησαν σε έξι ευρείες κατηγορίες, βασιζόμενοι στα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης τους. Η δεύτερη προσέγγιση έχει εφαρμοστεί με επιτυχία από τους Chen et al. (2012) και Hester et al. (2010), για την ανίχνευση αλλαγών σε πολλαπλές χρήσεις/καλύψεις γης, και σε αστικό περιβάλλον, αντίστοιχα. Σε άλλη περίπτωση, η ακρίβεια της ανίχνευσης αλλαγών βελτιώθηκε όταν η διαδικασία εφαρμόστηκε κάτω από συγκεκριμένο σενάριο. Η χρήση διαφόρων σεναρίων είναι αρκετά σύνθετες σε περιπτώσεις πρόβλεψης των χρήσεων/καλύψεων γης, αν και οι Chou et al. (2005), αφού εφάρμοσαν τη μετά-ταξινομική διαδικασία ανίχνευσης αλλαγών, απομάκρυναν από το τελικό αποτέλεσμα τις μεταβολές τις οποίες ήταν αδύνατο να συμβούν, σύμφωνα με το προκαθορισμένο σενάριο.

➤ Απευθείας σύγκριση

Σε άλλες περιπτώσεις, η ανίχνευση των αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης γίνεται μέσω της απευθείας ταξινόμησης. Στην περίπτωση αυτή, οι δορυφορικές εικόνες, οι οποίες αναφέρονται σε διαφορετικές

χρονικές στιγμές, αρχικά ενώνονται σε μία διαχρονική εικόνα (*multi-temporal image*), και στη συνέχεια εφαρμόζεται κάποιου είδους ταξινόμηση (Chehata et al. 2013). Η ταξινομική διαδικασία που θα εφαρμοστεί είναι στην ευχέρεια του αναλυτή, και ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα και το σκοπό της έρευνας. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι α) απαιτείται μόνο μια ταξινομική διαδικασία, β) εξάγεται θεματικός χάρτης, γ) είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν μεγάλες χρονοσειρές, και δ) να εφαρμοστούν αλγόριθμοι ταξινόμησης που θα εξάγουν ακριβές αποτέλεσμα (Chehata et al., 2013; Gao et al., 2012; Hayes & Sader, 2001; Schneider, 2012). Ωστόσο, βασικό μειονέκτημα της μεθόδου, είναι η εύρεση των κατάλληλων δεδομένων εκπαίδευσης του αλγορίθμου ταξινόμησης, το οποίο οδηγεί στη χρήση της μη-επιβλεπόμενης ταξινόμησης, μέσω της οποίας μεταβολές μικρής έντασης δεν είναι δυνατό να χαρτογραφηθούν (Ghosh & Joshi, 2014; Lu et al., 2004; Warner et al., 2008).

➤ Μετασχηματισμός

Με τη χρήση διαχρονικών εικόνων, εφαρμόζεται και η ανίχνευση αλλαγών που στηρίζεται στο μετασχηματισμό της εικόνας. Οι μετασχηματισμοί των δορυφορικών δεδομένων, όπως και σε άλλου τύπου δεδομένα, είναι μέθοδοι, οι οποίες αποσκοπούν στη μείωση (ή συμπίεση) των πρωτογενών δεδομένων, απαλείφοντας την συσχετιζόμενη πληροφορία και τονίζοντας τη διακύμανσή τους (Deng et al., 2008). Για την ανίχνευση αλλαγών εφαρμόζονται κυρίως δύο μέθοδοι μετασχηματισμού α) η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (*Principal Components Analysis - PCA*), και β) η *Multivariate Alteration Detection (MAD)* (Tewkesbury et al., 2015). Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι α) η γρήγορη εφαρμογή, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου δεν απαιτείται η ένταση και η κατεύθυνση της μεταβολής κάλυψης γης, και β) η χρησιμότητά της σε περιπτώσεις διαχείρισης μεγάλων χρονοσειρών (Bruzzone & Bovolo, 2013; Deng et al., 2008; Doxani et al., 2012; Listner & Niemeyer, 2011). Όμως, τα αποτελέσματα της ανίχνευσης αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης με βάση αυτή τη μέθοδο είναι αρκετά δύσκολο να ερμηνευτούν, περιορίζοντας σε μεγάλο βαθμό τη χρήση της (De Carvalho Júnior et al., 2013; Lu et al., 2004; Warner et al., 2008).

➤ Διανυσματική Ανάλυση Αλλαγών

Ακόμα μία μέθοδος η οποία εφαρμόζεται για την ανίχνευση των αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης είναι η Διανυσματική Ανάλυση Αλλαγών (*Change Vector Analysis - CVA*) (Malila, 1980). Για να εφαρμοστεί η CVA, χρησιμοποιούνται δύο δορυφορικές εικόνες διαφορετικών χρονικών στιγμών, και εξάγονται η ένταση της μεταβολής, καθώς και η κατεύθυνσή της, για κάθε μία από τις δύο εικόνες

(Johnson & Kasischke, 1998). Σε ένα απλουστευμένο πλαίσιο, οι δυο δορυφορικές εικόνες περιγράφονται σε τρεις συνιστώσες α) το διάνυσμα της πρώτης χρονικής στιγμής, β) το διάνυσμα της δεύτερης χρονικής στιγμής και γ) το διάνυσμα διασύνδεσης (*interconnecting vector*) ή διάνυσμα της αλλαγής, καθώς η κατεύθυνση και το μέγεθός του, μπορούν να παρουσιάσουν την αλλαγή που έχει πραγματοποιηθεί (Tewkesbury et al., 2015). Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου CVA είναι α) η δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου αριθμού καναλιών, β) η αποφυγή σφαλμάτων που προέρχονται από τις ταξινομήσεις διαχρονικών εικόνων, και γ) οι λεπτομερείς πληροφορίες που εξάγονται σχετικά με τη μεταβολή της κάλυψης (Bovolo et al., 2012). Η εύρεση της έντασης της μεταβολής είναι μία σχετικά εύκολη διαδικασία, ωστόσο, η εύρεση της κατεύθυνσης είναι αρκετά δύσκολη, ιδίως αν οι εικόνες που εντάσσονται στην ανάλυση αποτελούνται από πολλά κανάλια (Xian et al., 2009). Σε μία προσπάθεια απλούστευσης της μεθόδου, οι Bovolo & Bruzzone (2007) εφάρμοσαν τη CVA, μόνο στο 3^ο και 4^ο φασματικό κανάλι δύο εικόνων *Landsat*, για τη χαρτογράφηση καμένων περιοχών. Από τα αποτελέσματά τους φάνηκε, ότι δυνητικά η μέθοδος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε συγκεκριμένα φασματικά κανάλια ώστε να είναι εφικτή και η εύρεση της κατεύθυνσης της αλλαγής. Η δύσκολη ερμηνεία των αποτελεσμάτων που εξάγονται από τη CVA, ωστόσο είναι ο κύριος λόγος που η εφαρμογή της είναι περιορισμένη, παρόλο την ανάπτυξη τεχνικών που αποσκοπούν στον εύκολο προσδιορισμό και ερμηνεία των μεταβολών (Bovolo et al., 2012; Johnson & Kasischke, 1998; Xian et al., 2009).

➤ Υβριδική

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι για την καλύτερη ανίχνευση και ερμηνεία των μεταβολών της κάλυψης/χρήσης γης, σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται παραπάνω από μία μέθοδος (υβριδική μέθοδος). Συνήθως, κατά την προσέγγιση αυτή, αρχικά εντοπίζονται οι περιοχές (εικονοστοιχεία ή αντικείμενα) στα οποία έχει μεταβληθεί ο τύπος κάλυψής τους, και στη συνέχεια αναγνωρίζεται το είδος της αλλαγής (π.χ. από δάσος σε αγρό) (Tewkesbury et al., 2015). Στην πιο συνηθισμένη μορφή της μεθόδου, ο εντοπισμός της μεταβολής γίνεται με τη χρήση κάποιου δείκτη βλάστησης (αριθμητική σύγκριση) ή μέσω μετασχηματισμού (ανίχνευση με βάση το μετασχηματισμό), και στη συνέχεια εφαρμόζεται κάποιου είδους επιβλεπόμενη ή μη-επιβλεπόμενη ταξινόμησης (Lu et al., 2004; Doxani et al., 2011). Σε άλλη περίπτωση, οι Seto et al., (2002) εφάρμοσαν επιβλεπόμενη ταξινόμηση, στο εξαγόμενο από την ανάλυση διανυσματικής αλλαγής (CVA) αποτέλεσμα.

2.5 Οι κινητήριες δυνάμεις μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης μέθοδοι, τεχνικές και δεδομένα

2.5.1 Οι διαδικασίες μεταβολής και κινητήριες δυνάμεις

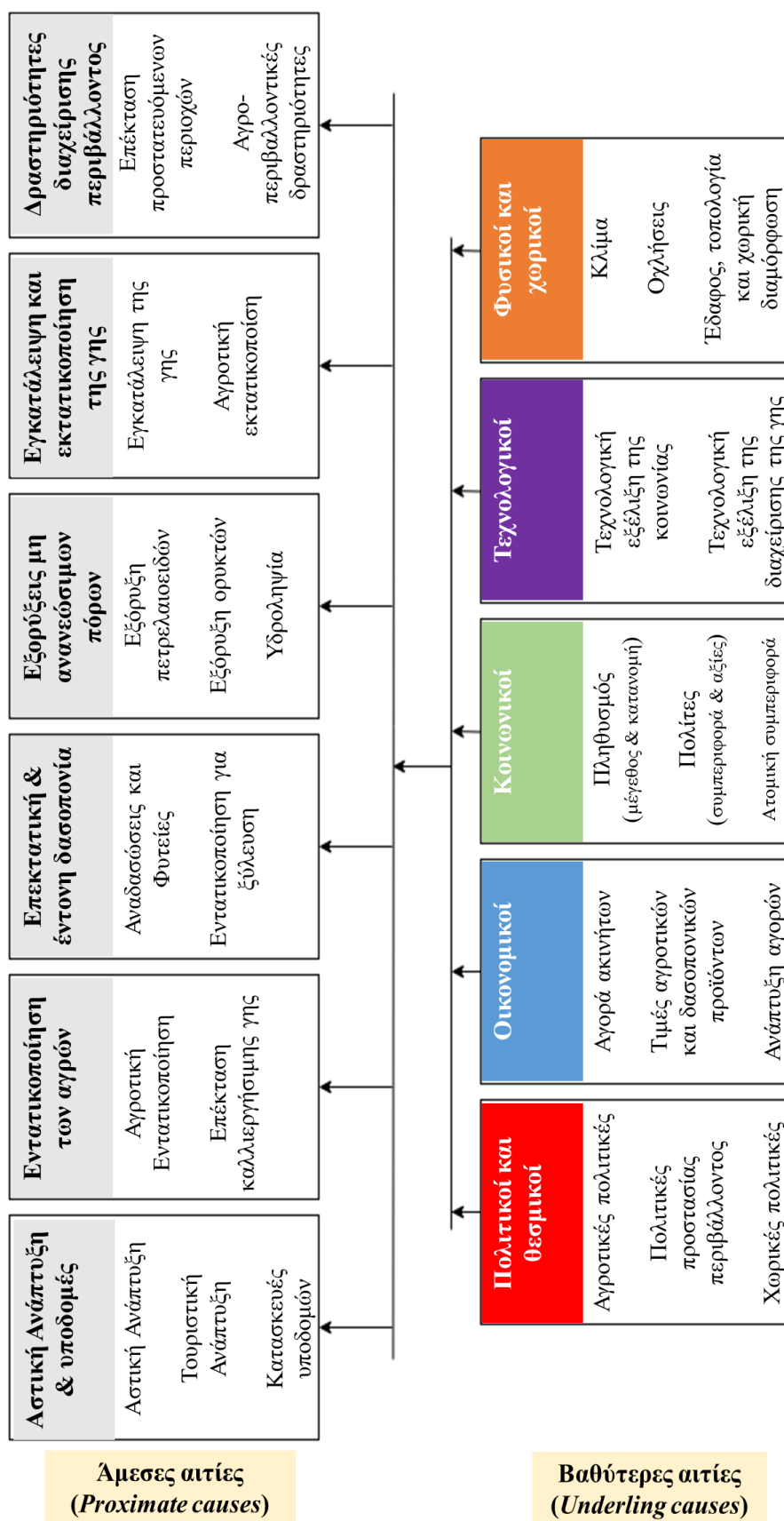
Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης προκαλούνται από κάθε πτυχή των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως είναι η γεωργία, η κτηνοτροφία και ο τουρισμός, αλλά και από διάφορες περιβαλλοντικές διαδικασίες και φυσικές καταστροφές, όπως η φυσική αναγέννηση, η πυρκαγιά, και η ξηρασία. Ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσογείου, η μακρόχρονη αλληλεπίδραση του ανθρώπου με το περιβάλλον, οδήγησε στην δημιουργία περιοχών με αυξημένη δυναμική, που χαρακτηρίζονται από υψηλή φυσική και πολιτισμική αξία (Bajocco et al., 2016; Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011; van Vliet et al., 2015). Καθώς τα τελευταία χρόνια οι ανθρωπογενείς πιέσεις στα οικοσυστήματα αυξάνονται, και τα φαινόμενα φυσικών καταστροφών εμφανίζονται πιο έντονα και πιο συχνά, απόρροια και της κλιματικής αλλαγής (Kontoes et al., 2013), οι βλάβες που μπορεί να δημιουργηθούν στα οικοσυστήματα της περιοχής, μπορεί να είναι μη αναστρέψιμες (Alphan, 2017). Για την επιτυχή αντιμετώπιση ή/και διαχείριση των αρνητικών ή θετικών απορροιών που προκαλούνται από τις μεταβολές του τοπίου, απαιτείται αρχικά η κατανόηση του συστήματος μεταβολής του, μέσα από την εύρεση και κατανόηση των κύριων επεξηγηματικών παραγόντων (κινητήριες δυνάμεις). Στο πλαίσιο αυτό, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία αύξηση των ερευνών που στοχεύουν στη δυναμική του τοπίου και της εύρεσης των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής του (Hersperger et.al., 2010; Verburg et al., 2015).

Από τα τέλη της δεκαετίας του '90, όταν και προτάθηκε από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης το πλαίσιο μελέτης των κινητήριων δυνάμεων να ενταχθεί στις περιβαλλοντικές πολιτικές (OECD, 1999), η εύρεση και κατανόηση των συστημάτων μεταβολής των οικοσυστημάτων είναι στο επίκεντρο της μελέτης του περιβάλλοντος. Σήμερα, το πλαίσιο των κινητήριων δυνάμεων χρησιμοποιείται για την κατανόηση των αιτιών, των διαδικασιών, αλλά και του αποτελέσματος της μεταβολής του τοπίου, ενώ χρησιμοποιείται και για την αξιολόγηση των παρεμβάσεων που πραγματοποιούνται σε μία περιοχή (Plieninger et al., 2016). Πέραν των άλλων, καθώς οι πολιτικές για τη διαχείριση των φυσικών πόρων εφαρμόζονται σε μεγαλύτερες κλίμακες ανάλυσης (π.χ. σε περιφερειακή κλίμακα), η εύρεση των κινητήριων δυνάμεων για να είναι χρήσιμη στις χωρικές πολιτικές δεν θα πρέπει να είναι μόνο τοπικά εστιασμένη, αλλά να αναφέρεται και σε μεγαλύτερες χωρικές μονάδες (Sayer et al., 2013).

Οι διαδικασίες οι οποίες οδηγούν σε μεταβολές του τοπίου (*land use/cover change processes* ή *landscape transition processes*) είναι η αστικοποίηση, η εντατικοποίηση ή η εγκατάλειψη των αγρών, η επέκταση των δασών, και η αυξανόμενη ζήτηση για τη δημιουργία νέων περιοχών προστασίας της φύσης (Plieninger & Bieling, 2010). Όμως, η ένταση, η κατεύθυνση και ο ρυθμός των μεταβολών, εξαρτάται κυρίως από την υπάρχουσα κοινωνική και οικολογική κατάσταση της περιοχής μελέτης (Pinto-Correia & Kristensen, 2013). Για παράδειγμα, αν και συμβαίνουν παρόμοιες διαδικασίες μεταβολής, η υπάρχουσα κοινωνική και οικολογική κατάσταση είναι που οδήγησε τις Μεσογειακές περιοχές να χαρακτηριστούν ως *hot-spot* εγκατάλειψης (Serra et al., 2008), ενώ αντίθετα περιοχές της βόρειο-δυτικής Ευρώπης να καλλιεργούνται εντονότερα απ' ό,τι στο παρελθόν (Pinto-Correia & Kristensen, 2013). Με βάση όμως τον παραπάνω συλλογισμό, ένα ερώτημα που παραμένει αναπάντητο στη διεθνή βιβλιογραφία σχετίζεται με το ποιες είναι οι κατάλληλες περιβαλλοντικές και κοινωνικές μεταβλητές που συσχετίζονται με κάθε μεταβολή της χρήσης/κάλυψης της γης (Parcerisas et al., 2012).

Τα πιθανά αίτια μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης (κινητήριες δυνάμεις) που χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχες μελέτες, συχνά διαχωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες (Εικόνα 2.6): α) στις «Άμεσες ή Εγγύς αιτίες» (*Proximate causes*) και β) στις «Βαθύτερες ή Υποκείμενες αιτίες» (*Underlying causes*). Οι άμεσες αιτίες μεταβολής, αναφέρονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες, οι οποίες δρουν σε τοπική κλίμακα. Τέτοιες αιτίες μεταβολής μπορεί να είναι η εντατικοποίηση ή η εγκατάλειψη των αγρών, η κατασκευή υποδομών, η αστική διάχυση, η επέκταση της δασικής ζώνης κλπ. Από την άλλη πλευρά οι βαθύτερες αιτίες μεταβολής χρησιμοποιούνται για να απαντήσουν σε ερωτήματα, όπως: ποιος είναι ο λόγος εντατικοποίησης ή εγκατάλειψης των αγρών; τι προκάλεσε την αστική διάχυση; κλπ. Άρα, οι βαθύτερες αιτίες είναι οι βασικοί κοινωνικοί, πολιτικοί, πολιτισμικοί, τεχνολογικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες, οι οποίοι μπορεί να δρουν τόσο σε τοπική/περιφερειακή κλίμακα όσο και σε εθνική ή παγκόσμια κλίμακα (Brandt, 1999; Burgi et al., 2005; Geist & Lambin, 2006; Lambin et al., 2001).

Στη διεθνή βιβλιογραφία, οι άμεσες αιτίες μεταβολής του τοπίου που μελετώνται πιο διεξοδικά είναι η εγκατάλειψη/εντατικοποίηση των αγρών, η επεκτατική και εντατική δασοπονία, και η ανάπτυξη των πόλεων και των υποδομών (Plieninger et al., 2016). Εστιάζοντας στην περιοχή της Μεσογείου, η εγκατάλειψη/εντατικοποίηση των αγρών είναι η συχνότερα εμφανιζόμενη άμεση αιτία (Bajocco et al., 2012). Σε αρκετές μελέτες, οι ερευνητές συνδυάζουν και παραπάνω από μία άμεσες αιτίες μεταβολής του τοπίου (δύο ή τρεις), π.χ. συνδυάζονται η άμεση αιτία εγκατάλειψης των αγρών με την επέκταση



Εικόνα 2.6. Μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις άμεσες και βαθύτερες αιτίες μεταβολής του τοπίου. (Πηγή: Ιδία επεξεργασία/διαμόρφωση από τους Plieninger et al., 2016).

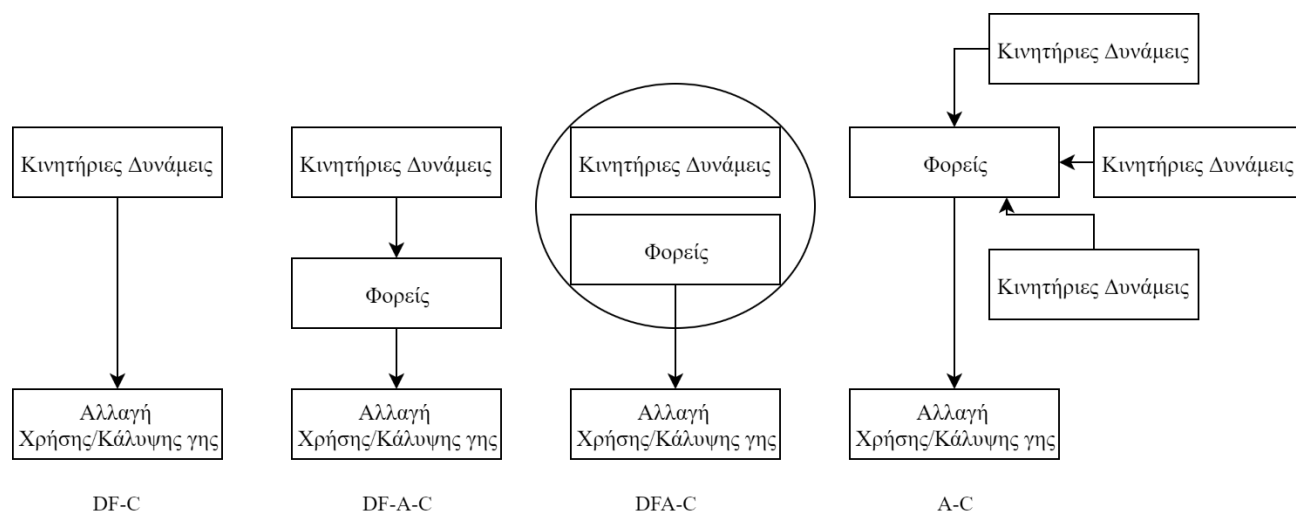
των δασών. Από την άλλη μεριά, στις βαθύτερες αιτίες μεταβολής, οι πολιτικές/θεσμικές και φυσικές/χωρικές αιτίες είναι οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες, σε σύνδεση με οικονομικές αιτίες που εντάσσονται σε όλες σχεδόν τις μελέτες (Plieninger et al., 2016). Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις για την καλύτερη ερμηνεία των μεταβολών του τοπίου, γίνεται συνδυασμός παραγόντων που ανήκουν και στις δύο κύριες ομάδες αιτιών (άμεσες και βαθύτερες) (Plieninger et al., 2016). Όμως, οι κινητήριες δυνάμεις δεν είναι αυτές που καθορίζουν, από μόνες τους την ένταση και την κατεύθυνση της καλύψης γης, αλλά διαμορφώνονται μαζί με τους φορείς/δρώντες (*actors*). Οι φορείς (π.χ. οργανισμοί και ινστιτούτα) μπορούν είτε άμεσα, είτε έμμεσα (μέσω των κινητήριων δυνάμεων) να μεταβάλουν την κάλυψη της γης (Hersperger et al., 2010).

Το πως συνδέονται οι κινητήριες δυνάμεις και οι φορείς με τις μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης, είναι ένα ζήτημα που απασχολεί διαχρονικά την επιστήμη των χρήσεων/καλύψεων γης. Από τις αρχές του 1990, οι Kates et al. (1990) έθεσαν ως προβληματισμό, πως οι θεωρίες και τα θεωρητικά πλαίσια που συνδέουν τις κινητήριες δυνάμεις και τους οργανισμούς που λαμβάνουν τις αποφάσεις, με τις μεταβολές του περιβάλλοντος θα πρέπει να εντάσσονται σε συγκεκριμένα εννοιολογικά πλαίσια, ή αλλιώς εννοιολογικά μοντέλα. Σύμφωνα με τους Verburg et al. (2004), τα εννοιολογικά μοντέλα είναι χρήσιμα εργαλεία τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση των αιτιών και επιπτώσεων της μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης, υποστηρίζοντας το χωρικό σχεδιασμό.

Η παραπάνω ερμηνεία των μοντέλων χρήσεων/καλύψεων γης, είναι σύμφωνη και από τους Matthews et al. (2007) και Browder et al. (2008), οι οποίοι συμπληρώνουν πως από τη χρήση των μοντέλων, οι σχέσεις μεταξύ μεταβολής κάλυψης γης και παραγόντων, που πιθανολογούνται μέσα από τις διάφορες θεωρίες, μπορούν να ελεγχθούν. Κατά τη διάρκεια των ετών, διάφορα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί, τα οποία μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κύριες ομάδες: α) τα περιγραφικά μοντέλα (*descriptive models*), και β) τα μοντέλα προτύπων (*prescriptive models*) (Agarwal et al., 2002; Schaldach & Priess, 2008; Verburg et al., 2004). Τα περιγραφικά μοντέλα, στοχεύουν στην ερμηνεία και προσομοίωση του συστήματος των χρήσεων/καλύψεων γης, ενώ, τα μοντέλα προτύπων χρησιμοποιούνται για την εύρεση της κατάλληλης διαμόρφωσης του τοπίου ώστε να επιτευχθεί ένας διαχειριστικός στόχος που τέθηκε (Burgi et al., 2005; Hersperger et al., 2010). Μία προσπάθεια συγκέντρωσης των διαφόρων σχέσεων μεταξύ κινητήριων δυνάμεων, φορέων και μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης έγινε από τους Hersperger et al. (2010), οι οποίοι πρότειναν τέσσερα εννοιολογικά μοντέλα που συνδέουν τις παραπάνω συνιστώσες: α) το μοντέλο κινητήριες δυνάμεις – μεταβολή χρήσεων/καλύψεων γης (DF-C), β) το μοντέλο κινητήριες δυνάμεις – φορείς – μεταβολή

χρήσεων/καλύψεων γης (DF-A-C), γ) το μοντέλο κινητήριες δυνάμεις/φορείς – μεταβολή χρήσεων/καλύψεων γης (DFA-C) και δ) το μοντέλο φορείς – μεταβολή χρήσεων/καλύψεων γης (A-C) (Εικόνα 2.7).

Κατά το πρώτο μοντέλο (DF-C), οι μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης είναι άμεσα συνδεδεμένες με τις κινητήριες δυνάμεις. Στο μοντέλο αυτό, η εύρεση των αιτιολογικών σχέσεων ανάμεσα στη μεταβολή της κάλυψης γης και των δυνάμεων που επιδρούν σε αυτές δεν είναι άμεση προτεραιότητα. Τα ερωτήματα που απαντώνται από τη χρήση του μοντέλου DF-C μπορεί να είναι: «Ποιες κινητήριες δυνάμεις συσχετίζονται με τις μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης;», «Ποιες από τις κινητήριες δυνάμεις συνεισφέρουν και πόσο στη μεταβολή των χρήσεων/καλύψεων γης;». Το μοντέλο DF-C είναι πολύ χρήσιμο για διάφορες διερευνητικές αναλύσεις, όμως, καθώς η αιτιολογική σχέση μεταξύ παραγόντων και μεταβολής δεν διασφαλίζεται από την ύπαρξη συσχέτισης, η περαιτέρω μελέτη είναι απαραίτητη, ιδιαιτέρως όταν ο σκοπός της μελέτης είναι να βρεθούν τα αίτια κάποιας μεταβολής. Αντίθετα, τα βασικά πλεονεκτήματα του μοντέλου είναι η σχετικά εύκολη εύρεση δεδομένων που πιθανολογούνται ως οι κινητήριοι παράγοντες (π.χ. δεδομένα απογραφής, περιβαλλοντικοί παράγοντες, κλπ.), καθώς και η πληθώρα στατιστικών αναλύσεων που είναι δυνατόν να εφαρμοστούν (Hersperger et al., 2010; Overmars et al., 2007).



Εικόνα 2.7. Τα τέσσερα εννοιολογικά μοντέλα.
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία/διαμόρφωση από τους Hersperger et al., 2010).

Το δεύτερο εννοιολογικό μοντέλο (DF-A-C), προσομοιάζει καλύτερα την αλληλουχία «οι κινητήριες δυνάμεις επηρεάζουν τους φορείς, οι οποίοι μεταβάλλουν την κάλυψη/χρήση της γης». Στο μοντέλο αυτό οι κινητήριες δυνάμεις και οι φορείς είναι εξίσου σημαντικοί. Τα ερωτήματα που απαντώνται από τη χρήση του DF-A-C είναι: «Ποιες κινητήριες δυνάμεις επιδρούν στους φορείς και πως αυτοί μεταβάλλουν

την κάλυψη/χρήση της γης;», «Ποια είναι η αλληλουχία γεγονότων που οδήγησε τις κινητήριες δυνάμεις και τους φορείς να μεταβάλλουν την κάλυψη/χρήση της γης;». Αν και η διερεύνηση αυτής της αλληλουχίας είναι ιδιαίτερος σημαντική για τη μελέτη της μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης, η εύρεση δεδομένων που αναφέρονται στους φορείς είναι αρκετά δύσκολη καθώς προέρχονται κυρίως από προσωπικές συνεντεύξεις και ερωτηματολόγια. Έτσι, για τη διερεύνηση των σχέσεων, κατά την ανάλυση εντάσσονται και τεχνικές που επιτρέπουν την κοινή χρήση των δύο διαφορετικών τύπων δεδομένων (Hersperger et al., 2010; Rindfuss et al., 2004).

Το τρίτο εννοιολογικό μοντέλο (DFA-C) θέτει ότι οι κινητήριες δυνάμεις και οι φορείς έχουν μία στενή σύνδεση, όπου ως αποτέλεσμα αυτής συμβαίνουν οι μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης. Το μοντέλο DFA-C δεν εστιάζει στην αλληλουχία μεταξύ κινητήριων δυνάμεων, φορέων και εν τέλει στη μεταβολή της κάλυψης γης, όπως συμβαίνει με το μοντέλο DF-A-C, αλλά στην αλληλεπίδραση μεταξύ κινητήριων δυνάμεων και φορέων. Οι μελέτες που εφαρμόζουν το DFA-C, προσπαθούν να απαντήσουν στο ερώτημα: «Ποια είναι η μεταβολή της κάλυψης γης μετά την αλληλεπίδραση των κινητήριων δυνάμεων και των φορέων;». Για την απάντηση του ερωτήματος, αρχικά θα πρέπει να διερευνηθεί η αμφίδρομη σχέση μεταξύ κινητήριων δυνάμεων και φορέων, δηλ. πως οι αποφάσεις των φορέων επηρεάζονται από τις κινητήριες δυνάμεις. Μέσω της χρήσης του μοντέλου DFA-C, γίνεται πιο κατανοητή η σχέση μεταξύ κινητήριων δυνάμεων και φορέων, όμως η εφαρμογή του είναι αρκετά δύσκολη κυρίως λόγω των περιορισμών που αναφέρονται και στο μοντέλο DF-A-C (δύσκολη εύρεση δεδομένων και σύνθετες τεχνικές ανάλυσης).

Κατά το τέταρτο εννοιολογικό μοντέλο (A-C), οι φορείς διαδραματίζουν τον καθοριστικότερο ρόλο στη μεταβολή των χρήσεων/καλύψεων γης. Κατά το μοντέλο A-C, οι κινητήριες δυνάμεις ορίζονται ως τα στοιχεία του περιβάλλοντος, μέσω των οποίων οι φορείς λαμβάνουν τις αποφάσεις τους. Τα κύρια ερωτήματα που απαντώνται από τη χρήση του A-C μοντέλου είναι: «Πως οι φορείς επηρεάζουν τα τοπικά πρότυπα χρήσεων γης;», «Πως οι μεταβαλλόμενες συμπεριφορές και τα χαρακτηριστικά των νοικοκυριών επηρεάζουν τις αποφάσεις για τη μεταβολή των χρήσεων γης;». Με βάση τα παραπάνω, το μοντέλο A-C εστιάζει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για τη μεταβολή της χρήσης γης. Ο βασικότερος περιορισμός του μοντέλου, είναι εύρεση και επεξεργασία των δεδομένων, καθώς οι περισσότερες μεταβλητές που απαιτούνται προέρχονται από εστιασμένες έρευνες γνώμης (Hersperger et al., 2010; Hietel et al., 2005).

Σύμφωνα με τους Verburg (2014) και Eiter & Potthoff (2016), κατά την επιλογή του κατάλληλου πλαισίου εργασιών, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η κλίμακα ανάλυσης, ο λόγος και τα ερευνητικά

ερωτήματα που πρόκειται να απαντηθούν από την ανάλυση, καθώς και η διαθεσιμότητα των δεδομένων. Συνυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω, οι Kizos et al. (2018), συγκέντρωσαν και παρουσίασαν τα τέσσερα εννοιολογικά μοντέλα που προτάθηκαν από τους Hersperger et al. (2010) ανάλογα με το σκοπό της έρευνας και την κλίμακα της ανάλυσης (Εικόνα 2.8).

Με βάση την εικόνα 2.8 φαίνεται ότι, τα μοντέλα κινητήριων δυνάμεων – μεταβολή της κάλυψης (DF-C) και κινητήριες δυνάμεις – φορείς-μεταβολή χρήσεων/καλύψεων γης (DF-A-C), είναι κατάλληλα να εφαρμοστούν σε μελέτες που διενεργούνται σε όλες τις κλίμακες ανάλυσης (τοπική, περιφερειακή, εθνική ή υπέρ-εθνική/παγκόσμια). Αντίθετα, όταν η κλίμακα ανάλυσης είναι τοπική ή περιφερειακή, τα εννοιολογικά πλαίσια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι το μοντέλο κινητήριες δυνάμεις/φορείς – μεταβολή χρήσεων/καλύψεων γης (DFA-C) και το μοντέλο φορείς – μεταβολή χρήσεων/καλύψεων γης (A-C). Έτσι, στο πλαίσιο της διατριβής, συνυπολογίζοντας την περιφερειακή κλίμακα ανάλυσης και το σκοπό της έρευνας, που είναι η διερεύνηση των πιθανών σχέσεων μεταξύ της μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης και των κινητήριων δυνάμεων, εφαρμόζεται το εννοιολογικό πλαίσιο κινητήριες δυνάμεις-μεταβολή της κάλυψης (DF-C).

Εννοιολογικό Μοντέλο	Στόχος Μελέτης	Κλίμακα Ανάλυσης			
		Τοπική	Περιφερειακή	Εθνική	Υπέρ-Εθνική
DF-C	- Διερεύνηση - Δημιουργία υπόθεσης - Υπολογισμός παραμέτρων	Περίπτωση μελέτης των ιστορικών μεταβολών του τοπίου και των κινητήριων δυνάμεων		Σύνθεση & Υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων Μετά- Ανάλυση	
DF-A-C	- Κατανόηση της αλληλουχίας μεταβολής - Εύρεση του συνδυασμού κινητήριων δυνάμεων και φορέων				
DFA-C	- Αλληλεπιδράσεις μεταξύ φορέων και κινητήριων δυνάμεων - Ανάλυση πολιτικών	-Αξιολόγηση της αξίας του τοπίου -Μοντέλα πρακτόρων για τις μεταβολές του τοπίου			
A-C	- Συμπεριφορά των φορέων στις αποφάσεις των φορέων - Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των φορέων - Ανάλυση πολιτικών				

Εικόνα 2.8. Τα εννοιολογικά μοντέλα, προσαρμοζόμενα σε σχέση με την κλίμακα ανάλυσης και τους σκοπούς της μελέτης. (Πηγή: Ιδία επεξεργασία/διαμόρφωση από τους Kizos et al., 2018).

Στο πλαίσιο του μοντέλου DF-C, που είναι και το συχνότερα εφαρμοζόμενο, διάφορες ποιοτικές και ποσοτικές προσεγγίσεις έχουν εφαρμοστεί. Σύμφωνα με τους Plieninger et al. (2016), η πλειονότητα

των μελετών που διενεργούνται στην Ευρώπη, διερευνούν τη σχέση των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων και κινητήρων δυνάμεων με βάση προσωπικές ερμηνείες και βιβλιογραφικές αναφορές. Στον πίνακα 2.2, παρουσιάζονται βασικές μελέτες που στοχεύουν στην ερμηνεία των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης, κυρίως στην Ευρώπη, στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, καθώς και σε άλλες επιλεγμένες περιπτώσεις. Εστιάζοντας σε μελέτες που έχουν διενεργηθεί σε παράκτιες και νησιωτικές περιοχές της Μεσογείου, φαίνεται ότι οι μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης, και ιδιαίτερα η εγκατάλειψη ή εντατικοποίηση των αγροτικών περιοχών και η υποβάθμιση ή φυσική αναγέννηση των ορεινών περιοχών, ερμηνεύονται κυρίως από τη μείωση ή την αύξηση του πληθυσμού, καθώς και από άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως είναι η κτηνοτροφία. Χαρακτηριστικά παραδείγματα, είναι οι περιπτώσεις των Ispikoudis et al. (1993) στην Κρήτη, των Tzanopoulos & Vogiatzakis (2011) στην Σίφνο, των Detsi et al. (2011) στη Σύρο, και των Burgi et al. (2017) και Van der Sluis et al. (2019) στη Λέσβο. Παράλληλα, η αστικοποίηση των παράκτιων και νησιωτικών περιοχών της Μεσογείου διερευνάται κυρίως μέσω της μελέτης της δυναμικής του πληθυσμού σε συνδυασμό με την αύξηση των τουριστικών ροών (Geri et al., 2010; Parcerisas et al., 2012; Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011). Η αύξηση των βιομηχανιών ή άλλων δραστηριοτήτων του δευτερογενούς τομέα παραγωγής, δεν είναι μία συχνά εμφανιζόμενη κινητήρια δύναμη μεταβολής, καθώς συναντάται μόνο στην περίπτωση των Teixeira et al. (2014) στην Πορτογαλία. Όμως, σημαντικό ρόλο στη μεταβολή της κάλυψης έχει και η εκδήλωση φαινομένων φυσικών καταστροφών, με τον συχνότερα εμφανιζόμενο παράγοντα να είναι η πυρκαγιά (Bajocco et al., 2012; Geri et al., 2010; Kefalas, et al., 2018; Vilar et al., 2016).

Οι μελέτες που αναφέρθηκαν παραπάνω ερμηνεύουν τις μεταβολές των χρήσεων καλύψεων γης μέσω προσωπικών παρατηρήσεων και βιβλιογραφικών αναφορών. Στις υπολογιστικές προσεγγίσεις, αν και δεν διαφέρουν οι παράγοντες που επιλέγονται ως κινητήριες δυνάμεις, η σύνδεση τους με τις μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης γίνεται μέσω στατιστικών τεχνικών, όπως είναι οι παλινδρομήσεις (π.χ. Λογιστική, Πολλαπλή, ή Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση) καθώς και άλλες πολύ-μεταβλητές αναλύσεις (π.χ. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών) (Alphan, 2017; Celio et al., 2014; Hietel et al., 2007; Maimaitijiang et al., 2015). Μέσω των στατιστικών αναλύσεων, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα, καθώς τα εξαγόμενα αποτελέσματα παρουσιάζουν το είδος (θετική ή αρνητική σχέση) και το μέγεθος της σχέσης μεταξύ μεταβολής κάλυψης και κινητήριων δυνάμεων. Επιπλέον, μέσω της χρήσης στατιστικών μεθόδων που λαμβάνουν υπόψη και την έννοια του χώρου (π.χ. Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση), είναι δυνατό να διερευνηθεί και το πώς μεταβάλλονται οι σχέσεις εντός της περιοχής μελέτης. Καθώς, στο τέταρτο κεφάλαιο της

Διδακτορική Διατριβής, εφαρμόζονται ποσοτικές μέθοδοι για τη διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ των μεταβολών της κάλυψης γης και των κοινωνικό-περιβαλλοντικών κινητήριων δυνάμεων, παρακάτω αναλύονται περεταίρω οι ποσοτικές και στατιστικές μέθοδοι.

*Πίνακας 2.2. Επιλεγμένες μελέτες ερμηνείας των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης.
(Π.Α.: Ποιοτική Ανάλυση, Σ.Α.: Στατιστική Ανάλυση)*

A/a	Αναφορά	Χώρα Μελέτης	Σύνδεση
1	Ispikoudis et al. (1993)	Ελλάδα	Π.Α.
2	Poudevigne et al. (1997)	Γαλλία	Σ.Α.
3	Chust et al. (1999)	Ισπανία	Π.Α.
4	Lipský et al. (1999)	Τσεχία	Π.Α.
5	Uitamo (1999)	Ιταλία	Π.Α.
6	Attorre et al. (2000)	Ιταλία	Π.Α.
7	Bonet et al. (2001)	Ισπανία	Π.Α.
8	Alados et al. (2004)	Ισπανία	Σ.Α.
9	Kristensen et al. (2004)	Δανία	Σ.Α.
10	Klapka et al. (2005)	Τσεχία	Σ.Α.
17	Hietel et al. (2007)	Γερμανία	Σ.Α.
18	Millington et al. (2007)	Ισπανία	Σ.Α.
19	Peña et al. (2007)	Ισπανία	Π.Α.
20	Schneeberger et al. (2007)	Ελβετία	Σ.Α.
21	De Aranzabal et al. (2008)	Ισπανία	Σ.Α.
22	Keleş et al. (2008)	Τουρκία	Π.Α.
23	Serra et al. (2008)	Ιταλία	Σ.Α.
24	Calvo-Iglesias et al. (2009)	Ισπανία	Π.Α.
25	Van Eetvelde & Antrop (2009)	Βέλγιο	Π.Α.
26	Bürgi et al. (2010)	Ελβετία	Π.Α.
27	Detsis et al. (2010)	Ελλάδα	Π.Α.
28	Geri et al. (2010)	Ιταλία & Ισπανία	Π.Α.
29	Marull et al. (2010)	Ισπανία	Π.Α.
30	Szabó (2010)	Τσεχία	Π.Α.
31	Alvarez Martinez, et al.(2011)	Ισπανία	Σ.Α.
32	Cohen et al. (2011)	Ισπανία	Π.Α.
33	Monteiro et al. (2011)	Ιταλία	Σ.Α.
34	Morán-Ordóñez et al. (2011)	Ισπανία	Σ.Α.
35	Tzanopoulos & Vogiatzakis (2011)	Ελλάδα	Π.Α.

A/α	Αναφορά	Χώρα Μελέτης	Σύνδεση
36	Abu Hammad & Tumeizi (2012)	Παλαιστίνη	Π.Α.
37	Bajocco et al. (2012)	Ιταλία	Π.Α.
38	Bodesmo et al. (2012)	Ιταλία	Σ.Α.
39	Parcerisas et al. (2012)	Ισπανία	Π.Α.
40	Alphan (2013)	Τουρκία	Σ.Α.
41	Aretano et al. (2013)	Ιταλία	Π.Α.
42	Bieling et al. (2013)	Γερμανία	Π.Α.
43	Biró et al. (2013)	Ουγγαρία	Σ.Α.
44	Garbarino et al. (2013)	Ιταλία	Σ.Α.
45	Wellausen & Freitas (2013)	Βραζιλία	Σ.Α.
46	Bezák & Mitchley (2014)	Σλοβακία	Π.Α.
47	Busck & Kristensen (2014)	Δανία	Π.Α.
48	Celio et al. (2014)	Ελβετία	Σ.Α.
49	Mallinis et al. (2014)	Ελλάδα	Π.Α.
50	Teixeira et al. (2014)	Πορτογαλία	Π.Α.
51	Keken et al. (2015)	Ελλάδα & Τσεχία	Π.Α.
52	Li et al. (2015)	Κίνα	Σ.Α.
53	Maimaitijiang et al. (2015)	Η.Π.Α.	Σ.Α.
54	Regos et al. (2015)	Ισπανία	Π.Α.
55	Vilar et al. (2016)	Ισπανία – Ιταλία	Σ.Α.
56	Szostak et al. (2016)	Πολωνία	Π.Α.
57	Bürgi et al. (2017)	6 Περιοχές της Ευρώπης	Π.Α.
58	Bucala-Hrabia (2017)	Πολωνία	Π.Α.
59	Dawson et al. (2018)	Η.Π.Α.	Σ.Α.
60	Kefalas et al. (2018)	Ελλάδα	Π.Α.
61	Van der Sluis et al. (2019)	6 Περιοχές της Ευρώπης	Π.Α.

2.5.2 Ποσοτικές μέθοδοι και τεχνικές εύρεσης των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης

Για τη διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ μεταβολής χρήσεων/καλύψεων γης και κινητήριων δυνάμεων, διάφορες μέθοδοι και τεχνικές έχουν αναπτυχθεί, από τις οποίες, οι συχνότερα εφαρμοζόμενες μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες: α) στις παλινδρομήσεις, β) στις ταξιθετικές αναλύσεις, και γ) στο συνδυασμό των δύο. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται

από τον τύπο και την κατανομή των δεδομένων, καθώς και από τα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης (Guisan & Zimmermann, 2000).

Σε μελέτες που έχουν διεξαχθεί στην Ευρώπη, η μέθοδος της Λογιστικής Παλινδρόμησης (*Logistic Regression*) είναι η συχνότερα χρησιμοποιούμενη. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι των Alados et al. (2004), όπου με τη χρήση τέτοιου είδους παλινδρομήσεων συσχέτισαν τοπογραφικούς παράγοντες με τις μεταβολές της κάλυψης γης στην Ισπανία. Σε άλλες μελέτες, με τη χρήση της ίδια μεθόδου, οι μεταβολές της κάλυψης γης συνδέθηκαν, όχι μόνο με τοπογραφικούς παράγοντες, αλλά και με διάφορες κοινωνικό-περιβαλλοντικές μεταβλητές. Τέτοιες περιπτώσεις είναι των Serra et al. (2008) και Monteiro et al. (2011) στην Ιταλία, καθώς και των Alvarez – Martinez et al. (2011) και Morán-Ordóñez et al. (2011) στην Ισπανία. Αρκετές είναι και οι μελέτες που εφαρμόζουν κάποια ταξιθετική ανάλυση, όπως είναι η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (*Principal Component Analysis - PCA*) που εφαρμόστηκε από τους Poudevigne et al. (1997) σε περιοχή της νότιας Γαλλίας. Άλλες ταξιθετικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η Ανάλυση Κανονιστικών Αντιστοιχιών (*Canonical Correspondence Analysis – CCA*) και η Ανάλυση Πλεονασμού (*Redundancy Analysis - RDA*). Η CCA εφαρμόστηκε με επιτυχία για την εύρεση των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής της φυσική βλάστησης στη Σίφνο (Tzanopoulos et al., 2005), ενώ μέσω της RDA, οι Heitel et al. (2007) διερεύνησαν τις πιθανές σχέσεις ανάμεσα στη μεταβολή της κάλυψης γης και στα κοινωνικοοικονομικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά ορεινής περιοχή στη Γερμανία. Σε αρκετές περιπτώσεις οι ερευνητές εφαρμόζουν παραπάνω από μία στατιστικές μεθόδους, με σκοπό αρχικά την απομάκρυνση των υψηλά συσχετιζόμενων ερμηνευτικών παραγόντων και στη συνέχεια την εύρεση των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής. Τέτοιες περιπτώσεις είναι των Mottet et al. (2006), όπου για την εύρεση των κύριων τοπογραφικών παραγόντων που συνδέονται με τη μεταβολή της κάλυψης γης σε περιοχή της Ισπανίας, αρχικά εφάρμοσαν CCA και στην συνέχεια Ανάλυση Διακύμανσης (*Analysis of Variance - ANOVA*). Αντίστοιχα, οι De Aranzabal et al. (2008), με τη χρήση της PCA, βρήκαν τις κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές που ερμηνεύουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις αλλαγές των χρήσεων/καλύψεων γης, και στη συνέχεια μέσω Πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης (*Multiple Linear Regression - MLR*) υπολόγισαν την συνεισφορά κάθε μεταβλητής στις παρατηρούμενες μεταβολές της επιφάνειας της γης.

Κύριο χαρακτηριστικό των παραπάνω προσεγγίσεων είναι ότι το επίπεδο ανάλυσης αφορά το σύνολο της περιοχής μελέτης, μη επιτρέποντας τη διερεύνηση τυχών διαφοροποιήσεων των σχέσεων εντός αυτής. Ωστόσο, έπειτα από την ανάπτυξη και εφαρμογή της Γεωγραφικά Σταθμισμένης

Παλινδρόμησης (*Geographical Weighted Regression - GWR*) (Charlton & Fotheringham, 2002) σε διάφορους κλάδους της γεωγραφικής έρευνας, η παλινδρόμηση αυτού του τύπου, σταδιακά εφαρμόζεται και σε μελέτες που αποσκοπούν την εύρεση των κινητήριων δυνάμεων. Στον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται επιλεγμένες μελέτες, οι οποίες εφαρμόζουν τη GWR για την εύρεση των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης. Αναλυτικότερα, εστιάζοντας στα φυσικά οικοσυστήματα, οι Clement (2009) διερεύνησαν την σχέση ανάμεσα στις μεταβολές της δασικής βλάστησης και επιλεγμένων κοινωνικοοικονομικών παραγόντων στο Βιετνάμ. Οι Zhao et al. (2015), εξέτασαν τον τρόπο με τον οποίο οι κλιματικές συνθήκες επιδρούν στη βλάστηση στη Μογγολία, ενώ οι Ajaz Ahmed et al. (2017) εφάρμοσαν τη Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση για την εύρεση των κινητήριων κοινωνικοοικονομικών δυνάμεων μεταβολής της βιομάζας, στις ανατολικές ακτές των Η.Π.Α. Στην ίδια ήπειρο, και συγκεκριμένα σε 72 πόλεις, οι Dawson et al. (2018) εξέτασαν τον τρόπο με τον οποίο το επίπεδο φτώχειας επηρεάζει τη φυσική βλάστηση. Στα αγροτικά οικοσυστήματα, οι Liu et al. (2018) διερεύνησαν την σχέση ανάμεσα στη μεταβολή του αγροτικού τοπίου και στα διάφορα κοινωνικό-περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, μίας επαρχίας στην Κίνα. Στον αστικό χώρο, οι Maimaitijiang et al. (2015) και Liu et al. (2018), εξέτασαν το πως επηρεάζεται η διαδικασία της αστικοποίησης από την αύξηση του πληθυσμού και από την εκβιομηχάνιση, αντίστοιχα. Σε πολλαπλές κατηγορίες χρήσεων/καλύψεων γης, οι Du et al. (2014), εφάρμοσαν τη GWR σε περιοχή της Κίνας, όπου φάνηκε χωρικά και ποσοτικά το πως οι διάφορες μεταβολές χρήσεων/καλύψεων γης σχετίζονται με διάφορους παράγοντες.

Πίνακας 2.3. Επιλεγμένες μελέτες, που εφαρμόζουν τη GWR για την εύρεση των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης.

A/a	Αναφορά	Χώρα Μελέτης
1	Clement (2009)	Βιετνάμ
2	Wellausen & Freitas (2013)	Βραζιλία
3	Du et al. (2014)	Κίνα
4	Zhao et al. (2015)	Μογγολία
5	Maimaitijiang et al. (2015)	Η.Π.Α.
6	Ajaz Ahmed et al. (2017)	Η.Π.Α.
7	Liu et al. (2018)	Κίνα
8	Liu et al. (2018)	Κίνα
9	Dawson et al. (2018)	Η.Π.Α

Η Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση έχει χρησιμοποιηθεί και σε συνδυασμό με άλλες στατιστικές μεθόδους, όπως είναι η περίπτωση των Wellausen & Freitas (2013), όπου αρχικά μέσω

CCA αναγνώρισαν τις σημαντικότερες κοινωνικό-περιβαλλοντικές μεταβλητές που συσχετίζονται με κάθε μεταβολή των χρήσεων/καλύψεων γης, στη συνέχεια εφάρμοσαν τη GWR για να υπολογίσουν/χαρτογραφήσουν το βαθμό της συσχέτισης, και τέλος εφάρμοσαν την ανάλυση κατά συστάδες με στόχο την εύρεση περιοχών όπου οι κοινωνικό-περιβαλλοντικές μεταβλητές παρουσιάζουν όμοια χαρακτηριστικά (κατεύθυνση και μέγεθος συσχέτισης).

Αξίζει να αναφερθεί, ότι στις περισσότερες μελέτες τα αποτελέσματα που εξάγονται από τη Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της Πολλαπλής Γραμμική Παλινδρόμησης. Σε όλες τις περιπτώσεις η εφαρμογή της GWR βελτίωσε σημαντικά την ερμηνεία των δεδομένων. Επιπλέον, μία σημαντική παράμετρος, η οποία ορίζει την ορθή εφαρμογή των ολικών μοντέλων παλινδρόμησης (δηλ. Λογιστική ή Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση), είναι ανεξαρτησία των υπολειμμάτων (Καλογήρου, 2015). Για τον έλεγχο αυτού του κριτηρίου, υπολογίζεται ο ολικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης *Moran* (*Global Moran's Index*), όπου, με βάση τα αποτελέσματά του προκύπτει αν υπάρχει η ανάγκη για εφαρμογή της τοπικής παλινδρόμησης (Καλογήρου, 2015). Σε αυτή την περίπτωση, από τις παραπάνω μελέτες φάνηκε ότι το κριτήριο της ανεξαρτησίας των υπολειμμάτων τις περισσότερες φορές παραβιάζεται μέσω της χρήσης των ολικών μοντέλων, ενώ σε περιπτώσεις εφαρμογής της GWR δεν προκύπτει το συγκεκριμένο ζήτημα (Wellausen & Freitas, 2013; Kefalas et al., 2019). Στο τέταρτο κεφάλαιο, και συγκεκριμένα στην ενότητα 4.2.3 *Ερμηνεία των μεταβολών κάλυψης γης*, αναλύονται περαιτέρω η Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση, και η Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση, καθώς επίσης και τα κριτήρια εφαρμογής τους.

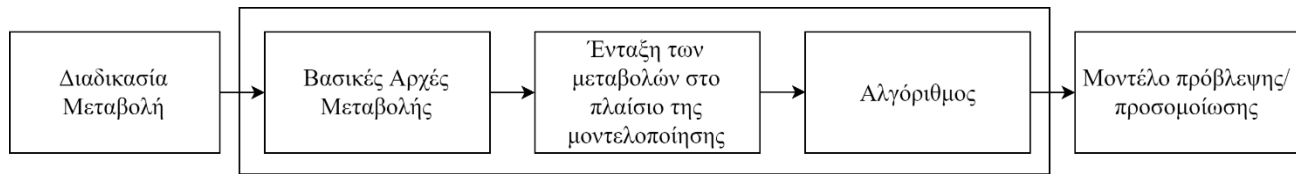
2.6 Πρόβλεψη/προσομοίωση των χρήσεων/καλύψεων γης

Η αυξανόμενη πίεση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (αύξηση της θερμοκρασία, ακραία καιρικά φαινόμενα, αύξηση της συχνότητας και σφοδρότητας των πυρκαγιών, κλπ), έχουν επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την κατάσταση των φυσικών και ανθρωπογενών οικοσυστημάτων (Bakker et al., 2005; Geist & Lambin, 2004; Li et al., 2017). Με γνώμονα το παραπάνω, οι ερευνητές προσπαθούν να περιγράψουν ή/και να προβλέψουν τις μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης, σε χρονική και χωρική διάσταση, μέσα από τη χρήση κατάλληλων μοντέλων πρόβλεψης/προσομοίωσης. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία ραγδαία ανάπτυξη και εφαρμογή τέτοιων μοντέλων, τα οποία, αν και στηρίζονται σε παρόμοιες θεωρητικές προσεγγίσεις, διαφέρουν σε διάφορα τεχνικά ζητήματα (π.χ. μαθηματικές προσεγγίσεις, σύνδεση με τις κινητήριες δυνάμεις, κλπ.) (Ghosh et al., 2017; van Schrojenstein et al., 2011).

Κατά τη διάρκεια των ετών, στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι κατηγοριοποίησης των μοντέλων πρόβλεψης/προσομοίωσης, ανάλογα με το μεθοδολογικό πλαίσιο το οποίο εφαρμόζεται, το αντικείμενο μελέτης, τη χωρική ή μη διάσταση κλπ. Ο Baker (1989), για την κατηγοριοποίηση των διάφορων μοντέλων βασίστηκε στην κλίμακα ανάλυσης, απ' όπου διέκρινε τα μοντέλα σε: α) μοντέλα ολόκληρου του τοπίου (*whole landscape models*), β) διανεμητικά μοντέλα τοπίου (*distributional landscape models*), και γ) χωρικά τοπιακά μοντέλα (*spatial landscape models*). Η Briassoulis (2000), διέκρινε τα μοντέλα ανάλογα με τη μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόζουν σε πέντε κύριες κατηγορίες: α) στατιστικά/οικονομετρικά (*statistical/econometric*), β) χωρικής αλληλεπίδρασης (*spatial interaction*), γ) βελτιστοποίησης (*optimization*), δ) ολοκληρωμένα μοντέλα (*integrated*) και ε) άλλα μοντέλα. Ακολουθώντας παρόμοια προσέγγιση, οι Lambin et al. (2000) ταξινόμησαν τα μοντέλα σε πέντε κατηγορίες: α) εμπειρικά/στατιστικά (*empirical/statistical*), β) στοχαστικά (*stochastic*), γ) βελτιστοποίησης (*optimization*), δ) δυναμικά (*dynamic*), και ε) ολοκληρωμένα (*integrated*). Η κατηγοριοποίηση των μοντέλων, στηριζόμενη στο μεθοδολογικό πλαίσιο χρησιμοποιείται και στις δημοσιευμένες μελέτες των τελευταίων ετών. Έτσι, οι Liping et al. (2018) διακρίνουν τα μοντέλα σε: α) εξισώσεων (*equation-based models*), β) στατιστικά (*statistical*), γ) εξελικτικά μοντέλα (*evolutionary*), δ) κυψελοειδών αυτομάτων (*Cellular Automata*), ε) Μαρκοβιανά (*Markov models*), στ) υβριδικά μοντέλα (*hybrid*), ζ) μοντέλα εξειδικευμένων συστημάτων (*expert systems*), και η) πολύ-πρακτορικά μοντέλα (*multi-agent*). Μία απλή, και αρκετά γενικευμένη κατηγοριοποίηση γίνεται και από τους Gounaridis et al. (2019), όπου διαχώρισαν τα διάφορα μοντέλα σε: α) εμπειρικά/στατιστικά (*empirical/stochastic*), τα οποία χρησιμοποιούν πολυμεταβλητή ανάλυση και γεωστατιστική, β) στοχαστικά/βελτιωμένα (*stochastic-optimization*), κατά τα οποία εισάγεται μία διαδικασία εισαγωγής βαρών ώστε να βελτιστοποιηθεί η ανάλυση, γ) δυναμικών διαδικασιών (*dynamic process-based*), που περιλαμβάνουν πολλαπλά μη χωρικά και χωρικά μοντέλα (π.χ. μοντέλο για τον υπολογισμό της μελλοντικής ζήτησης χρήσεων/καλύψεων γης και μοντέλο για τη χωροθέτηση των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης), και δ) πρακτόρων (*agent-based models*), τα οποία προσομοιάζουν τις δράσεις και αλληλεπιδράσεις των πρακτόρων με τις μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης.

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω κατηγοριοποιήσεις μεταξύ των μοντέλων που έχουν χρησιμοποιηθεί, υπάρχουν κοινές συνιστάμενες, αλλά και μεγάλες διαφορές σχετικά με το πλαίσιο που ορίζει τη μοντελοποίηση (δηλ. αν εφαρμόζεται κάποιο είδος στατιστικής ανάλυσης, αν ενσωματώνονται παραπάνω διαδικασίες, κ.ο.κ.). Όμως, όλα τα μοντέλα μεταβολής των

χρήσεων/καλύψεων γης στηρίζονται σε τέσσερα βασικά στάδια ανάλυσης, όπως φαίνεται από την εικόνα 2.9 (van Schroyen et al., 2011).



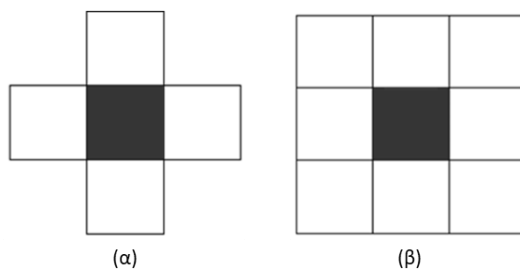
Εικόνα 2.9. Η σχέση μεταξύ των διαδικασιών μεταβολής της κάλυψης γης και των μοντέλων προσομοίωσης/πρόβλεψης. (Πηγή: Ιδία επεξεργασία/διαμόρφωση από τους van Schroyen et al., 2011).

Σύμφωνα με το πλαίσιο των van Schroyen et al. (2011), κατά το αρχικό στάδιο οι μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης (διαδικασία μεταβολής – *land use change process*), οι οποίες όπως αναλύεται διεξοδικά στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι αποτέλεσμα κοινωνικοοικονομικών και βιοφυσικών παραγόντων, εξετάζονται υπό το πρίσμα τεσσάρων βασικών αρχών (βασικές αρχές μεταβολής - *core principles of land use change*): α) η μεταβολή είναι λόγω της διάδοξης κατάστασης και της ιστορικής εξέλιξης, β) η μεταβολή έγινε καθώς η περιοχή είναι κατάλληλη για συγκεκριμένη χρήση, γ) η μεταβολή είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης με γειτονικές περιοχές, και δ) η μεταβολή είναι αποτέλεσμα επίδρασης από διάφορους φορείς και κινητήριες δυνάμεις. Στο επόμενο στάδιο ανάλυσης, ανάλογα με τη βασική αρχή που προτίθεται ο ερευνητής να εξετάσει το ζήτημα, επιλέγεται το μέσο κατά το οποίο οι παρατηρούμενες μεταβολές θα ενταχθούν στη διαδικασία της μοντελοποίησης (ένταξη των μεταβολών στο πλαίσιο της μοντελοποίησης - *land use change concept*). Στις περισσότερες μελέτες χρησιμοποιούνται: α) οι λογαριθμικές συναρτήσεις ή άλλου είδους στατιστικές ή οικονομετρικές προσεγγίσεις (*logit functions, statistical or econometric approaches*) β) η Μαρκοβιανή ανάλυση (*Markov analysis*), γ) τα κυψελοειδή αυτόματα (*cellular automata*), δ) τα μοντέλα πρακτόρων (*agent-based models*), και ε) προσεγγίσεις που ενσωματώνουν παραπάνω από μία αναλύσεις. Τα τελικά στάδια της μοντελοποίησης είναι η επιλογή και εφαρμογή του κατάλληλου αλγορίθμου (αλγόριθμος - *land use change algorithm*) που θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση/πρόβλεψη των χρήσεων/καλύψεων γης. Κατά τη διάρκεια των ετών, πληθώρα τέτοιων αλγορίθμων έχουν αναπτυχθεί στη διεθνή βιβλιογραφία, οι οποίοι χρησιμοποιούν συγκεκριμένο πρίσμα εξέτασης και μέσο ένταξης των μεταβολών χρήσεων γης στη διαδικασία της μοντελοποίησης.

Τα συχνότερα εφαρμοζόμενα μοντέλα προσομοίωσης/πρόβλεψης των χρήσεων/καλύψεων γης στηρίζονται στα κυψελοειδή αυτόματα (Κ.Α., *cellular automata-CA*), κυρίως λόγω της καλής υπολογιστικής ικανότητάς τους, της σχετικά απλής εφαρμογής τους, της ενσωμάτωσης των αιτιών μεταβολής, και των ακριβών αποτελεσμάτων που εξάγουν (Agarwal et al., 2002; Dietzel & Clarke,

2006; He et al., 2008). Η βασική αρχή αυτών των μοντέλων στηρίζεται στην παραδοχή ότι η μεταβολή των χρήσεων/καλύψεων γης είναι δυνατό να ερμηνευτεί από την υπάρχουσα κατάσταση ενός κελιού, σε ένα σύστημα καννάβου, και από τις μεταβολές που συμβαίνουν στην γειτονιά του (γειτονικά κελιά) (White & Engelen, 1994). Έτσι, σε σύνδεση με τα παραπάνω, τα Κ.Α. χρησιμοποιούνται κυρίως όταν η μεταβολή των χρήσεων/καλύψεων γης εξετάζεται υπό τα πρίσματα «της διάδοχης κατάστασης και ιστορικής εξέλιξης», και «της αλληλεπίδρασης με τις γειτονικές περιοχές» (van Schrojenstein et al., 2011).

Δύο τύποι Κ.Α. μπορούν να αναγνωριστούν α) τα περιορισμένα (*constrained*) και β) τα μη-περιορισμένα (*unconstrained*). Στα περιορισμένα Κ.Α., το μέγεθος μεταβολής της χρήσης/κάλυψης γης είτε υπολογίζεται με βάση τις ιστορικές μεταβολές, είτε δίνεται από ειδικούς που γνωρίζουν τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Αντίθετα, στα μη περιορισμένα μοντέλα, το μέγεθος της μεταβολής υπολογίζεται μέσω κανόνων απόφασης (*decision rules*). Τα κύρια στοιχεία ενός μοντέλου κυψελοειδών αυτομάτων είναι ο χώρος γύρω από ένα κελί (*space under single cell*), η κατάσταση της παρατηρούμενης χωρικής μεταβλητής (*the state of the spatial variable under observation*), το χρονικό βήμα (*the time step over which automation involves*), η χωρική κατανομή των γειτονικών κελιών (*spatial distribution of neighboring cells*), και οι κανόνες μετάβασης, οι οποίοι καθορίζουν τη μεταβολή κάθε κελιού (*transition rules*) (Ghosh et al., 2017; White & Engelen, 2000). Για τον ορισμό της γειτονιάς, υπάρχουν δύο κύριες προσεγγίσεις: α) η γειτονιά Von Neumann και β) η γειτονιά Moore (Εικόνα 1.20).



Εικόνα 2.10. α) η γειτονιά Von Neumann, και β) η γειτονιά Moore. (Πηγή: Ghosh et al., 2017).

Η σημαντικότερη διαδικασία στα κυψελοειδή αυτόματα είναι ο ορισμός των κανόνων μετάβασης, ο οποίος σε αρκετές περιπτώσεις ορίζεται ή ενσωματώνεται στη διαδικασία βαθμονόμησης του μοντέλου (Berberoğlu et al., 2016; Gounaridis et al., 2019; Liu et al., 2017). Ο εύκολος συνδυασμός των Κ.Α. με άλλα μοντέλα και στατιστικές προσεγγίσεις, επέτρεψε η διαδικασία της βαθμονόμησης του μοντέλου να γίνεται με πιο σύνθετες και ακριβείς διεργασίες, ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε περίπτωσης μελέτης (Aburas et al., 2016). Η προσθήκη των παραπάνω προσεγγίσεων, συμβάλλει

επίσης στην εξάλειψη ενός βασικού περιορισμού των Κ.Α. μοντέλων, που είναι η ενσωμάτωση και ποσοτικοποίηση των κινητήριων κοινωνικό-περιβαλλοντικών δυνάμεων μεταβολής (Clarke et al., 1997; White & Engelen, 2000; Wolfram, 1986). Έτσι, κατά τη διάρκεια των ετών, διάφορες προσαρμογές των μοντέλων Κ.Α. έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί, ενσωματώνοντας μία ή και περισσότερες διαδικασίες όπως είναι: τα Πολυκριτηριακά μοντέλα (*Multicriterion Evaluation*) (Wu & Webster, 1998), τα μοντέλα Λογιστικών Παλινδρομήσεων (*logistic regression*) (Wu & Martin, 2002), το μοντέλο SLUETH (Clarke et al., 1997), το μοντέλο CLUE-s (Verburg et al., 2002), το μοντέλο CLUMondo (Van Asselen & Verburg, 2013), τα Μαρκοβιανά μοντέλα (Tang, Wang, & Yao, 2007), τα Μπαεσιανά μοντέλα (*Bayesian Networks*) (Darwiche, 2009), τα μοντέλα Ασαφούς Λογικής (*Fuzzy logic*) (Berberoglu et al., 2000), τα μοντέλα Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (*Geographical Weighted Regression*) (Ku, 2016), τα μοντέλα Τυχαίων Δασών (*Random Forest*) (Gounaridis et al., 2019), ο αλγόριθμος *Support Vector Machine* (SVM) (Q. Yang et al., 2008), και αλγόριθμοι Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (*Artificial Neural Network*) (Almeida et al., 2008). Όμως, κάποιες από τις παραπάνω προσεγγίσεις, έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις και προαπαιτούμενα που καθορίζουν την επιτυχή εφαρμογή της μοντελοποίησης, όπως είναι η γραμμική σχέση που απαιτείται μεταξύ των κινητήριων δυνάμεων και των χρήσεων/καλύψεων γης, στις περιπτώσεις των Λογιστικών και Γεωγραφικά Σταθμισμένων Παλινδρομήσεων (Cheng & Masser, 2003; Ku, 2016). Ωστόσο σε άλλες προσεγγίσεις, όπως είναι οι αλγόριθμοι SVM και Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων, η γραμμική σχέση δεν είναι απαραίτητη (Liu et al., 2018; Martens et al., 2007).

Ακόμα μία πρόκληση στα μοντέλα πρόβλεψης, είναι η ενσωμάτωση της μελλοντικής ζήτησης χρήσεων/καλύψεων στη διαδικασία προσομοίωσης (Ward et al., 2000). Για το λόγο αυτό, έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι ενσωμάτωσης αυτής της πληροφορίας στα κυψελοειδή αυτόματα (Berling-Wolff & Wu, 2004; He et al., 2005; Verburg & Overmars, 2009). Ωστόσο, σε πολλές από αυτές τις περιπτώσεις, η ενσωμάτωση/σύνδεση γίνεται κατά το τελικό στάδιο χωροθέτησης των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης (Dietzel & Clarke, 2006; Pijanowski et al., 2006; Sohl et al., 2007; Verburg et al., 2002). Για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου ζητήματος οι Liu et al. (2017) ανέπτυξαν το *Future Simulation Model* (FLUS) κατά το οποίο η περίοδος μελέτης χωρίζεται σε πολλές υπό-περιόδους όπου σε κάθε μία από αυτές η ζήτηση των χρήσεων/καλύψεων γης οδηγεί τη διαδικασία προσομοίωσης και χωροθέτησης έως το τελικό αποτέλεσμα. Με τον τρόπο αυτό η ζήτηση και η χωροθέτηση των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γη είναι άμεσα συνδεδεμένη, αυξάνοντας την ικανότητα του μοντέλου να λαμβάνει υπόψη και την τυχαιότητα/αβεβαιότητα των χρήσεων/καλύψεων γης (Liang et al., 2018). Καθώς για τους σκοπούς του πέμπτου κεφαλαίου

εφαρμόζεται το μοντέλο FLUS, στην ενότητα 5.2.2 *Μοντέλο προσομοίωσης μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης*, αναλύονται περαιτέρω η δομή και τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μοντέλου.

Σύμφωνα με τους Aburas et al. (2016), όταν τα μοντέλα κυψελωδών αυτομάτων χρησιμοποιούνται για πρόβλεψη/προσομοίωση στο αστικό περιβάλλον, η εφαρμογή τους αποτελείται από έξι διακριτές διαδικασίες. Στην εικόνα 2.21 παρουσιάζεται μία προσαρμογή της ροή εργασιών, σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η εφαρμογή Κ.Α. μοντέλων και σε πολλαπλές χρήσεις/καλύψεις γης.



Εικόνα 2.11. Ροή εργασιών πρόβλεψης/προσομοίωσης των χρήσεων καλύψεων γης μέσω των Κυψελωδών Αυτομάτων. (Πηγή:Ιδία διαμόρφωση/επεξεργασία από τους Ghosh et al., 2017).

Το αρχικό στάδιο για τη μοντελοποίηση είναι η εύρεση και προ-επεξεργασία των δεδομένων χρήσεων/καλύψεων γης, ενώ στη συνέχεια γίνεται και η επιλογή των κατάλληλων παραγόντων που επηρεάζουν τις μεταβολές (κινητήριες δυνάμεις ή μεταβλητές πρόβλεψης). Η επιλογή αυτών των παραγόντων είναι μία σύνθετη διαδικασία, καθώς απαιτείται καλή γνώση της περιοχής μελέτης και των κοινωνικό-περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν τη μεταβολή της χρήσης/κάλυψης γης. Επιπλέον, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η διαθεσιμότητα των δεδομένων, η κλίμακα ανάλυσης, καθώς επίσης και ο τρόπος με τον οποίο τα δεδομένα θα ενταχθούν στην διαδικασία της μοντελοποίησης. Στη συνέχεια, γίνεται η παραμετροποίηση του μοντέλου (π.χ. ορισμός της γειτονιάς) και θέτονται οι κανόνες μετάβασης. Το τελικό στάδιο αποτελείται από τη βαθμονόμηση και τον έλεγχο του μοντέλου. Κατά το στάδιο αυτό προσομοιάζεται η χρήση/κάλυψη γης για μία γνωστή χρονική στιγμή, και ελέγχεται το εξαγόμενο αποτέλεσμα. Αν η προσομοίωση θεωρηθεί από τον ερευνητή ακριβής, τότε εφαρμόζεται ξανά το μοντέλο για την πρόβλεψη των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης. Σε αντίθετη περίπτωση, θα πρέπει να γίνει αναθεώρηση των επιλεγόμενων παραγόντων καθώς και των παραμέτρων που τέθηκαν.

Η πρόσφατη ανάπτυξη των μεθοδολογικών προσεγγίσεων και η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, βοήθησε να απαντηθούν και πιο σύνθετα ερωτήματα, όπως: «Ποια θα είναι τα αποτελέσματα αν εφαρμοστούν διαφορετικές πρακτικές διαχείρισης;», «Ποιο θα είναι το λιγότερο

επιβαρυντικό σενάριο διαχείρισης, για το περιβάλλον;», ή «Ποιες θα είναι οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στην περιοχή;» κ.α. Έτσι, τα τελευταία χρόνια, όλο και περισσότερες μελέτες εξετάζουν τις μελλοντικές χρήσεις/καλύψεις γης κάτω από διαφορετικά/εναλλακτικά σενάρια, λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικά καθεστώτα διαχείρισης, την κλιματική αλλαγή, τις ιστορικές μεταβολές των χρήσεων καλύψεων γης, κ.α. (Boavida et al., 2016; Gounaridis et al., 2019; Hamad et al., 2018; Liu et al., 2017; Nainggolan et al., 2012). Καθώς όμως το ακριβές σενάριο που θα εφαρμοστεί δεν μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί, ιδιαιτέρως όταν η ανάλυση γίνεται σε περιοχές με έντονα στοχαστικά φαινόμενα (π.χ. φωτιές), όπως τα Μεσογειακά νησιά, οι ερευνητές λαμβάνουν υπόψη παραπάνω από ένα σενάρια, τα οποία δεν σκοπεύουν αποκλειστικά στην ακριβή πρόβλεψη, αλλά στην παρουσίαση μίας πιο ολοκληρωμένης εικόνας της πιθανής σύστασης του τοπίου.

Τα κυψελοειδή αυτόματα εισήχθησαν αρχικά από τους Ulam & Von Neuman, τη δεκαετία του 1940, για την διερεύνηση ενός αυτο-αναπαραγόμενου συστήματος (White & Engelen, 1994). Βασιζόμενος σε αυτή τη μελέτη, ο Conway τη δεκαετία του 1970 παρουσίασε την έρευνά του με τίτλο *The Game of Life*, η οποία ακόμα και σήμερα αποτελεί το πιο γνωστό μοντέλο Κ.Α. το οποίο στηρίχθηκε σε τρεις απλούς κανόνες μετάβασης για να περιγράψει τη δυναμική ενός πληθυσμού. Από το μοντέλο του Conway, έγινε σαφές στην επιστημονική κοινότητα ότι τα Κ.Α. είναι ικανά μαθηματικά συστήματα για να περιγράψουν και να αναπαραστήσουν πολύπλοκες μορφές και φαινόμενα μέσα από τη χρήση κανόνων αλληλεπίδρασης (Couchelis, 1997). Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, τα Κ.Α. εφαρμόζονται όλο και συχνότερα για την πρόβλεψη/προσομοίωση κυρίως της εξέλιξης των πόλεων (Batty & Xie, 1994; Clarke et al., 1997; Clarke & Gaydos, 1998; White & Engelen, 1997; Wu & Webster, 1998; Wu, 1999), κάτι που συνεχίζεται να συμβαίνει και τα τελευταία χρόνια (Berberoğlu et al., 2016; Gounaridis et al., 2019; Lagarias, 2012; Liu et al., 2018; Petrov et al., 2009; Troupin & Carmel, 2016). Σε άλλες περιπτώσεις, αυτού του τύπου μοντέλα χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της αποδάσωσης και το πώς επηρεάζεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τις φυσικές καταστροφές (Gustafson et al., 2000; Kok & Winograd, 2002).

Από τις παραπάνω μελέτες φαίνεται ότι τα Κ.Α., έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως για τη μοντελοποίηση μίας κατηγορίας χρήσης/κάλυψης γης, ενώ τις περισσότερες φορές διαφορετικές μεταβολές συμβαίνουν ταυτόχρονα και επηρεάζουν η μία την άλλη (Liang et al., 2018). Η μοντελοποίηση διάφορων τύπων χρήσεων/καλύψεων γης σε ένα μοντέλο Κ.Α. είναι μία δύσκολη διαδικασία, λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών, οι οποίες οδηγούν σε περίπλοκους κανόνες μετάβασης (Liu et al., 2017). Για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου ζητήματος, τα περισσότερα

μοντέλα και αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί, υπολογίζουν αρχικά την πιθανότητα εμφάνισης της κάθε κατηγορίας χρήσης/κάλυψης γης ξεχωριστά και στη συνέχεια προσδιορίζουν το κάθε κελί του κανάβου με την ψηλότερη τιμή (Li & Yeh, 2002; Liu et al., 2017; Verburg & Overmars, 2009; Verburg et al., 2002). Στον πίνακα 2.4 παρουσιάζονται πρόσφατες ερευνητικές εργασίες, οι οποίες χρησιμοποίησαν τα μοντέλα κυψελοειδών αυτομάτων για την πρόβλεψη/προσομοίωση των χρήσεων/καλύψεων γης κυρίως σε περιοχές της Μεσογείου.

Πίνακας 2.2.4. Επιλεγμένες μελέτες πρόβλεψης/προσομοίωσης των χρήσεων/καλύψεων γης.

A/a	Αναφορά	Χώρα Μελέτης	Μοντέλο	Χρήση/Κάλυψη γης
1	Petrov et al. (2009)	Πορτογαλία	MOLAD	Αστικά
2	Quintana-Ascencio et al. (2009)	Ισπανία	Matrix-CA	Φυσική Βλάστηση
3	Millington et al. (2009)	Ισπανία	LFSM	Φυσική Βλάστηση
4	Alvarez Martinez et al. (2011)	Ισπανία	Παλινδρόμηση	Πολλαπλές καλύψεις
5	Acevedo et al. (2011)	Ισπανία	Markov-CA	Πολλαπλές καλύψεις
6	Di Traglia et al. (2011)	Ιταλία	LR-CA	Φυσική Βλάστηση
7	Cabello et al. (2011)	Ευρώπη	Διάφορα Μοντέλα	Πολλαπλές καλύψεις
8	Nainggolan et al. (2012)	Ισπανία	Markov-CA	Πολλαπλές καλύψεις
9	Al-sharif & Pradhan (2014)	Λιβύη	Markov-CA	Αστικά/Αγροτικά
10	Lagarias (2012)	Ελλάδα	ML-CA	Αστικά
11	Rienow & Goetzke (2015)	Γερμανία	SLEUTH (LR-CA, SVM-CA)	Αστικά
12	Berberoglu et al. (2016)	Τουρκία	SLEUTH, Markov- CA, LR-CA, RT-CA, ANN-CA	Αστικά
13	Boavida et al. (2016)	Πορτογαλία	LR-Markov-CA	Πολλαπλές καλύψεις
14	Louca et al. (2015)	Κύπρο	Markov-CA	Φυσική Βλάστηση
15	Troupin & Carmel (2016)	Ισραήλ	Dynamica-EGO	Πολλαπλές καλύψεις
16	Martellozzo et al. (2018)	Ιταλία	SLEUTH	Πολλαπλές καλύψεις
17	Troupin & Carmel (2018)	Ισραήλ	Dynamica-EGO	Αστικά
18	Newland et al. (2018)	Ευρώπη	ENC	Πολλαπλές καλύψεις
19	Gounaridis et al. (2019)	Ελλάδα	RF - CA	Πολλαπλές καλύψεις

*CA: Κυψελοειδή αυτόματα (Cellular automata-CA), LFSM: *Landscape Fire-Succession Model*, LR: Λογιστική παλινδρόμηση (Logistic Regression - LR), ML: Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (Multiple regression - ML), MOLAD: *Monitoring Land Use Dynamics*, SVM: *Support Vector Machine-SVM*, RT: Τυχαία δένδρα (Random Trees- RT), ANN: Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Network - ANN), RF: Τυχαία δάση (Random Forest - RF), ENC: *Empirical Neighborhood Calibration*

Αναλυτικότερα, οι Petrov et al. (2009) χρησιμοποίησαν το μοντέλο MOLAD για να προβλέψουν την εξάπλωση της πόλης Algarve στην Πορτογαλία, λόγω των αυξημένων τουριστικών ροών. Για τον

ίδιο σκοπό, οι Troupin & Carmel (2016 και 2018) εφάρμοσαν το μοντέλο Dynamica-EGO, κάτω από διαφορετικά σενάρια διαχείρισης, σε αστικές και παράκτιες περιοχές του Ισραήλ, αντίστοιχα. Οι Barberoglou et al. (2016), εφάρμοσαν και συνέκριναν πέντε διαφορετικά μοντέλα σε πόλη της Τουρκίας, απ' όπου εξήγαγαν το συμπέρασμα ότι σε μελλοντικές μελέτες είναι θεμιτό η πρόβλεψη/προσομοίωση των χρήσεων/καλύψεων γης να μην γίνεται με τη χρήση μόνο ενός μοντέλου. Για την πρόβλεψη της αστικής εξάπλωση σε πόλη της Γερμανίας, οι Rienow & Goatzke (2015), ενίσχυσαν το μοντέλο SLEUTH ενσωματώνοντας τη Λογιστική Παλινδρόμηση και τον αλγόριθμο SVM. Στην Ελλάδα, ο Lagarias (2012) εφάρμοσε τα Κ.Α μαζί με Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση για να μελετήσει την εξάπλωση της Θεσσαλονίκης, κάτω από διαφορετικά σενάρια ανάπτυξης. Σε πρόσφατη μελέτη στον Ν. Αττικής, οι Gounaridis et al. (2019), ενσωμάτωσαν σε μοντέλο Κ.Α τον αλγόριθμο μηχανικής μάθησης *Random Forest*, και με βάση τις ιστορικές μεταβολές των τελευταίων τριάντα ετών προέβλεψαν τη μελλοντική εξέλιξη του δομημένου περιβάλλοντος.

Στο φυσικό περιβάλλον, οι Quintana-Ascencio et al. (2009), εφάρμοσαν τα Κ.Α. μοντέλα για να μελετήσουν την ποικιλότητα σε επίπεδο μικρό-ενδιαιτήματος σε ορεινή περιοχή της Ισπανίας. Στην ίδια χώρα, οι Millington et al. (2009), με στόχο τη μελέτη της εξέλιξης της φυσικής βλάστησης μετά από φαινόμενα πυρκαγιάς, χρησιμοποίησαν το *Landscape Fire-Succession Model (LFSM)* το οποίο στηρίζεται στη λογική των Κ.Α. Για την πρόβλεψη της μελλοντικής κατανομής διαφόρων ειδών δασικής βλάστηση στην Ιταλία, οι Di Traglia et al. (2011) ενσωμάτωσαν σε μοντέλο Κ.Α., Λογιστική Παλινδρόμηση. Με τη χρήση της Μαρκοβιανής ανάλυσης και των μοντέλων Κ.Α, οι Acevedo et al. (2011) προέβλεψαν πολλαπλές κατηγορίες κάλυψης γης, με σκοπό τη μελέτη της μελλοντικής κατανομής δύο ενδημικών ειδών πανίδας στην Ισπανία. Με τη χρήση των ίδιων αναλύσεων, οι Louca et al. (2015), εξέτασαν το πως θα επηρεαστεί η ενδημική βλάστηση της Κύπρου από την κλιματική αλλαγή και τις μελλοντικές μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης. Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής ήταν αντικείμενο μελέτης και των Cabello et al. (2011), οι οποίοι εφάρμοσαν διάφορα μοντέλα Κ.Α. για την πρόβλεψη των χρήσεων/καλύψεων γης, κάτω από διαφορετικά σενάρια, σε έξι διαφορετικές λεκάνες απορροής της Ευρώπης. Επίσης, η εύρεση των συνεπειών στο φυσικό περιβάλλον κάτω από διαφορετικά σενάρια αστικοποίησης μελετάται από τους Boavida et al. (2016) στην Πορτογαλία, όπου ενσωματώνουν τη Λογιστική Παλινδρόμηση μαζί με τη Μαρκοβιανή ανάλυση σε μοντέλο Κ.Α. Τέλος, οι Martellozzo et al. (2018) εφαρμόζουν τα Κ.Α. για την πρόβλεψη των χρήσεων/καλύψεων γης, κάτω από διαφορετικά σενάρια διαχείρισης, στη Ιταλία, αναδεικνύοντας τη χρησιμότητα αυτών των μοντέλων στον αποτελεσματικό σχεδιασμό του χώρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ

Το παρόν κεφάλαιο έχει δημοσιευτεί ως: Kefalas, G., Poirazidis, K., Xofis, P., Kalogirou, S. (2018). Mapping and Understanding the Dynamics of Landscape Changes on Heterogeneous Mediterranean Islands with the Use of OBIA: The Case of Ionian Region, Greece. Sustainability, 10(9), 298

3.1 Εισαγωγή

Το Μεσογειακό τοπίο αποτελείται από ένα μωσαϊκό χρήσεων/καλύψεων γης, το οποίο δημιουργήθηκε μέσω της μακροχρόνιας αλληλεπίδρασης μεταξύ φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων (Tzanopoulos and Vogiatzakis 2011). Οι κύριες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καλλιέργεια της γης, η κτηνοτροφία, η υλοτομία, που συμβαίνουν για χιλιάδες χρόνια, αλλά και οι πυρκαγιές που προκαλούνται από τον άνθρωπο διαδραματίζουν καταληκτικό ρόλο στον καθορισμό της σύστασης και δομής του τοπίου (Arianoutsou 2001; Malek and Verburg 2017; Tzanopoulos and Vogiatzakis 2011). Από την άλλη πλευρά, η πολύπλοκη γεωλογική ιστορία και τοπογραφία της Μεσογείου, οι κλιματικές αλλαγές, πριν και μετά τη δημιουργία του Μεσογειακού κλίματος, έχουν ως αποτέλεσμα την υψηλή βιολογική ποικιλότητα, συμπεριλαμβανομένων των πολλών ενδημικών ειδών (Cowling et al., 1996; Médail, 2017). Οι σημαντικές κοινωνικοοικονομικές μεταβολές, που συμβαίνουν κυρίως από τα μέσα του 20ου αιώνα, έχουν επιδράσει σημαντικά στη χρήση της γης. Έτσι, ορεινές αγροτικές περιοχές σταδιακά εγκαταλείπονται, ενώ οι πεδινές αγροτικές περιοχές καλλιεργούνται εντατικότερα (Cowling et al., 1996; Sidiropoulou et al., 2015; Zomeni et al., 2008). Παράλληλα, η σημαντική τουριστική ανάπτυξη επανακαθορίζει τις κινητήριες δυνάμεις μεταβολής του Μεσογειακού τοπίου.

Η έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη συχνότητα και σφοδρότητα των πυρκαγιών και άλλων φυσικών καταστροφών, έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή των χρήσεων/καλύψεων γης, επηρεάζοντας με τον τρόπο αυτό την οικολογική ακεραιότητα και την κατάσταση των οικοσυστημάτων (Lamine et al., 2017; Yiannakou et al., 2017). Επιπλέον, οι μεταβολές στην κάλυψη γης επηρεάζουν άμεσα το τοπικό κλίμα της περιοχής (Anav et al., 2010) με συνεπακόλουθες επιδράσεις στη βιοποικιλότητα (Kindu et al., 2013; Pielke et al., 2013) και στην παροχή σημαντικών οικοσυστημικών υπηρεσιών (Lorilla et al., 2018; Luo et al., 2012; Otukei & Blaschke, 2010). Ακόμα ένα βασικό αποτέλεσμα των μεταβολών της κάλυψης γης είναι η υποβάθμιση και ερημοποίηση των γαιών, ένα φαινόμενο που είναι έντονο στη Μεσόγειο (Karamesouti et al., 2015). Έτσι, η συστηματική παρακολούθηση και η κατανόηση των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης είναι ένα βασικό εργαλείο βιώσιμης διαχείρισης των οικοσυστημάτων (Alphan, 2017), όπως έχει σημειωθεί και από Ευρωπαϊκές και Παγκόσμιες στρατηγικές (European Environment Agency, 2012).

Αν και υπάρχει πληθώρα επιστημονικών εργασιών που μελετούν τις μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης στη Μεσόγειο (Kilic et al., 2003; Kolios & Stylios, 2013; Lamine et al., 2017;

Romano et al., 2018; Xofis & Poirazidis, 2018), τα νησιά και νησιωτικά συμπλέγματα της περιοχής δεν είναι μελετημένα εκτενώς, με μόνο λίγες μελέτες να έχουν διεξαχθεί (Mei et al., 2016; Symeonakis et al., 2012; Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011). Όπως σημειώνουν οι Tzanopoulos & Vogiatzakis (2011), αν και οι κινητήριες δυνάμεις που καθορίζουν τη δομή και διάρθρωση του τοπίου μπορεί να είναι ίδιες για νησιωτικές και ηπειρωτικές περιοχές, οι επιδράσεις τους μπορεί να διαφέρουν, καθώς στα νησιά υπάρχουν σημαντικές ιδιαιτερότητες όπως είναι το μέγεθος, η γεωγραφική απομόνωση, η διαθεσιμότητα των πόρων κ.α.

Η χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων, παρέχει σημαντικές – και με χαμηλό κόστος – λύσεις για την συστηματική παρακολούθηση και χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης και των διαδικασιών που συμβαίνουν στην επιφάνεια της γης, σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές (Nagendra et al., 2013). Τα τελευταία χρόνια, η θεματική και χωρική ακρίβεια των χαρτογραφήσεων, σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται τεχνικές τηλεπισκόπησης, έχει αυξηθεί σημαντικά κυρίως λόγω της ανάπτυξης νέων τεχνικών και αλγορίθμων (Luo et al., 2012; Otukei & Blaschke, 2010), αλλά και της διαθεσιμότητας νέων, καλής ποιότητας δεδομένων. Μια σχετικά νέα προσέγγιση για την ανάλυση δεδομένων τηλεπισκόπησης είναι η Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνων (*Object-Oriented Image Analysis*, OBIA), η οποία παράγει πιο ακριβή αποτελέσματα σε σχέση με την ανάλυση με βάση το εικονοστοιχείο (*Pixel-Based Classification*) (Blaschke, 2010; Kindu et al., 2013). Ένα βασικό πλεονέκτημα της OBIA είναι το γεγονός ότι επιτρέπει τον προσδιορισμό των στοιχείων της επιφάνειας της γης όχι μόνο μέσω των φασματικών χαρακτηριστικών τους αλλά και μέσω άλλων ιδιοτήτων τους όπως είναι το σχήμα, το μέγεθος, η υφή και η τοπογραφία (Batz, 2000; Kindu et al., 2013; Manakos et al., 2000). Πρόσφατες μελέτες (Galidaki & Gitas, 2014; Karydas & Gitas, 2011; Mallinis et al., 2008; Tompoulidou et al., 2016; Xofis & Poirazidis, 2018) έδειξαν ότι όταν εφαρμόζονται τεχνικές αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης σε Μεσογειακές περιοχές, τα αποτελέσματα που παράγονται είναι πιο ακριβή. Βασικό πλεονέκτημα της τηλεπισκόπησης είναι ακόμα η ικανότητα που παρέχεται για τη συλλογή και ανάλυση χρονο-σειρών εικόνων (Hame et al., 1998) για μελέτες που σκοπεύουν στη διερεύνηση μεταβολών στις χρήσεις/καλύψεις γης. Η ανάλυση ανίχνευσης αλλαγών (*Change Detection Analysis*) είναι η διαδικασία κατά την οποία προσδιορίζεται και ποσοτικοποιείται η μεταβολή της κάλυψης γης με βάση τη σύγκριση διαχρονικών εικόνων τηλεπισκόπησης (Jin et al., 2013).

Στο παραπάνω πλαίσιο, το κεφάλαιο αυτό στοχεύει στη διερεύνηση της δυναμική μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης για περίοδο 30 χρόνων (1985 – 2015), με τη χρήση δεδομένων και

τεχνικών τηλεπισκόπησης. Συγκεκριμένα, οι ειδικοί στόχοι του κεφαλαίου είναι α) η ανάπτυξη, εφαρμογή και ο έλεγχος αντικειμενοστραφούς λογικής ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης, η οποία θα είναι άμεσα εφαρμόσιμη και σε άλλες Μεσογειακές περιοχές, β) η ανίχνευση και χαρτογράφηση των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης και γ) η κατανόηση των κύριων δυνάμεων που επιδρούν στις παρατηρούμενες μεταβολές.

3.2 Δεδομένα και μεθοδολογία

3.2.1 Δεδομένα και Προ-επεξεργασία

Για τη χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες *Landsat 5TM* και *Landsat 8OLI* για τα έτη 1985 και 2015, αντίστοιχα. Για κάθε χρονιά μελέτης χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία ταξινόμησης δύο δορυφορικές εικόνες, οι οποίες είχαν ληφθεί κατά την Ανοιξιάτικη και Θερινή περίοδο του χρόνου. Οι ακριβείς ημερομηνίες λήψης των εικόνων φαίνονται στον πίνακα 3.1

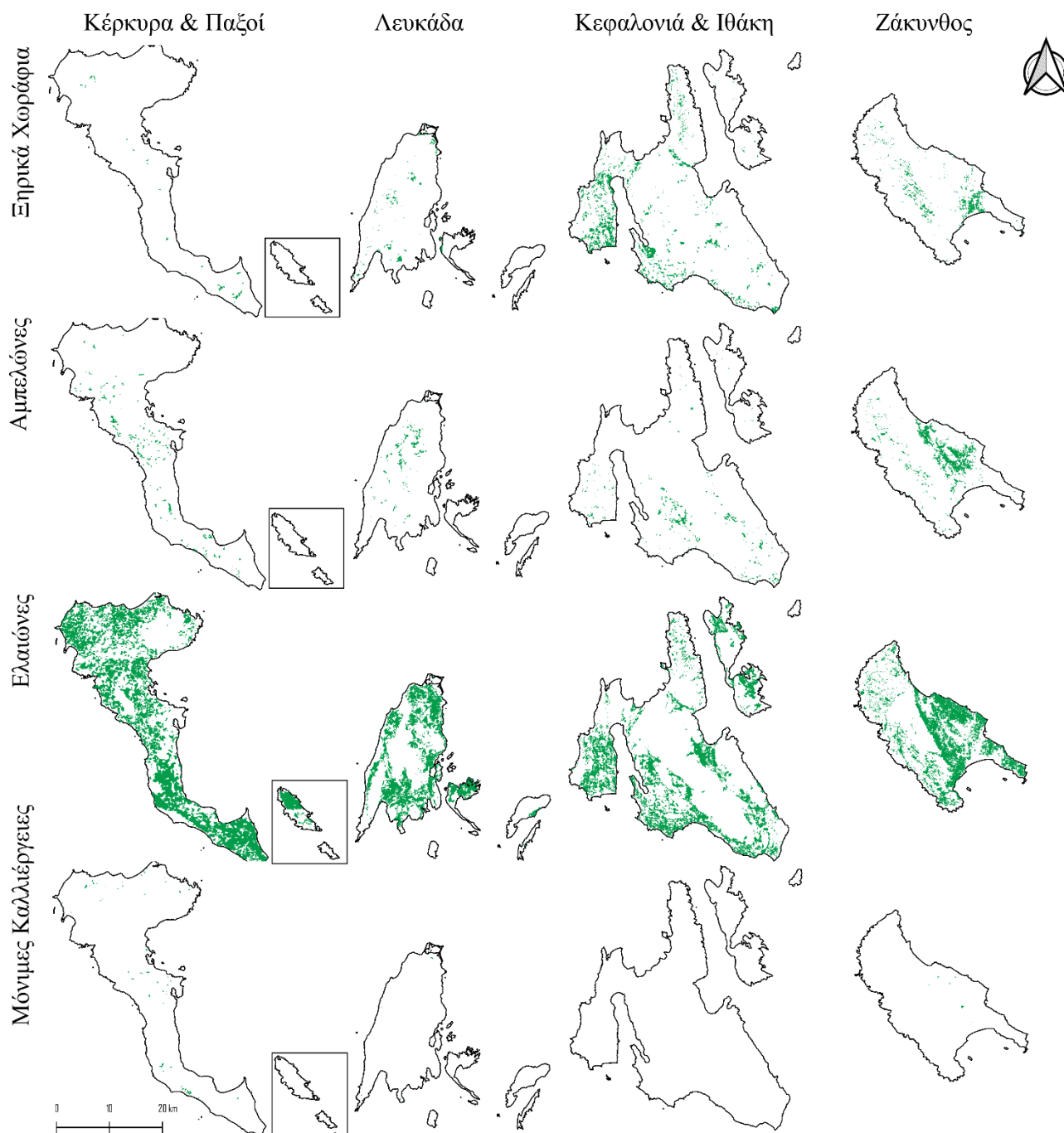
Πίνακας 3.1. Ημερομηνίες λήψης δορυφορικών εικόνων.

Χρονιά	Άνοιξη	Καλοκαίρι
1985	02/04/1985	05/08/1985
2015	23/04/2015	13/08/2015

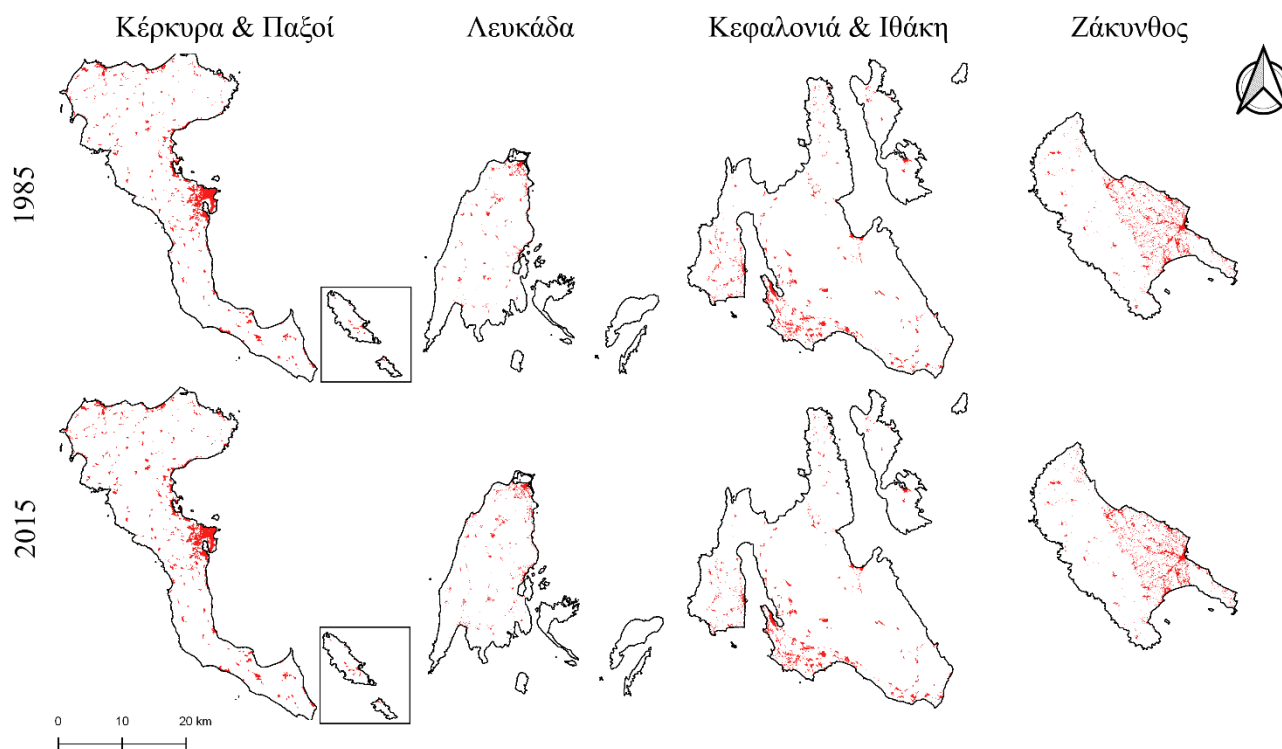
Έπειτα από τη λήψη δορυφορικών εικόνων, εφαρμόστηκαν ραδιομετρικές και ατμοσφαιρικές διορθώσεις, η σημασία των οποίων κρίνεται από πολλούς ερευνητές ως προαπαιτούμενο για την ανίχνευση των αλλαγών που έχει υποστεί μία περιοχή (Yang & Lo, 2000). Γενικά, οι διορθώσεις αυτές ορίζονται ως οι διαδικασίες που ακολουθούνται ώστε να απομακρυνθούν οι ραδιομετρικές και ατμοσφαιρικές διαφορές μεταξύ διαχρονικών εικόνων που δεν οφείλονται στα στοιχεία του εδάφους. Έτσι, με την εφαρμογή αυτών αποσκοπείται η ενιαία φασματική απόκριση των εικονοστοιχείων που δεν παρουσιάζουν μεταβολή της κάλυψής τους. Με αυτόν τον τρόπο, οι διαφορές στις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων αντιστοιχούν σε πραγματικές μεταβολές στην επιφάνεια της γης (Song et al., 2001). Στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής πραγματοποιήθηκε η σχετική ραδιομετρική διόρθωση - που διορθώνει τις επιδράσεις της γωνίας του ηλίου, τη διάχυση και την απορρόφηση του φωτός, καθώς και την συμπεριφορά των αισθητήρων - και η ατμοσφαιρική διόρθωση *Dark Object Subtraction*, με τη χρήση του λογισμικού *ENVI 5.4*.

Για το διαχωρισμό της αγροτικής ζώνης, κατά τα αρχικά στάδια της ταξινόμησης, χρησιμοποιήθηκαν τα πολυγωνικά αρχεία (*ilot*) του Υπουργείου Γεωργικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (Εικόνας 3.1).

Επιπλέον, η ταξινόμηση των οικισμών/αστικών περιοχών, έγινε με τη χρήση πολυγωνικών αρχείων που παραχωρήθηκαν από το τμήμα Περιβάλλοντος του Ιονίου Πανεπιστημίου (Εικόνα 3.2), τα οποία δημιουργήθηκαν μέσω ψηφιοποίησης σε ορθοφωτοχάρτες των ετών 1998 και 2005. Έτσι, για το έτος 1985 χρησιμοποιήθηκαν οι ψηφιοποιημένοι οικισμοί του 1998 και για το έτος 2015 οι ψηφιοποιημένοι οικισμοί του 2008.



Εικόνα 3.1. Αγροτικές εκτάσεις. (Πηγή: Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης και Τροφίμων).

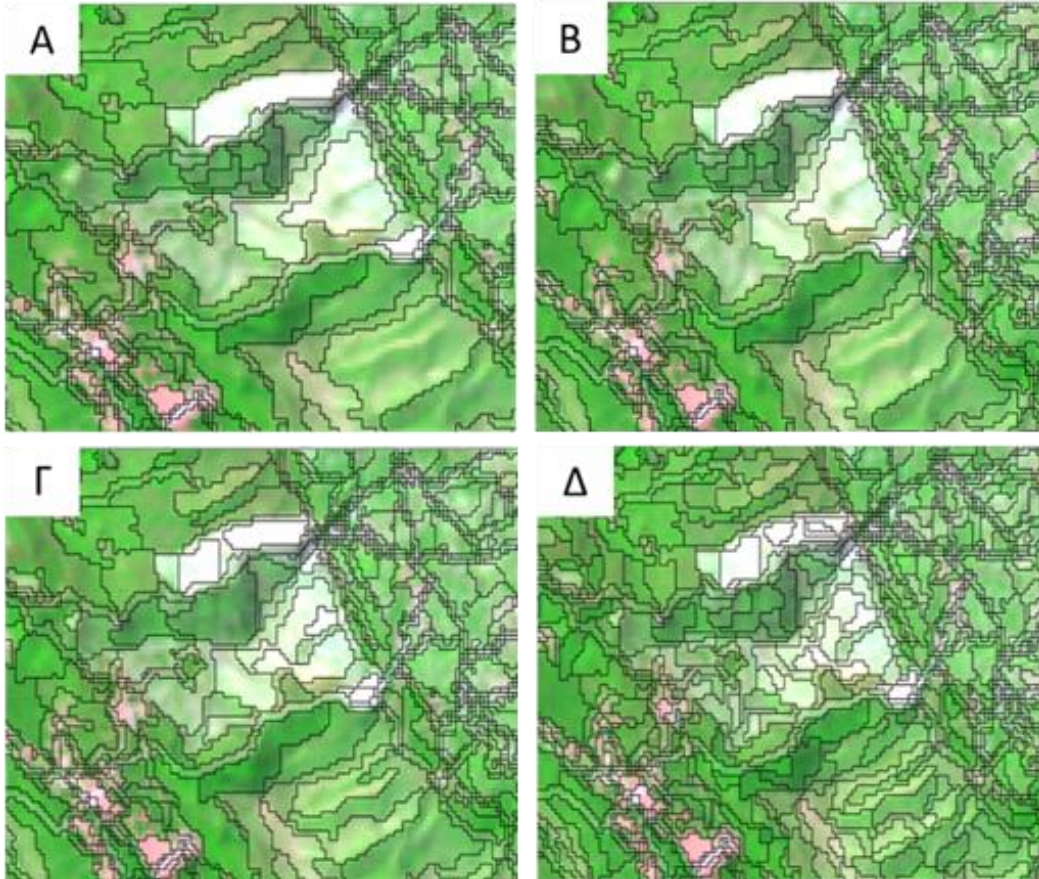


Εικόνα 3.2. Οικισμοί Ιονίων Νήσων για τα έτη 1985 και 2015.
(Πηγή: Τμήμα Περιβάλλοντος, Ιόνιο Πανεπιστήμιο).

3.2.2 Χαρτογράφηση χρήσεων/καλύψεων γης

Το πρώτο βήμα για την εφαρμογή της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης είναι η κατάτμησης της εικόνας σε αντικείμενα (*segmentation*), με την εφαρμογή κατάλληλου αλγορίθμου. Μετά την ολοκλήρωση της κατάτμησης, ως σημείο αναφοράς δεν είναι το εικονοστοιχείο αλλά το αντικείμενο, το οποίο συνοδεύεται από μία σειρά χαρακτηριστικών που αναφέρονται σε φασματικά και σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Έτσι, το αντικείμενο είναι ο φορέας όλων των πληροφοριών που θα αξιολογηθούν και θα χρησιμοποιηθούν κατά την ταξινόμηση. Η βασική αρχή για την κατάτμηση της εικόνας είναι τα αντικείμενα που θα δημιουργηθούν να είναι όσο το δυνατό λιγότερα αλλά παράλληλα να εξασφαλίζεται η ομοιογένεια μέσα σε αυτά και η ετερογένεια μεταξύ αυτών. Διάφοροι αλγόριθμοι κατάτμησης εικόνας έχουν αναπτυχθεί, από τους απλούς - όπως ο *Chessboard Segmentation* που διαχωρίζει την εικόνα σε τετράγωνα – σε πολύ εξειδικευμένους – όπως ο *Multi-resolution Segmentation* που εφαρμόστηκε στην συγκεκριμένη διατριβή. Με βάση αυτόν τον αλγόριθμο η εικόνα κατατμήζεται σε ένα σύνολο αντικειμένων διαφορετικού μεγέθους και σχήματος. Ο αριθμός των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν εξαρτάται από την παράμετρο *Scale Parameter* που όσο αυξάνεται, ο αριθμός των αντικειμένων μειώνεται. Η παράμετρος αυτή είναι ίσως η σημαντικότερη αφού από αυτή εξαρτάται το κατά πόσο ομοιογενή ή ανομοιογενή θα είναι τα αντικείμενα που θα

δημιουργηθούν. Επίσης, ως κριτήρια χρησιμοποιούνται και χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το σχήμα και το βαθμό συμπαγότητας (*compactness*) των αντικειμένων. Δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη διαδικασία ορθής επιλογής των κριτηρίων αλλά απαιτείται μία συνεχής διαδικασία δοκιμών και ελέγχων.



Εικόνα 3.3. Διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης εικόνας με σταθερές τις τιμές των κριτηρίων σχήματος (0,1) και συμπαγότητας (0,8) και την τιμή του Scale Parameter να είναι (Α) 20, (Β) 15, (Γ) 10 και (Δ) 5.

Έτσι, μετά από επαναλαμβανόμενες διαδικασίες κατάτμησης και αξιολόγησης, χρησιμοποιήθηκε η τιμή 5 για το κριτήριο *Scale Parameter*, και 0,1 και 0,8 για τα κριτήρια σχήματος και συμπαγότητας, αντίστοιχα για όλα τα επίπεδα ταξινόμησης (Εικόνα 3.3).

Αν και σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι ανάλυση της δυναμική μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων, ειδικός στόχος αποτελεί η ανάπτυξη αλγορίθμου αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης, ο οποίος να είναι άμεσα εφαρμόσιμος σε περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά δομής και σύνθεσης τοπίου. Για το λόγο αυτό, η ταξινόμηση βασίστηκε αποκλειστικά σε κανόνες (κανόνες απόλυτων ορίων ή ασαφούς λογικής – *crisp or fuzzy rules*) στηριζόμενοι σε έξι δείκτες βλάστησης (Πίνακας 3.2), αποφεύγοντας τη χρήση δειγμάτων εκπαίδευσης του αλγορίθμου.

Πίνακας 3.2. Δείκτες βλάστησης.

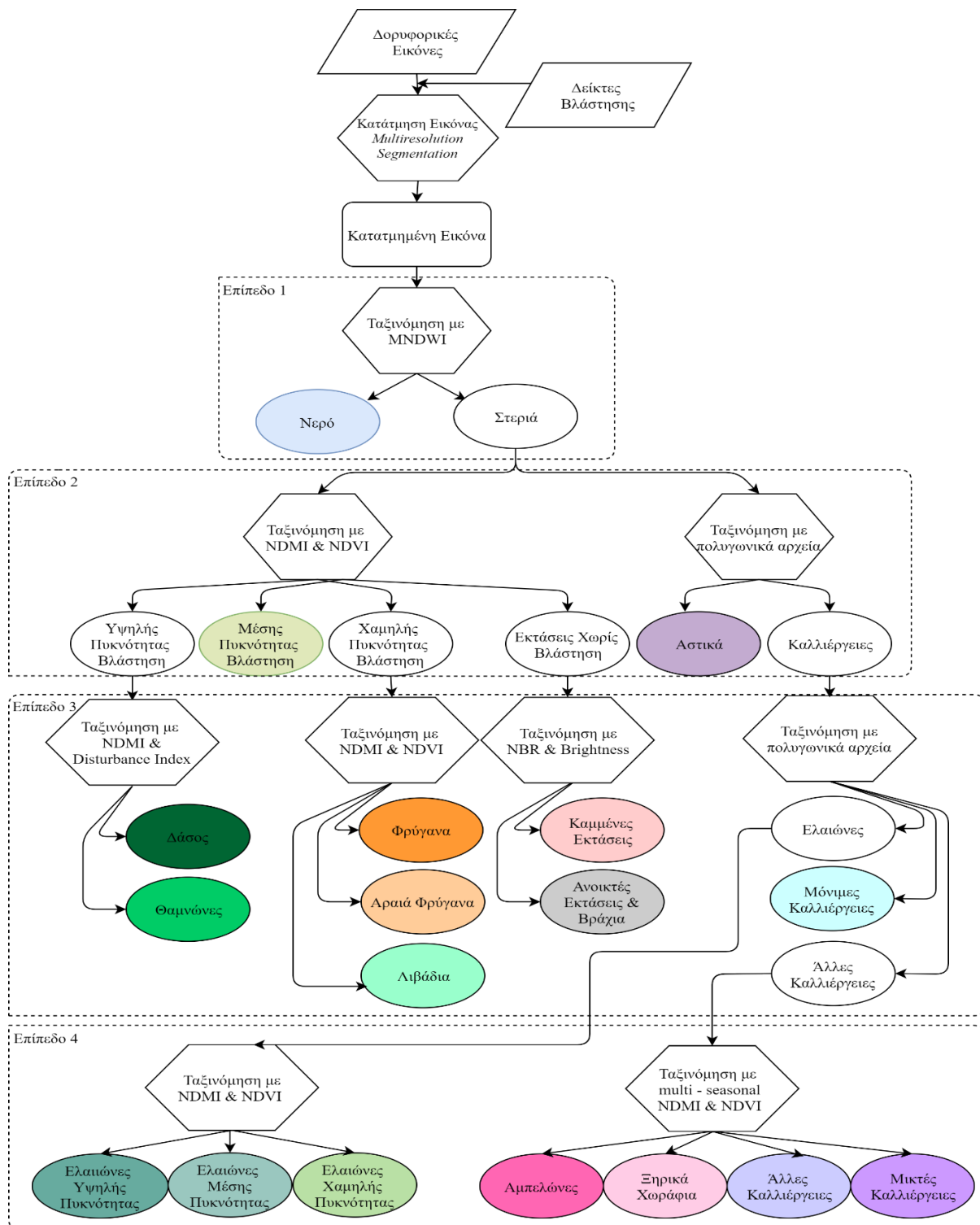
Δείκτης Βλάστησης	Εξίσωση
Modified Soil-Adjusted Vegetation Index (Qi et al., 1994)	$MSAVI = \frac{(NIR-RED)(1+L)}{NIR+RED+L}$
Normalized Difference Moisture Index (Xu, 2006)	$NDMI = \frac{(NIR-SWIR_1)}{(NIR+SWIR_1)}$
Normalized Difference Vegetation Index (Reed et al., 1994)	$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}$
Modified Normalized Difference Water Index (Xu, 2006)	$MNDWI = \frac{(GREEN-SWIR_1)}{(GREEN+SWIR_1)}$
Normalized Burned Ratio (Cocke et al., 2005)	$NBR = \frac{(NIR-SWIR_2)}{(NIR+SWIR_2)}$
Disturbance Index	$DI = TC_{BR} - (TC_{GR} + TC_{WET})$

Όπου: NIR = Near Infrared Band, SWIR₁ = First Sort Wave Infrared Band (Landsat 5 TM Band 5 and Landsat 8 OLI Band 6), SWIR₂ = Second Sort Wave Infrared Band (Landsat 5 TM Band 7 and Landsat 8 OLI Band 7), TC_{BR} = Tasseled Cup Brightness Band, TC_{GR} = Tasseled Cup Greenness Band, TC_{WET} = Tasseled Cup Wetness Band

Η ταξινόμηση εφαρμόστηκε με την «από πάνω προς τα κάτω» προσέγγιση, όπου αρχικά ταξινομούνται ευρείες/γενικές καλύψεις γης που σε κάθε επόμενο επίπεδο εξειδικεύονται. Έτσι, το σχήμα ταξινόμησης αποτελείται από τέσσερα επίπεδα (Εικόνα 3.4), όπου στο πρώτο διαχωρίζεται η θάλασσα από το χερσαίο τμήμα, με τη χρήση του δείκτη *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI). Στο δεύτερο επίπεδο, οι δομημένες εκτάσεις και οι καλλιέργειες διαχωρίζονται με τη χρήση των πολυγωνικών αρχείων, που προαναφέρθηκαν. Οι μη ταξινομημένες εκτάσεις διαχωρίστηκαν σε υψηλής, μέσης ή χαμηλής πυκνότητας βλάστηση και σε εκτάσεις χωρίς βλάστηση με τη χρήση των δεικτών *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI) και *Normalized Difference vegetation Index* (NDVI), όπου οι υψηλότερες τιμές τους εμφανίζονται σε περιοχές που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση. Στο τρίτο επίπεδο, οι αγροτικές εκτάσεις, διαχωρίστηκαν σε ελαιώνες, μόνιμες και άλλες καλλιέργειες σύμφωνα με το χαρακτηρισμό που δόθηκε από τα *ilot*. Τέλος, οι περιοχές με πυκνή βλάστηση ταξινομήθηκαν σε δάση και θαμνώνες με τη χρήση κανόνα που λαμβάνει υπόψη τους δείκτες NDMI και *Disturbance Index* (DI) (ο δείκτης DI εμφανίζει υψηλές τιμές σε περιοχές με χαμηλή και αραιή βλάστηση).

Η κατηγορία των δασών αναφέρεται σε σχηματισμούς βλάστησης όπου η Χαλέπιος Πεύκη (*Pinus halepensis*) είναι κυρίαρχη, ενώ σε άλλες περιοχές – κυρίως στην Κεφαλονιά - κυριαρχεί η *Abies cephalonica* (Κεφαλληνιακή Ελάτη). Αντίστοιχα, η κατηγορία των θαμνώνων, αποτελείται από σχηματισμούς θάμνων και μακίας βλάστησης, συμπεριλαμβανομένων των ειδών *Quercus coccifera* (Πουρνάρι), *Pistacia sp.* (Σχίνων) και *Arbutus unedo* (Κούμαρων) (Πίνακας 3.3). Στην κατηγορία της αραιής βλάστησης, τρεις κύριοι τύποι αναγνωρίστηκαν: τα φρύγανα, τα αραιά φρύγανα και τα

λιβάδια. Συγκεκριμένα τα φρύγανα και τα αραιά φρύγανα ταξινομήθηκαν με τη χρήση των δεικτών NDVI και NDMI, και τα λιβάδια αναγνωρίστηκαν από τη διαφορά των τιμών του δείκτη NDVI για την Ανοιξιάτικη και Θερινή περίοδο, με τις υψηλές τιμές να αναφέρονται στη φρυγανική ενώ οι χαμηλές τιμές στη λιβαδική βλάστηση.



Εικόνα 3.4. Ιεραρχικό σχήμα ταξινόμησης (οι έγχρωμες ελλείψεις είναι το τελικό αποτέλεσμα κάθε κλάσης).

Πίνακας 3.3. Τα επίπεδα και οι κατηγορίες ταξινόμησης.

Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Περιγραφή Κλάσεων	Ενοποίηση Κλάσεων	
Ζώνη μη-Φυσικής Βλάστησης	Υψηλής Πυκνότητας Βλάστηση	Δάσος	Περιοχές που καλύπτονται από πυκνή δενδρόδη βλάστηση		Υψηλής Πυκνότητας Βλάστηση	
	Μέσης Πυκνότητας Βλάστηση	Θαμινώνες	Περιοχές που καλύπτονται από θάμνους		Μέσης Πυκνότητας Βλάστηση	
		Μεταβατική Βλάστηση	Περιοχές που καλύπτονται από βλάστηση υψηλής και χαμηλής πυκνότητας			
		Φρύγανα	Περιοχές που καλύπτονται από πυκνά φρύγανα			
	Χαμηλής Πυκνότητας Βλάστηση	Αραιά Φρύγανα	Περιοχές που καλύπτονται από αραιά φρύγανα		Χαμηλής Πυκνότητας Βλάστηση και Ανοικτές Εκτάσεις/ Βράχια	
		Λιβάδια	Περιοχές που καλύπτονται από φυσικά λιβάδια			
		Ανοικτές εκτάσεις/βράχια	Ανοικτές περιοχές και βράχια			
	Εκτάσεις χωρίς βλάστηση	Καμένες Εκτάσεις	Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες	Περιοχές που καλύπτονται από μέσης πυκνότητας ελαιώνες	Καμένες Εκτάσεις	
	Ζώνη μη-Φυσικής Βλάστησης	Ελαιώνες	Χαμηλής Πυκνότητας Ελαιώνες	Περιοχές που καλύπτονται από χαμηλής πυκνότητας ελαιώνες	Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες	
			Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες με Φυσική Βλάστηση	Περιοχές που καλύπτονται από υψηλής πυκνότητας ελαιώνες και ψηφίδες φυσικής βλάστησης	Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες	
			Καλλιέργειες	Αμπελώνες	Αμπελώνες	
Άλλες Καλλιέργειες		Ξηρικά Χωράφια	Ξηρικά χωράφια	Περιοχές που καλύπτονται από μικτές καλλιέργειες με κυρίαρχη τους αμπελώνες	Καλλιέργειες	
		Μικτές Καλλιέργειες	Μικτές καλλιέργειες με κυρίαρχη τους αμπελώνες			
		Άλλες Καλλιέργειες	Περιοχές που καλύπτονται από μικτές καλλιέργειες με κυρίαρχη της ξηρικές			
		Μόνιμες Καλλιέργειες	Μόνιμες καλλιέργειες (Δενδρώδεις)			
Υποδομές		Αστικά	Υποδομές/Αστικά	Θάλασσα ή εσωτερικά ύδατα	Αστικές περιοχές	
Υδατα		Θάλασσα ή εσωτερικά ύδατα				

Στις δύο κατηγορίες πυκνώσης των φρυγάνων τα κυρίαρχα είδη ήταν ο *Callicotome villosa* (Ασπάλαθος), η *Cistus creticus* (Λαδανιά) και η *Sarcopoterium spinosum* (Αφάνα). Οι περιοχές που δεν καλύπτονταν από βλάστηση, διαχωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες, όπου για τις καμένες εκτάσεις χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης *Normalized Burned Ratio* (NBR), και για τις ανοικτές εκτάσεις/βράχια χρησιμοποιήθηκε ο *Brightness Index*, από το γραμμικό μετασχηματισμό *Tasseled Cup*.

Στο τέταρτο επίπεδο ταξινόμησης, έγινε ο επιπλέον διαχωρισμός των ελαιώνων και των άλλων τύπων καλλιεργειών. Ειδικότερα, η κατηγορία των ελαιώνων διαχωρίστηκε σε τρεις κατηγορίες πυκνώσης: α) υψηλής πυκνότητας ελαιώνες με συστάδες φυσική βλάστησης, β) μέσης πυκνότητας ελαιώνες και γ) χαμηλής πυκνότητας ελαιώνες, με τη χρήση των δεικτών NDVI και NDMI. Οι υπόλοιποι τύποι καλλιεργειών, επαναταξινομήθηκαν σε αμπελώνες, ξηρικές, μικτές, άλλες και μόνιμες καλλιέργειες με τη χρήση κανόνων που λαμβάνουν υπόψη τη διαφορά τιμών των δεικτών NDMI και NDVI για τη Θερινή και Ανοιξιάτικη περίοδο.

3.2.2.1 Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης

Το τελικό στάδιο της διαδικασίας ταξινόμησης είναι η εκτίμηση της ακρίβειας. Αυτό συνήθως γίνεται επιλέγοντας ένα τυχαίο δείγμα περιοχών στις οποίες, έπειτα από επίσκεψη σε αυτές, ο αναλυτής διαπιστώνει την πραγματική κάλυψη. Ως ακρίβεια θεωρείται το επίπεδο συμφωνίας μεταξύ των ετικετών που ορίζονται από την ταξινόμηση και των ετικετών που προέκυψαν από την επιτόπια παρατήρηση.

Το πιο κοινό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ακρίβειας ταξινόμησης είναι η μήτρα σύγχυσης (*confusion matrix*). Από τη μήτρα αυτή μπορούν να υπολογιστούν διάφοροι δείκτες ακρίβειας, όπως η συνολική ακρίβεια (*overall accuracy*), η ακρίβεια του αναλυτή (*producer's accuracy*), η ακρίβεια του χρήστη (*user's accuracy*), αλλά και πιο πολύπλοκοι δείκτες όπως είναι ο συντελεστής *Kappa*, που χρησιμοποιεί πληροφορίες που παρέχει το σύνολο της μήτρας.

Για τον έλεγχο ακρίβειας ταξινομήσεων των τεσσάρων περιοχών μελέτης, δημιουργήθηκαν μήτρες σύγχυσης, και υπολογίστηκαν οι τέσσερις δείκτες ακρίβειας που προαναφέρθηκαν. Για τον υπολογισμό του μεγέθους του δείγματος ακολουθήθηκε η μέθοδος που προτάθηκε από τους Congatton και Green (1999), οι οποίοι χρησιμοποιούν τη σχέση (Εξίσωση 3.1):

$$n = BΠ(1-Π_i)/b_i^2 \quad (3.1)$$

όπου B: η μεγαλύτερη τιμή X^2 , για πιθανότητα α/k (α : επίπεδο ακρίβειας π.χ 0.05 - επίπεδο εμπιστοσύνης 95% - και k: το πλήθος των κατηγοριών) Π: % έκταση της κάλυψης i.

Στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής το μέγεθος του δείγματος, που υπολογίστηκε, δεν μοιράστηκε ισομερώς σε όλες τις κλάσεις. Αρχικά, εντοπίστηκαν οι κατηγορίες κάλυψης, οι οποίες δεν εντάχθηκαν στη διαδικασία, όπως είναι οι αστικές περιοχές (λόγω του ότι προέρχονται από ψηφιοποίηση), οι καμένες περιοχές (λόγω του ότι σε ορισμένες περιπτώσεις προέρχονται από χειροκίνητη ταξινόμηση), η θάλασσα και οι αλυκές (στην περίπτωση της Ζακύνθου). Στη συνέχεια οι εναπομένουσες καλύψεις γης κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις ομάδες ανάλογα με το βαθμό πολυπλοκότητας που παρουσίασαν κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.4). Τα δείγματα εξήχθησαν με τυχαία στρωματωμένη δειγματοληψία, με ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους να είναι 90 μέτρα (δηλ. τρία εικονοστοιχεία).

Πίνακας 3.4. Κατηγορίες κάλυψης γης ανάλογα με την πολυπλοκότητα ταξινόμησης.

A/A	Μικρή	Μεσαία	Μεγάλη
1	Ξηρικές Καλλιέργειες	Αμπέλια	Ελαιώνες υψηλής πυκνότητας
2	Μόνιμες καλλιέργειες	Μικτές καλλιέργειες	Δάση
3	Ελαιώνες χαμηλής πυκνότητας	Άλλες καλλιέργειες	Θαμνώνες
4	Γυμνές εκτάσεις/βράχια	Ελαιώνες μέσης πυκνότητας	Μεταβατικά
5	---	Αραιά φρύγανα	Φρύγανα
	---	Λιβάδια	---

Με βάση την παραπάνω σχέση και τις κατηγορίες πολυπλοκότητας στην ταξινόμηση για κάθε μία από της Περιφερειακές Ενότητες (Π.Ε.) των Ιονίων Νήσων το μέγεθος του δείγματος είναι:

➤ Για την Π.Ε. Κέρκυρας:

Στην Π.Ε. Κέρκυρας ταξινομήθηκαν 18 κατηγορίες καλύψεων γης ($k=18$), με την κατηγορία που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό να είναι οι ελαιώνες υψηλής πυκνότητας με ποσοστό 2,61% (Π_{ελαιώνων}, $h_d=0,246$). Η τιμή του X^2 , υπολογίζεται ως $\alpha/k=(0,05/18)=0,00278$, άρα $X^2=8,9465113$.

$$n = [(8,9465113 * 0,2161) * (1 - 0,2161)] / 0,052 = \underline{\underline{607}}$$

Με βάση το αποτέλεσμα θα πρέπει κατ' ελάχιστο ο αριθμός των δειγμάτων να είναι 607. Έπειτα από την ομαδοποίηση των κατηγοριών καλύψεων γης: η πρώτη ομάδα θα έχει 35 δείγματα/κατηγορία, η δεύτερη ομάδα 40 δείγματα/κατηγορία και η τρίτη 50 δείγματα/κατηγορία. Συνολικά 630 δείγματα.

➤ Για την Π.Ε. Λευκάδας:

Η Π.Ε. Λευκάδας ταξινομήθηκε σε 17 κατηγορίες κάλυψης ($k=17$). Το επίπεδο εμπιστοσύνης είναι 95% ($\alpha=0,05$). Η κατηγορία με το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης είναι οι θαμνώνες με 18,2% ($\Pi_{\text{θαμνώνων}}=0,182$). Η τιμή X^2 για το επίπεδο πιθανότητας $\alpha/k=(0,05/17)=0,002941$ με βαθμό ελευθερίας 8.844335. Επομένως ο ελάχιστος αριθμός δείγματος είναι:

$$n = [(8,844335 * 0,182) * (1 - 0,182)] / 0,05^2 = \underline{495}$$

Με βάση το αποτέλεσμα θα πρέπει κατ' ελάχιστο ο αριθμός των δειγμάτων να είναι 495. Όμως, έπειτα από την κατηγοριοποίηση των καλύψεων γης: η πρώτη ομάδα κλάσεων θα έχει 25 δείγματα/κατηγορία, η δεύτερη ομάδα 35 δείγματα/κατηγορία και η τρίτη ομάδα 44 δείγματα/κατηγορία. Συνολικά 495 δείγματα.

➤ Για την Π.Ε. Κεφαλληνίας:

Η Π.Ε. Κεφαλληνίας ταξινομήθηκε σε 17 κατηγορίες καλύψεων γης ($k=17$). Η κατηγορία που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της Περιφερειακής Ενότητας είναι τα δάση με 24,61% ($\Pi_{\text{δασών}}=0,246$). Για το επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ($\alpha=0,05$), η τιμή X^2 είναι: $\alpha/k=(0,05/17)=0,002941$, με βαθμό ελευθερίας $X^2=8,844335$. Άρα ο ελάχιστος αριθμός δειγμάτων είναι

$$n = [(8,844335 * 0,246) * (1 - 0,246)] / 0,05^2 = \underline{657}$$

Με βάση το αποτέλεσμα θα πρέπει κατ' ελάχιστο ο αριθμός των δειγμάτων να είναι 657. Ο τελικός αριθμός δειγμάτων ανά ομάδα πολυπλοκότητας και κατηγορία κάλυψης γης είναι: η πρώτη ομάδα κλάσεων θα έχει 30 δείγματα/κατηγορία, η δεύτερη ομάδα 45 δείγματα/κατηγορία και η τρίτη ομάδα 60 δείγματα/κατηγορία. Συνολικά δείγματα 660 δείγματα.

➤ Για την Π.Ε. Ζακύνθου:

Η Π.Ε. Ζακύνθου ταξινομήθηκε σε 19 κατηγορίες κάλυψης ($k=19$). Το επίπεδο εμπιστοσύνης είναι 95% ($\alpha=0,05$). Η κατηγορία με το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης είναι οι ελαιώνες μέσης πυκνότητας με 23,38% ($\Pi_{\text{ελαιώνων}}=0,234$). Η τιμή X^2 για το επίπεδο πιθανότητας $\alpha/k=(0,05/19)=0,0026316$ με το βαθμό ελευθερίας να είναι 9.04788. Επομένως ο ελάχιστος αριθμός δείγματος είναι:

$$n = [(9,04788 * 0,234) * (1 - 0,234)] / 0,05^2 = \underline{620}$$

Με βάση το αποτέλεσμα της παραπάνω σχέσης θα πρέπει κατ' ελάχιστο ο αριθμός των δειγμάτων να είναι 620. Όμως, έπειτα από την κατηγοριοποίηση των καλύψεων γης: η πρώτη ομάδα κλάσεων θα έχει 30 δείγματα/κατηγορία, η δεύτερη ομάδα 40 δείγματα/κατηγορία και η τρίτη ομάδα 52 δείγματα/κατηγορία. Συνολικά 620 δείγματα.

Ο έλεγχος ακρίβειας των ταξινομήσεων πραγματοποιήθηκε για το έτος 1985 μέσω οπτικής ερμηνείας σε αεροφωτογραφίες, ενώ για το έτος 2015 η ακρίβεια των ταξινομήσεων έγινε μέσω εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης (*Very-High-Resolution* ,VHR) και από επιτόπια παρακολούθηση. Τέλος δημιουργήθηκαν οι κατάλληλες μήτρες όπου και υπολογίστηκαν η συνολική ακρίβεια (*overall accuracy*), η ακρίβεια του αναλυτή (*producer's accuracy*), η ακρίβεια του χρήστη (*user's accuracy*), και ο συντελεστής *Kappa*.

3.2.3 Ανίχνευση και χαρτογράφηση μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης

Η ανίχνευση μεταβολών των χρήσεων/καλύψεων γης έγινε με μετά-ταξινομικές τεχνικές, όπου δημιουργήθηκαν πίνακες μεταβολών (*transition matrix*) και χάρτες που παρουσιάζουν τις εκτάσεις που παρέμειναν σταθερές την περίοδο 1985 – 2015, για κάθε μία Περιφερειακή Ενότητα. Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα τελικά αποτελέσματα των ταξινομήσεων για τα δύο έτη. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε ενοποιημένες κατηγορίες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3 (στήλη *Ενοποίηση Κλάσεων*). Η ενοποίηση των κατηγοριών έγινε τόσο για την καλύτερη ερμηνεία του αποτελέσματος, όσο και για την αύξηση του βαθμού θεματικής και χωρικής ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Οι τρεις ομαδοποιημένες κατηγορίες κάλυψης γης στη ζώνη φυσική βλάστησης αντιπροσωπεύουν τα διαφορετικά στάδια της δευτερογενούς διαδοχής. Η ενοποιημένη κατηγορία χαμηλής πυκνότητας βλάστηση αντιπροσωπεύει πρώιμα στάδια διαδοχής, όπως φρυγανική βλάστηση με ψηφίδες γυμνού εδάφους, το οποίο είναι κυρίως αποτέλεσμα πυρκαγιών, αποδάσωσης ή έντονης βόσκησης. Η ενοποιημένη κατηγορία μέσης πυκνότητας βλάστηση χαρακτηρίζεται από συστάδες θάμνων και δέντρων τα οποία σταδιακά και υπό την απουσία όχλησης θα εξελιχθούν σε υψηλής πυκνότητας βλάστηση. Οι δύο ομαδοποιημένες κατηγορίες ελαιώνων αντιπροσωπεύουν τα διαφορετικά καθεστώτα διαχείρισης. Συγκεκριμένα, οι υψηλής πυκνότητας ελαιώνες είναι εγκαταλελειμμένες καλλιέργειες στις οποίες με την πάροδο των ετών αναπτύχθηκαν και μετατράπηκαν σε πυκνή φυσική βλάστηση. Ενώ, η κατηγορία μέσης πυκνότητας ελαιώνων, αντιπροσωπεύει διαχειριζόμενες ή νέες ελαιοκαλλιέργειες οι οποίες χρησιμοποιούνται είτε για την παραγωγή ελαιόλαδου είτε για επιτραπέζιες ελιές.

3.3 Αποτελέσματα

3.3.1 Χαρτογράφηση χρήσεων/καλύψεων γης

Μετά την ανάπτυξη και τον έλεγχο του σχήματος ταξινόμησης στην Π.Ε. Ζακύνθου για το έτος 2015, η εφαρμογή του σχήματος ήταν εφικτή για το έτος 1985 στην ίδια Π.Ε., αλλά και για τις άλλες περιοχές μελέτης, με μικρές προσαρμογές στα όρια των κανόνων. Τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων είχαν υψηλό βαθμό συνολικής ακρίβειας (>84%), ενώ και ο στατιστικός δείκτης *Kappa* ήταν μεγαλύτερος από 0,82 (Πίνακας 3.5 και Πίνακες Παραρτήματος 1-8).

Πίνακας 3.5. Συνολική ακρίβεια ταξινόμηση και *Kappa* Statistic.

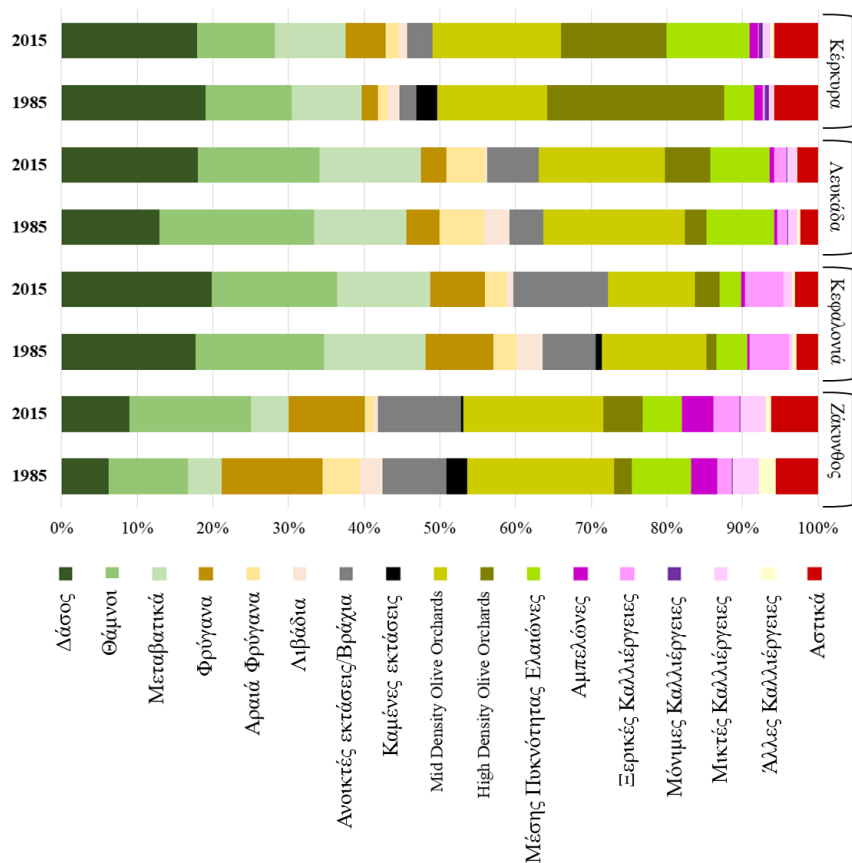
Περιφερειακή Ενότητα	Συνολική Ακρίβεια (%)		Kappa Statistic	
	1985	2015	1985	2015
Κέρκυρας	87	86	0,86	0,85
Λευκάδας	85	86	0,84	0,85
Κεφαλονιάς	84	84	0,82	0,82
Ζακύνθου	86	85	0,84	0,83

Η κυρίαρχη κατηγορία κάλυψης/χρήσης γης για όλα τα νησιά ήταν οι ελαιώνες (το άθροισμα των τριών κατηγοριών πυκνωση), καλύπτοντας το 42% της Κέρκυρας, το 30% της Λευκάδας και της Ζακύνθου, καθώς και το 19% της Κεφαλονιάς. Στη ζώνη φυσικής βλάστησης, οι δασικές περιοχές έχουν τη μεγαλύτερη έκταση στην Κέρκυρα και στην Κεφαλονιά (19% και 18%, αντίστοιχα), ενώ στη Λευκάδα και στη Ζάκυνθο καλύπτουν το 12% και 6%, αντίστοιχα (Εικόνα 3.5 και Πίνακες 3.6).

Πίνακας 3.6. Εκτάσεις και ποσοστό κάλυψης χρήσεων/καλύψεων γης στα Ιόνια Νησιά για τα έτη 1985 και 2015.

Τύπος Χρήσης/Κάλυψης γης	Κέρκυρα		Λευκάδα		Κεφαλονιά		Ζάκυνθος	
	1985	2015	1985	2015	1985	2015	1985	2015
Δάσος	11666 19,3	10903 18,0	4479 12,6	6306 18,1	15737 18,1	17989 20,7	2527 6,1	3615 9,0
Θάμνιες	6843 11,3	5598 9,3	7102 20,3	5625 16,1	14766 16,9	13904 16,0	4253 10,6	6466 17,0
Μεταβατική Βλάστηση	5557 9,2	6059 10,1	4299 12,3	4751 13,6	11294 12,9	10580 12,2	1824 4,5	2029 5,0
Φρύγανα	1309 2,1	3550 5,3	1592 4,4	1201 3,4	8154 9,0	6646 7,3	5419 13,3	4156 10,1
Αραιά Φρύγανα	792 1,3	1096 1,8	2116 5,9	1816 5,1	2731 3,0	2549 2,8	2024 5,0	498 1,2
Λιβάδια	1040 1,7	632 1,1	1171 3,4	82 0,2	3096 3,5	694 0,8	1160 2,9	124 0,3
Ανοικτές Εκτάσεις/Βράχια	798 1,4	1951 3,2	1261 3,6	2324 6,7	5202 6,0	10703 12,3	3159 7,9	4368 10,8
Καμένες Εκτάσεις	1692 2,8	0 0,0	—	—	683 0,8	47 0,0	1115 2,8	114 0,3
Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες	8924 14,5	10492 17,0	6712 18,7	5906 16,7	12396 13,8	10514 11,5	7894 19,4	7554 18,5

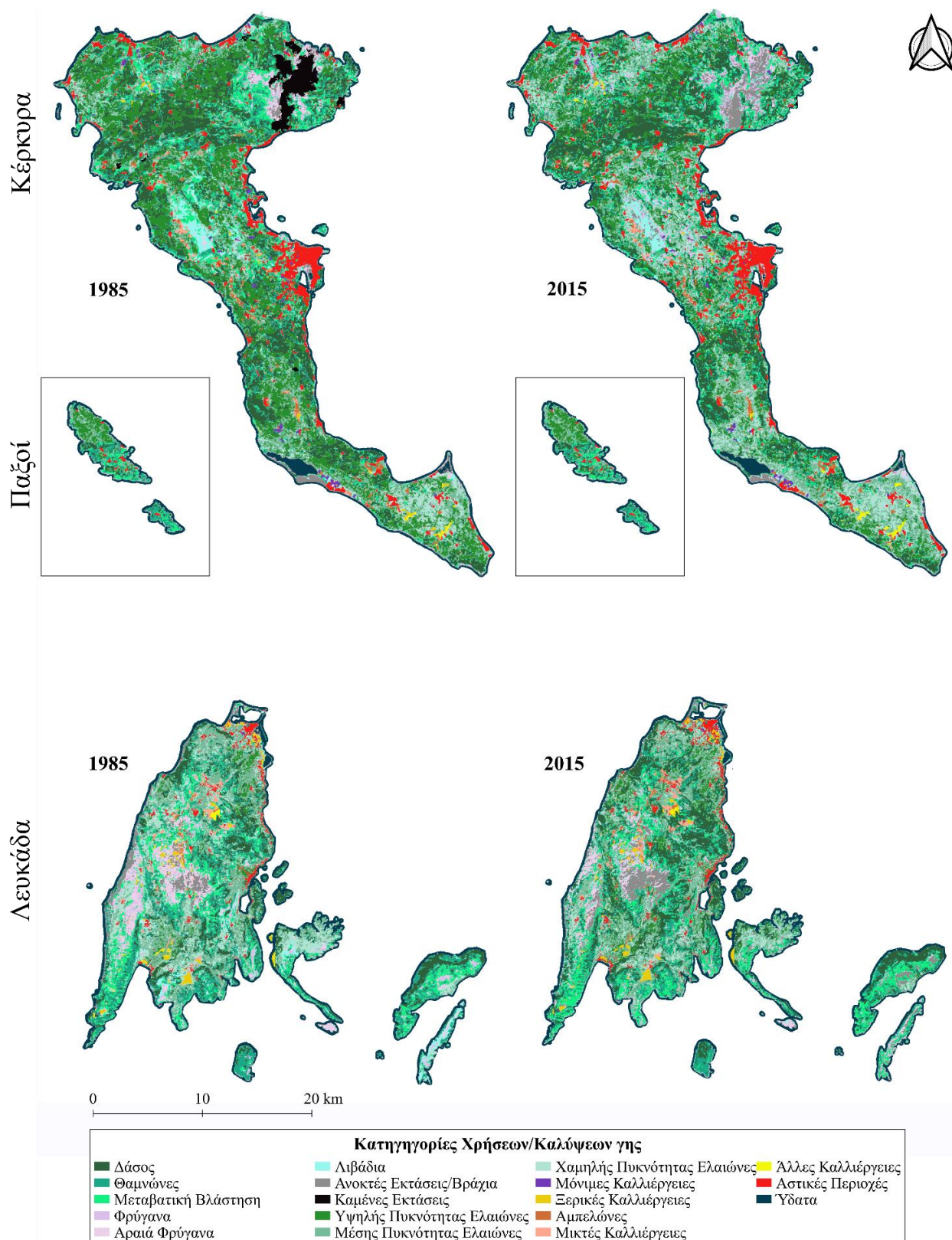
Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες	14375 23,4	8499 14,0	996 2,8	2134 6,0	1229 1,4	3599 3,3	975 2,4	2134 5,2
Χαμηλής Πυκνότητας Ελαιώνες	2422 4,0	6706 10,9	3240 9,0	2757 7,8	3664 4,0	2600 2,8	3176 7,8	2109 5,2
Αμπελώνες	660 1,1	754 1,2	137 0,4	206 0,6	792 0,3	298 0,5	1401 3,5	1689 4,2
Ξερικές Καλλιέργειες	185 0,3	60 0,1	471 1,3	570 1,6	4596 5,2	4676 5,1	790 1,9	1365 3,4
Μόνιμες Καλλιέργειες	311 0,5	310 0,5	16 0,1	16 0,1	—	—	28 0,1	28 0,1
Μικτές Καλλιέργειες	408 0,6	230 1,0	461 1,3	438 1,2	397 0,5	986 1,1	1418 3,5	1388 3,4
Άλλες Καλλιέργειες	66 0,1	193 0,5	138 0,4	18 0,1	458 0,5	358 0,4	902 2,2	277 0,7
Αστικές Εκτάσεις	3544 5,9	3817 6,3	793 2,3	964 2,8	2599 2,9	2816 3,1	2240 5,6	2476 6,3



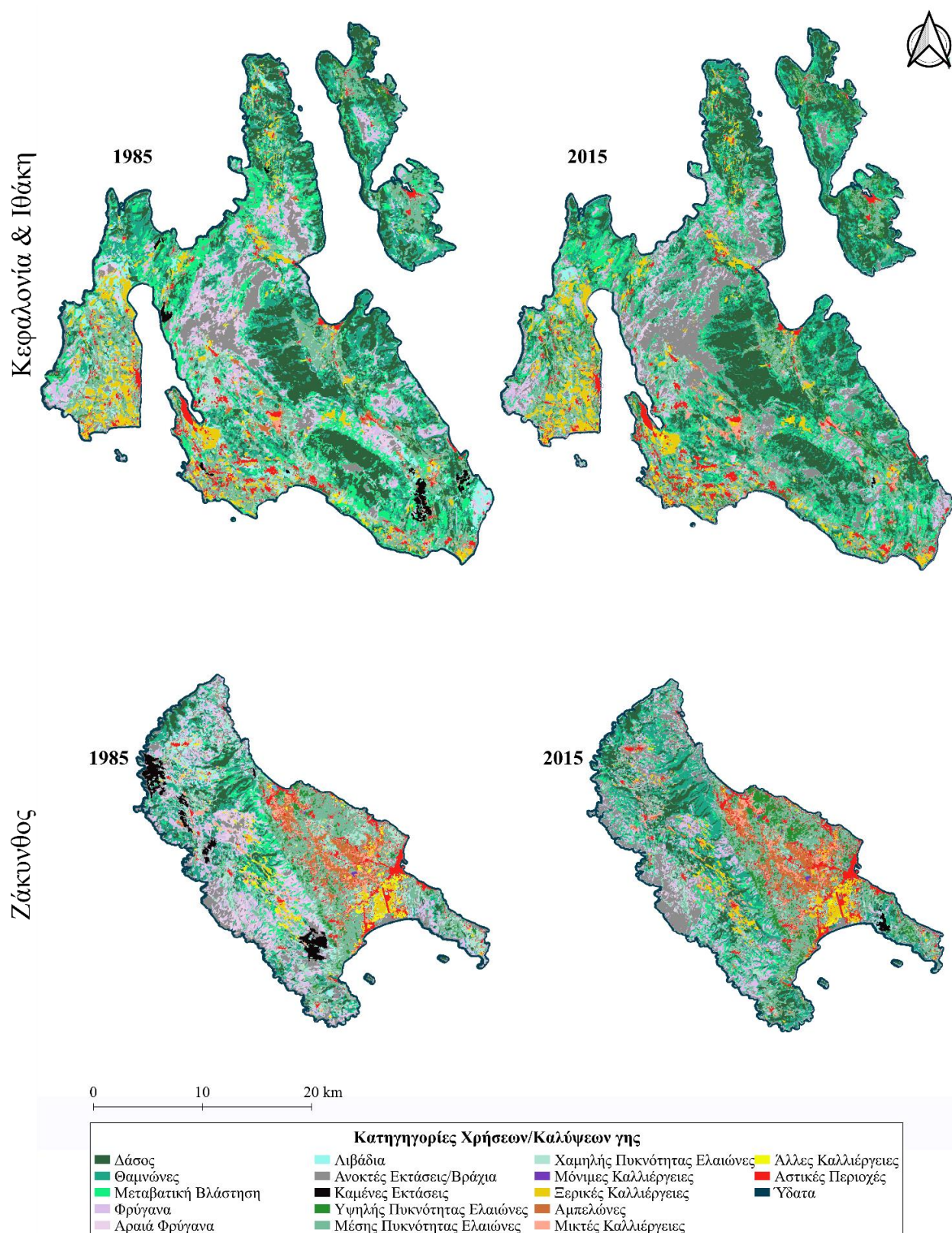
Εικόνα 3.5. Ποσοστά κατηγοριών χρήσεων καλύψεων γης στα Ιόνια Νησιά για τα έτη 1985 και 2015.

Οι περιοχές που καλύπτονται από αραιή βλάστηση (φρύγανα, αραιά φρύγανα και λιβάδια) είναι περιορισμένες στην Κέρκυρα καλύπτοντας το 5% με 8%, ενώ στις άλλες περιοχές καλύπτουν από 20% έως 10% κατά τη μελετώμενη περίοδο (Εικόνα 3.5 και Πίνακες 3.6). Χωρικά, στη Ζάκυνθο υπάρχει διαχωρισμός της αγροτικής και φυσικής ζώνης, καθώς οι καλλιέργειες εκτείνονται στο ανατολικό και πεδινό τμήμα του νησιού, ενώ η φυσική βλάστηση εκτείνεται στο δυτικό και ορεινό

τμήμα. Στα υπόλοιπα νησιά το τοπίο χαρακτηρίζεται από έντονη μωσαϊκότητα καθώς εμφανίζεται μίξη φυσικής βλάστησης και καλλιεργειών (Εικόνες 3.6 και 3.7)



Εικόνα 3.6. Χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης των Π.Ε. Κέρκυρας και Λευκάδας για τα έτη 1985 και 2015.

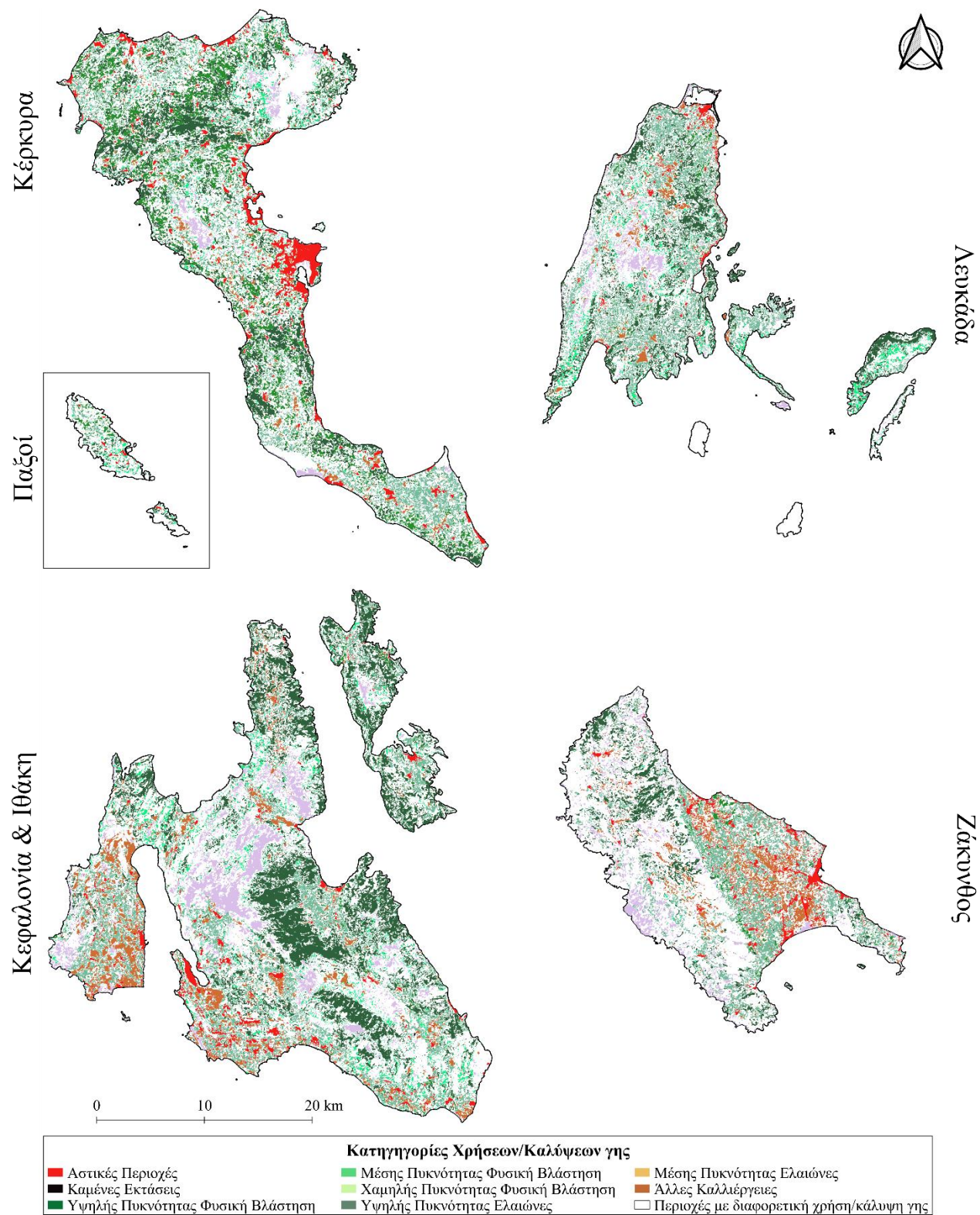


Εικόνα 3.7 Χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης των Π.Ε. Κεφαλονιάς και Ζακύνθου για τα έτη 1985 και 2015.

3.3.2 Μεταβολές χρήσεων/καλύψεων γης

Από την ανάλυση ανίχνευσης αλλαγών για την περίοδο 1985 – 2015 φάνηκε ότι η ένταση και η κατεύθυνση των μεταβολών είναι διαφορετική σε κάθε Π.Ε. ενώ το πρότυπο μεταβολής διαφοροποιείται και εντός κάθε Π.Ε (Πίνακες 3.7 – 3.10 και Εικόνα 3.8). Στην Κέρκυρα, το 33,4% της έκτασης άλλαξε κατηγορία κάλυψης γης κατά την περίοδο των 30 ετών, όπου σχεδόν το 25% της υψηλής πυκνότητας βλάστησης μεταβλήθηκε κυρίως σε μέσης και χαμηλής πυκνότητας βλάστηση. Αντίθετα, οι περιοχές με υψηλής πυκνότητας βλάστηση αυξήθηκαν κατά 3,3% (ή περίπου 2.000 ha) είτε λόγω της πυκνώσης της μέσης και χαμηλής πυκνότητας βλάστησης, είτε από τη φυσική αναγέννηση καμένων περιοχών. Μία αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι η υψηλή ανθεκτικότητα των πιο υποβαθμισμένων τύπων οικοσυστημάτων (δηλ. χαμηλής πυκνότητας βλάστηση και ανοικτών εκτάσεων) όπου κατά την περίοδο μελέτης αυξήθηκαν, κυρίως λόγω της υποβάθμιση των περιοχών που χαρακτηρίζονταν με μέσης πυκνότητας βλάστηση. Παρόλα αυτά, η συνολική έκταση των περιοχών που καλύπτονται από χαμηλής πυκνότητας βλάστηση στην Κέρκυρα είναι μικρότερη σε σχέση με τις άλλες τρεις Περιφερειακές Ενότητες. Η κατηγορία της μέσης πυκνότητας βλάστηση παρουσίασε τις εντονότερες μεταβολές, καθώς κατά την περίοδο 30 χρόνων μόνο το 30% παρέμεινε σταθερό, ενώ το υπόλοιπο μετατράπηκε - σχεδόν ισόποσα - είτε σε υψηλής είτε σε χαμηλής πυκνότητας βλάστηση. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι μεταβολές που έγιναν μεταξύ των δύο κατηγοριών πυκνώσης των ελαιώνων, όπου οι μέσης πυκνότητας ελαιώνες αυξήθηκαν. Τέλος, οι αστικές περιοχές αυξήθηκαν μόνο κατά 0,45%.

Στην Π.Ε. Λευκάδας το κύριο χαρακτηριστικό είναι η ανθεκτικότητα της υψηλής πυκνότητας βλάστησης καθώς το 80% των εκτάσεων παρέμεινε σταθερό. Επιπλέον, αυτός ο τύπος βλάστησης αυξήθηκε κατά τη διάρκεια των ετών κατά 1,2% λόγω μεταβολής των εκτάσεων που καλύπτονταν από χαμηλής και μέσης πυκνότητας βλάστηση. Όπως και στην περίπτωση της Κέρκυρας, έτσι και στη Λευκάδα ο τύπος κάλυψης με τη μεγαλύτερη δυναμική είναι η μέσης πυκνότητας βλάστηση καθώς διατηρείται μόνο το 43% των αρχικών εκτάσεων, ενώ το 35% και 20% μεταβλήθηκε σε υψηλής και χαμηλής πυκνότητας βλάστηση, αντίστοιχα. Συνολικά, η χαμηλής πυκνότητας βλάστηση μειώθηκε κατά τη μελετώμενη περίοδο, δείχνοντας με αυτό τον τρόπο τη σταδιακή διαδικασία ανάκαμψης της βλάστησης. Όσον αφορά την αγροτική ζώνη, αντίθετα με την Κέρκυρα, οι ελαιώνες μέσης πυκνότητας μειώθηκαν με συνεπακόλουθη αύξηση των περιοχών που καλύπτονται από μικτά οικοσυστήματα πυκνών ελαιώνων με στοιχεία φυσικής δασικής βλάστησης. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι το 1985 οι περιοχές που καλύπτονταν από υψηλής πυκνότητας ελαιώνες καταλάμβαναν ένα μικρό τμήμα της Λευκάδας.



Εικόνα 3.8. Χάρτης όπου παρουσιάζονται οι περιοχές που διατήρησαν τη χρήση/κάλυψη γης την περίοδο 1985 – 2015.

Η Π.Ε. Κεφαλονιάς είναι ακόμα μία περίπτωση, της οποίας οι περιοχές που καλύπτονταν από υψηλής πυκνότητας βλάστηση έδειξαν υψηλή αντοχή, καθώς από το 1985 αύξησαν την έκτασή τους, καταλαμβάνοντας το 2015 πάνω από το 36% της συνολικής έκτασης της Π.Ε. Ομοίως με τις άλλες Π.Ε., η κατηγορία της μέσης πυκνότητας βλάστησης της Κεφαλονιάς είχε τις εντονότερες αλλαγές με ίσες μεταβολές προς τις κατηγορίες της υψηλής και χαμηλής πυκνότητας βλάστησης. Όμως, η μεγάλη έκταση σε συνδυασμό με την αυξητική τάση που παρατηρείται στην κατηγορία της χαμηλής πυκνότητας βλάστηση, δείχνει τις συνεχιζόμενες πιέσεις που συμβαίνουν σε εκείνες τις περιοχές. Το πρότυπο μεταβολής της αγροτική ζώνης και των αστικών περιοχών είναι όμοιο με αυτό της Λευκάδας, καθώς παρατηρείται μία αυξητική τάση των εκτάσεων υψηλής πυκνότητας ελαιώνων και μία οριακή αύξηση των δομημένων περιοχών.

Σημαντικές ιδιαιτερότητες παρουσιάζουν οι μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης στην Π.Ε. Ζακύνθου. Συγκεκριμένα, με υψηλής πυκνότητας βλάστηση το 1985 καλυπτόταν μόνο το 16,6% του νησιού, που είναι και το μικρότερο ποσοστό σε σχέση με τις άλλες Π.Ε., ενώ οι ίδιες περιοχές έδειξαν και τη μικρότερη ανθεκτικότητα, καθώς κατά τη μελετώμενη περίοδο έχασαν σχεδόν το 30% της έκτασής τους, κυρίως προς τη χαμηλής πυκνότητας βλάστηση. Όμως, παρά την αρχικά μειωμένη έκταση των περιοχών αυτών και τις σημαντικές απώλειες, οι περιοχές που καλύπτονται από υψηλής πυκνότητας βλάστηση αυξήθηκαν κατά 9,3%, καταλαμβάνοντας συνολικά το 26% του νησιού για το 2015. Η χαμηλής πυκνότητας βλάστηση, που καταλάμβανε τη μεγαλύτερη έκταση της ζώνης φυσικής βλάστησης για το 1985, παρά τις σημαντικές απώλειες που παρουσίασε κατά τη διάρκεια των 30 ετών παρέμεινε υψηλή. Αυτό το μοτίβο δείχνει ότι αν και η διαδικασία ανάκαμψης της βλάστηση είναι ισχυρή και στη Ζάκυνθο, την ίδια στιγμή οι έντονες πιέσεις που ασκούνται στην περιοχή λειτουργούν ανασταλτικά. Στους ελαιώνες υψηλής πυκνότητας και στις δομημένες περιοχές, όπως και στις περιπτώσεις της Λευκάδας και της Κεφαλονιάς, παρατηρήθηκαν επίσης μικρές αυξήσεις των εκτάσεων.

Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι αν και φαίνεται να είναι μικρή η συνεισφορά των καμένες εκτάσεων στη σύνθεση του τοπίου των Ιονίων Νήσων στις δύο χρονικές στιγμές, αυτό δεν σημαίνει ότι ο ρόλος της φωτιάς είναι ασήμαντος στη διαμόρφωση των Μεσογειακών τοπίων. Η προσέγγιση που αναπτύχθηκε επιτρέπει την αναγνώριση των καμένων εκτάσεων σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά το συμβάν. Για το λόγο αυτό οι καμένες περιοχές εμφανίζονται σαν ανοικτές εκτάσεις. Έτσι ο ρόλος της φωτιάς δεν θα πρέπει να υποεκτιμάται, όπως θα συζητηθεί στη συνέχεια.

Πίνακας 3.7. Πίνακας μεταβολών καλύψεων/χρήσεων γης για την Π.Ε. Κέρκυρας.

Αρχική Κατάσταση 1985 (ha & %)									
Υψηλής Ποκνότητας Βλάστηση	Μέσης Ποκνότητας Βλάστηση	Χαμηλής Ποκνότητας Βλάστηση	Μέσης Ποκνότητας Ελαιώνες	Υψηλής Ποκνότητας Ελαιώνες	Καμένες Εκτάσεις	Καλλιέργειες	Αστικές Περιοχές	Άθροισμα 2015 (ha & %)	Διαφορά (ha & %)
Υψηλής Ποκνότητας Βλάστηση	14028	1700	261	75	222	176	10	16501	-2008
Μέσης Ποκνότητας Βλάστηση	75,79	30,59	6,92	0,66	1,54	10,40	0,61	27,26	-3,32
Υψηλής Ποκνότητας Βλάστηση	3086	1946	564	86	66	259	12	6059	502
Χαμηλής Ποκνότητας Βλάστηση	16,67	35,02	14,96	0,76	0,46	15,31	0,73	10,08	0,9
Υψηλής Ποκνότητας Βλάστηση	936	1739	2830	75	19	1170	19	6828	3059
Μέσης Ποκνότητας Βλάστηση	5,06	31,29	75,09	0,66	0,13	69,15	1,16	11,28	4,99
Υψηλής Ποκνότητας Ελαιώνες	216	105	40	9622	7082	48	100	17237	5871
Υψηλής Ποκνότητας Ελαιώνες	1,17	1,89	1,06	84,66	49,13	2,84	6,12	28,48	9,7
Υψηλής Ποκνότητας Ελαιώνες	181	14	2	1315	6973	19	14	8520	-5896
Καμένες Εκτάσεις	0	0	0	0	0	0	0	0	-9,74
Καλλιέργειες	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	-1692
Καλλιέργειες	18	16	7	17	6	8	1450	1525	-2,79
Αστικές Περιοχές	0,10	0,29	0,19	0,15	0,04	0,47	88,74	2,52	-109
Αστικές Περιοχές	44	37	65	176	48	12	29	3817	-0,18
Άθροισμα 2015 (ha & %)	0,24	0,67	1,72	1,55	0,33	0,71	1,77	6,31	273
Άθροισμα 2015 (ha & %)	18509	5557	3769	11366	14416	1692	1634	3544	0,45
Άθροισμα 2015 (ha & %)	30,58	9,18	6,29	18,78	23,82	2,79	2,70	5,86	

Τελική Κατάσταση 2015 (ha & %)

Πίνακας 3.8. Πίνακας μεταβολών καλύψεων/γήσεων γης για την Π.Ε. Λευκάδας.

Αρχική Κατάσταση 1985 (ha & %)									
Υψηλής Ποκνότητας Βλάστηση	Μέσης Ποκνότητας Βλάστηση	Χαμηλής Ποκνότητας Βλάστηση	Μέσης Ποκνότητας Ελαιώνας	Υψηλής Ποκνότητας Ελαιώνας	Καμένες Εκτάσεις	Καλλιέργειες	Αστικές Περιοχές	Άθροισμα 2015 (ha & %)	Διαφορά (ha & %)
Υψηλής Ποκνότητας Βλάστηση	1511	787	246	36	22	16	11931	350	
Μέσης Ποκνότητας Βλάστηση	35,15	12,99	2,47	3,61	1,79	2,02	34,17	1,20	
Υψηλής Ποκνότητας Βλάστηση	1866	1295	70	1	19	9	4751	452	
Μέσης Ποκνότητας Βλάστηση	43,41	21,37	0,70	0,10	1,55	1,13	13,61	1,29	
Χαμηλής Ποκνότητας Βλάστηση	835	3816	59	1	33	21	5209	-850	
Μέσης Ποκνότητας Βλάστηση	19,42	62,98	0,59	0,10	2,69	2,65	14,93	-2,42	
Υψηλής Ποκνότητας Ελαιώνας	54	83	7826	408	19	100	8670	-1290	
Μέσης Ποκνότητας Ελαιώνας	1,26	1,37	78,57	40,96	1,55	12,61	24,83	-3,7	
Υψηλής Ποκνότητας Ελαιώνας	4	5	1490	534	3	10	2133	1137	
Καμένες Εκτάσεις	0,09	0,08	14,96	53,61	0,24	1,26	6,11	3,26	
Καλλιέργειες	18	35	56	2	1110	13	1256	30	
Αστικές Περιοχές	0,42	0,58	0,56	0,20	90,54	1,64	3,59	0,08	
Άθροισμα 2015 (ha & %)	4299	6059	9960	996	1226	793	2,76	0,49	
Διαφορά	11581	6059	9960	996	1226	793	2,76	0,49	
Διαφορά	32,97	17,35	28,53	2,85	3,51	2,27	6,11	3,26	

Τελική Κατάσταση 2015 (ha & %)

Πίνακας 3.9. Πίνακας μεταβολών καλύψεων/χρήσεων γης για την Π.Ε. Κεφαλονιάς.

Αρχική Κατάσταση 1985 (ha & %)											
	Υψηλής Ποκνότητας Βλάστηση	Μέσης Ποκνότητας Βλάστηση	Χαμηλής Ποκνότητας Βλάστηση	Μέσης Ποκνότητας Ελαιώνες	Υψηλής Ποκνότητας Ελαιώνες	Καμένες Εκτάσεις	Καλλιέργειες	Αστικές Περιοχές	Άθροισμα 2015 (ha & %)	Διαφορά (ha & %)	
Υψηλής Ποκνότητας Βλάστηση	25434 83,38	3871 34,27	1816 9,76	373 2,32	85 6,92	147 21,52	140 2,24	27 1,04	31893 36,63	1390 1,63	
Μέσης Ποκνότητας Βλάστηση	3279 10,75	3535 31,30	3301 17,74	170 1,06	9 0,73	176 25,77	87 1,39	23 0,89	10580 12,15	-714 -0,75	
Χαμηλής Ποκνότητας Βλάστηση	1499 4,91	3681 32,59	13154 70,71	237 1,47	7 0,57	257 37,63	150 2,40	16 0,62	19001 21,86	397 0,57	
Μέσης Ποκνότητας Ελαιώνες	109 0,36	76 0,67	101 0,54	11980 74,49	372 30,29	57 8,35	147 2,35	261 10,08	13103 15,05	-2979 -3,42	
Υψηλής Ποκνότητας Ελαιώνες	109 0,36	76 0,67	88 0,47	2686 16,70	733 59,69	57 8,35	147 2,35	261 10,08	3768 4,13	2540 2,72	
Καμένες Εκτάσεις	3 0,01	1 0,01	9 0,05	1 0,01	0 0,00	4 0,59	0 0,00	29 1,12	47 0,02	-636 -0,77	
Καλλιέργειες	49 0,16	30 0,27	83 0,45	408 2,54	16 1,30	20 2,93	5640 90,27	69 2,66	6315 7,25	67 0,07	
Αστικές Περιοχές	21 0,07	24 0,21	52 0,28	227 1,41	6 0,49	1 0,15	67 1,07	2127 82,12	2816 3,14	226 0,16	
Άθροισμα 2015 (ha & %)	30503 35	11294 12,9	18604 21,29	16082 18,47	1228 1,41	683 0,79	6248 7,18	2590 2,98			

Τελική Κατάσταση 2015 (ha & %)

Πίνακας 3.10. Πίνακας μεταβολών καλύψεων/χρήσεων γης για την Π.Ε. Ζακύνθου.

Αρχική Κατάσταση 1985 (ha & %)										
	Υψηλής Ποκνότητας Βλάστηση	Μέσης Ποκνότητας Βλάστηση	Χαμηλής Ποκνότητας Βλάστηση	Μέσης Ποκνότητας Ελαιώνες	Υψηλής Ποκνότητας Ελαιώνες	Καμένες Εκτάσεις	Καλλιέργειες	Αστικές Περιοχές	Άθροισμα 2015 (ha & %)	Διαφορά (ha & %)
Υψηλής Ποκνότητας Βλάστηση	25434 83,38	3871 34,27	1816 9,76	373 2,32	85 6,92	147 21,52	140 2,24	27 1,04	31893 36,63	1390 1,63
Μέσης Ποκνότητας Βλάστηση	3279 10,75	3535 31,30	3301 17,74	170 1,06	9 0,73	176 25,77	87 1,39	23 0,89	10580 12,15	-714 -0,75
Χαμηλής Ποκνότητας Βλάστηση	1499 4,91	3681 32,59	13154 70,71	237 1,47	7 0,57	257 37,63	150 2,40	16 0,62	19001 21,86	397 0,57
Μέσης Ποκνότητας Ελαιώνες	109 0,36	76 0,67	101 0,54	11980 74,49	372 30,29	57 8,35	147 2,35	261 10,08	13103 15,05	-2979 -3,42
Υψηλής Ποκνότητας Ελαιώνες	109 0,36	76 0,67	88 0,47	2686 16,70	733 59,69	57 8,35	147 2,35	261 10,08	3768 4,13	2540 2,72
Καμένες Εκτάσεις	3 0,01	1 0,01	9 0,05	1 0,01	0 0,00	4 0,59	0 0,00	29 1,12	47 0,02	-636 -0,77
Καλλιέργειες	49 0,16	30 0,27	83 0,45	408 2,54	16 1,30	20 2,93	5640 90,27	69 2,66	6315 7,25	67 0,07
Αστικές Περιοχές	21 0,07	24 0,21	52 0,28	227 1,41	6 0,49	1 0,15	67 1,07	2127 82,12	2816 3,14	226 0,16
Άθροισμα 2015 (ha & %)	30503 35	11294 12,9	18604 21,29	16082 18,47	1228 1,41	683 0,79	6248 7,18	2590 2,98		

Τελική Κατάσταση 2015 (ha & %)

3.4 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Η χρήση της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης σε συνδυασμό με τη χρήση μέσης ανάλυσης δορυφορικών εικόνων παρέχει ένα χρήσιμο και ακριβές εργαλείο για τη χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης στο Μεσογειακό τοπίο, όπως φάνηκε και από την υψηλή θεματική και χωρική ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Το Μεσογειακό τοπίο χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό μωσαϊκότητας, και όπως προτείνεται από τους Galidaki & Gitas (2014), η OBIA προσφέρει ακριβέστερα αποτελέσματα απ' ό,τι η ανάλυση με βάση το εικονοστοιχείο, σε περιπτώσεις όπου σκοπός της έρευνας είναι η χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης. Όπως έχει τεθεί από τους Anderson et al. (1976) και Thomlinson et al. (1999), το ελάχιστο όριο για την εφαρμογή μετα-ταξινομικών τεχνικών ανίχνευσης αλλαγών πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 85%, το οποίο επιτεύχθηκε σε όλες τις περιπτώσεις μελέτης. Το σχήμα και ο αλγόριθμος ταξινόμησης που αναπτύχθηκε, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο συστηματικής παρακολούθησης των μεταβολών κάλυψης/χρήσης γης, καθώς στηρίχθηκε αποκλειστικά σε κανόνες ορίων που εφαρμόζονται σε δείκτες βλάστησης που παρήχθησαν από δορυφορικές εικόνες που διατίθενται δωρεάν (*Landsat*). Οι κανόνες που δημιουργήθηκαν ήταν άμεσα εφαρμόσιμοι – ή με μικρές αλλαγές των ορίων – σε όλα τα νησιά για τη μελέτη της δυναμικής μεταβολής της κάλυψής τους και επομένως, μπορούν να εφαρμοστούν και σε άλλες περιοχές με όμοια χαρακτηριστικά οικοσυστημάτων. Επιπλέον, η εκτόξευση του δορυφόρου *Sentinel 2* από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (Drusch et al., 2012) - κάτω από την ομπρέλα του προγράμματος *Copernicus* - ανοίγει ένα πεδίο εφαρμογής της μεθόδου σε εικόνες καλύτερης φασματικής και χωρικής ανάλυσης. Συγκεκριμένα ο δορυφόρος *Sentinel 2* παρέχει πολυφασματικές εικόνες με χωρική ανάλυση έως 10 m στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δίνοντας την ευκαιρία για ακριβέστερα (θεματικά και χωρικά) αποτελέσματα, όταν αναλύονται με αντικειμενοστραφή λογική.

Τα νησιά και νησιωτικά συμπλέγματα που βρίσκονται στη βόρειο-ανατολική Μεσόγειο αποτελούνται από ετερογενή και δυναμικά τοπία τα οποία μεταβάλλονται κυρίως λόγω φυσικών παραγόντων και διαδικασιών, καθώς και της μακρόχρονης παρουσίας του ανθρώπου (Blondel, 2008; Médail, 2017). Η ξύλευση για ενέργεια και κατασκευές, η κτηνοτροφία, η καλλιέργεια και οι πυρκαγιές, οι οποίες επηρεάζονται επίσης από την τοπογραφία και την γεωγραφική απομόνωση, είναι οι κύριες κινητήριες δυνάμεις σχηματισμού αυτών των τοπίων. Αν και στο παρόν κεφάλαιο η περίοδος μελέτης ήταν τριάντα χρόνια από το 1985, στα περισσότερα Μεσογειακά νησιά συνέβησαν σημαντικές κοινωνικοοικονομικές αλλαγές από τα μέσα του 20ου αιώνα, συμπεριλαμβανομένων της μετακίνησης του πληθυσμού και της εγκατάλειψης των γαιών, οι οποίες είχαν ως αποτέλεσμα

αξιοσημείωτες μεταβολές στη σύσταση και δομή του τοπίου (Blondel et al., 2010; Petanidou et al., 2008). Από την άλλη πλευρά η αύξηση του τουρισμού, από το 1970 και μετά, μετέβαλε ξανά τις οικονομικές συνθήκες και δραστηριότητες των κατοίκων, δημιουργώντας ένα πολύπλοκο μοτίβο μεταβολής του τοπίου με σημαντικές επιπτώσεις στην κατάσταση των Μεσογειακών οικοσυστημάτων (Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011). Στο παρόν κεφάλαιο, παρατηρήθηκαν μεγάλες μεταβολές εντός και μεταξύ των νησιών όσον αφορά τις αλλαγές των χρήσεων/καλύψεων γης, οι οποίες δείχνουν ότι δεν υπάρχει κάποιος μοναδικός παράγοντας που να οδηγεί τις μεταβολές προς μία κατεύθυνση. Αντίθετα, διάφοροι κοινωνικοοικονομικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες δρουν με διαφορετικούς τρόπους και εντάσεις, προκαλώντας διαφορετικές αλλαγές μεταξύ και εντός των νησιών, όπως θα συζητηθεί και παρακάτω.

Η Κέρκυρα είναι το πιο πυκνοκατοικημένο νησί των Ιονίων και την ίδια στιγμή αυτό με την υψηλότερη τουριστική ανάπτυξη, χαρακτηρίζοντάς την ως *hot-spot* τουριστικό προορισμό. Η περίοδος 1941 με 1971 χαρακτηρίστηκε από μεγάλη μείωση του πληθυσμού της, ο οποίος επανέρχεται σταδιακά από τα μέσα του '70 (Πίνακας 3.11). Η αύξηση του τουρισμού, από τα μέσα της δεκαετίας του '70, είναι ένας από τους λόγους της ανάκαμψης του πληθυσμού, καθώς όπως καταγράφεται υπάρχει μία συνεχόμενη αυξητική τάση των διαθέσιμων κλινών (Πίνακας 3.12). Με βάση τα παραπάνω, αναμενόμενη θα ήταν μία έντονη αύξηση των αστικών περιοχών, όπως παρατηρείται σε άλλα μεσογειακά νησιά και παράκτιες περιοχές (Detsis et al., 2010; Geri et al., 2010; Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011), η οποία όμως είναι ελάχιστη, πιθανώς λόγω της βελτίωσης των καταλυμάτων εντός της υφιστάμενης αστικής ζώνης, και όχι μέσω της επέκτασής τους σε αγροτικές περιοχές και σε περιοχές που καταλαμβάνονται από φυσική βλάστηση.

Πίνακας 3.11. Πληθυσμιακή πυκνότητα κατά την περίοδο 1941 – 2011. (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ.).

Περιφερειακή Ενότητα	Πληθυσμιακή Πυκνότητα							
	1941	1951	1961	1971	1981	1991	2001	2011
Κέρκυρα	184,42	174,23	168,25	153,64	164,70	177,88	185,12	174,07
Λευκάδα	51,36	50,39	47,91	40,64	35,88	34,90	37,21	38,05
Κεφαλονιά	110,51	90,34	76,57	60,74	51,50	53,69	65,28	62,65
Ζάκυνθος	68,06	62,93	58,71	49,91	49,37	53,82	64,50	67,38

Πίνακας 3.12. Πυκνότητα κλινών κατά την περίοδο 1996 – 2015. (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., και Ξ.Ε.Ε.).

Πυκνότητα Κλινών (No κλινών/km ²)			
Περιφερειακή Ενότητα	1996	2015	% διαφορά
Κέρκυρα	59,05	74,43	+26%
Λευκάδα	4,80	9,13	+90%
Κεφαλονιά	9,68	17,44	+80%
Ζάκυνθος	28,33	50,36	+78%

Κατά την περίοδο μελέτης, η πυκνότητα των κτηνοτροφικών ζώων μειώθηκε κατά 35% (Πίνακας 3.13), παραμένοντας ωστόσο η υψηλότερη σε σχέση με τα υπόλοιπα νησιά. Η μείωση αυτή αναμένονταν να επιφέρει σημαντικές μεταβολές από τη βλάστηση μέσης και χαμηλής πυκνότητας σε βλάστηση υψηλής πυκνότητας. Ωστόσο, η μεταβολή αυτή είναι αμοιβαία – καθώς εκτάσεις που χαρακτηρίστηκαν από πυκνή βλάστηση το 1985, το 2015 χαρακτηρίστηκαν από χαμηλή και μέση πυκνότητας βλάστηση – γεγονός που οδήγησε στη μείωση της υψηλής πυκνότητας βλάστησης. Πιθανό αίτιο της μεταβολής είναι οι φωτιές, καθώς κατά τη μελετώμενη περίοδο κάηκαν 13.359 ha, τα οποία αντιστοιχούν στο 22,1% της συνολικής έκτασης του νησιού (Πίνακας 3.14). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η πλειονότητα των πυρκαγιών συνέβησαν στο ίδιο σημείο, στο ημιορεινό βόρειο τμήμα της Κέρκυρας (Εικόνα 3.9), επηρεάζοντας σημαντικά 5.258 ha ή το 8,64% της έκτασης της Π.Ε. Όπως σημειώνουν οι Blondel et al. (2010) το φαινόμενο των επαναλαμβανόμενων πυρκαγιών σε ένα σημείο συνήθως παρατηρείται σε περιοχές με έντονη κτηνοτροφία για τη βελτίωση των συνθηκών βόσκησης. Συνεπώς, φαίνεται ότι η μείωση της κτηνοτροφίας στο νησί επέτρεψε σε ένα σημαντικό ποσοστό των εκτάσεων που καταλαμβάνονταν από χαμηλή και μέση πυκνότητας βλάστηση να εξελιχθεί. Όμως, η εναπομένουσα κτηνοτροφική δραστηριότητα – που συμβαίνει κυρίως σε μη τουριστικές περιοχές – δεν επέτρεψε μέρος της μέσης πυκνότητας βλάστησης να μεταβληθεί σε υψηλής πυκνότητας βλάστηση, ενώ σε άλλες περιπτώσεις μείωσε/υποβάθμισε περαιτέρω το συγκεκριμένο τύπο βλάστησης. Οι υψηλής πυκνότητας ελαιώνες ήταν σχεδόν στο 24% της έκτασης της Κέρκυρας το 1985, το οποίο είναι αποτέλεσμα της προγενέστερης μείωσης του πληθυσμού και της συνεπακόλουθης εγκατάλειψης. Ωστόσο, κατά τη μελετώμενη περίοδο – πιθανόν και πριν από αυτή – η ανάκαμψη του πληθυσμού και η αύξηση της τουριστικής δραστηριότητας είχε ως αποτέλεσμα ένα μέρος των εγκαταλελειμμένων ελαιώνων να καλλιεργηθούν ξανά. Δεδομένου ότι μέσω της εγκατάλειψης των γαιών, χάνονται σημαντικά πολιτισμικά στοιχεία των μεσογειακών τοπίων, όπως χαρακτηριστικά συμβαίνει στα νησιά του Αιγαίου (Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011), το παράδειγμα της Κέρκυρας δείχνει τον επιτυχημένο συνδυασμό της τουριστικής ανάπτυξης με την παραγωγή τοπικών προϊόντων όπως είναι το λάδι, οι επιτραπέζιες ελιές κλπ.

Πίνακας 3.13. Πυκνότητα κτηνοτροφικών ζώων κατά την περίοδο 1981 – 2011. (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ.).

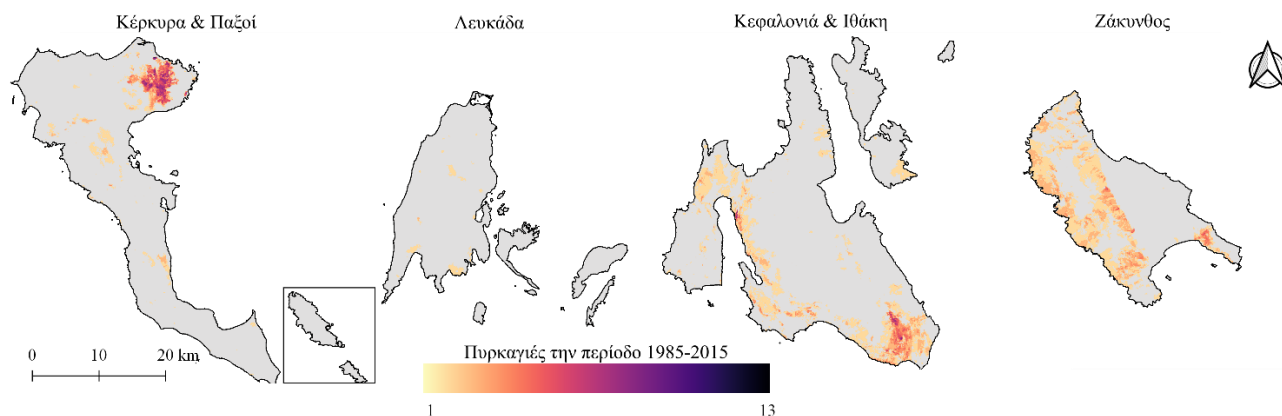
Πυκνότητα κτηνοτροφικών ζώων (Νο ζώων/km ²)			
Περιφερειακή Ενότητα	1981	2011	% διαφορά
Κέρκυρα	603,51	393,37	-35%
Λευκάδα	176,12	129,72	-26%
Κεφαλονιά	344,76	358,32	+4%
Ζάκυνθος	260,62	262,26	+1%

Πίνακας 3.14. Καμένες Εκτάσεις (ha) κατά την περίοδο 1985 – 2015.
(Πηγή: Τμ. Περιβάλλοντος, Ιόνιο Πανεπιστήμιο).

Χρονιά	Κέρκυρα	Λευκάδα	Κεφαλονιά	Ζάκυνθος	Χρονιά	Κέρκυρα	Λευκάδα	Κεφαλονιά	Ζάκυνθος
1985	1253	--	1065	2139	2000	954	--	680	100
1986	332	--	1137	664	2001	60	--	56	188
1987	1204	--	1572	254	2002	8	--	30	64
1988	2982	40	5297	124	2003	42	--	109	64
1989	126	--	351	333	2004	--	2	228	150
1990	378	259	289	1618	2005	143	--	137	296
1991	19	--	242	--	2006	0	--	260	933
1992	702	45	1569	2146	2007	129	--	2214	1095
1993	321	39	51	40	2008	14	18	156	908
1994	1171	10	400	96	2009	3	--	52	2128
1995	--	--	478	202	2010	149	167	223	232
1996	1393	135	121	63	2011	1027	--	245	2003
1997	704	26	597	412	2012	--	--	166	1053
1998	--	--	1803	1312	2013	--	--	124	29
1999	233	--	12	56	2014	--	--	46	31
					2015	12	--	38	125

Η Λευκάδα και η Κεφαλονιά είναι τα δύο νησιά με το εντονότερο ανάγλυφο και το υψηλότερο ποσοστό ημιορεινών περιοχών (με υψόμετρο πάνω από 500m) το οποίο και στις δύο περιπτώσεις είναι πάνω από 20%. Αυτό εξηγεί και το γεγονός του υψηλότερου ποσοστού υψηλής πυκνότητας βλάστησης, το οποίο είναι περίπου 34%, με μικρή τάση αύξησης. Η Λευκάδα έχει τη μικρότερη πληθυσμιακή πυκνότητα, πυκνότητα κλινών, και πυκνότητα κτηνοτροφικών ζώων – η οποία κατά τη διάρκεια των ετών μειώθηκε κατά 26% - σε σχέση με τα υπόλοιπα νησιά (Πίνακες 3.11 - 3.13). Την ίδια στιγμή, τα φαινόμενα πυρκαγιάς είναι ελάχιστα αφού κατά την περίοδο μελέτης έχει καεί μόνο το 2,1% της συνολικής έκτασης του νησιού (Πίνακας 3.14 και Εικόνα 3.9), πιθανόν λόγω της περιβαλλοντικής ευαισθησίας και ενημέρωσης των κατοίκων για την αποφυγή δασικών πυρκαγιών. Επιπλέον, η υψηλή διασπορά των κατοικιών σε όλη την έκταση του νησιού, όπως επίσης και ο υψηλός βαθμός μίξης ελαιώνων και δασών ίσως είναι ακόμα μία εξήγηση για τη μειωμένη εμφάνιση

πυρκαγιών στη Λευκάδα. Όλα τα παραπάνω είναι οι βασικοί λόγοι που διαφοροποιούν την Κεφαλονιά από τη Λευκάδα. Ιδιαίτερα, του γεγονότος ότι κατά τη διάρκεια των ετών οι εκτάσεις στην Κεφαλονιά που καταλαμβάνονται από χαμηλής πυκνότητας βλάστηση διατήρησαν τα υψηλά ποσοστά τους, ενώ στη Λευκάδα αυτός ο τύπος βλάστησης εμφάνισε μία τάση μείωσης. Τέλος, στην Κεφαλονιά, οι πυρκαγιές επηρέασαν το 15,5% των εκτάσεων του νησιού κατά τη μελετώμενη περίοδο, με τις περιοχές εκείνες να παρουσιάζουν υψηλή δυναμική (Εικόνες 3.8 και 3.9).



Εικόνα 3.9. Χάρτης συχνότητας εμφάνισης πυρκαγιών. (Πηγή: Τμήμα Περιβάλλοντος, Ιόνιο Πανεπιστήμιο).

Η Ζάκυνθος είναι το νησί με τις εντονότερες μεταβολές χρήσεων/καλύψεων γης. Συγκεκριμένα, ενώ το 1985 είχε τη μικρότερη παρουσία υψηλής πυκνότητας βλάστηση σε σχέση με τα άλλα νησιά, κατά τη διάρκεια των ετών αυξήθηκε κατά 9,3%, φθάνοντας το 2015, η συγκεκριμένη κατηγορία να έχει παρόμοια ποσοστά κάλυψης με αυτά της Κέρκυρας, με την οποία έχουν παρόμοια τοπογραφικά χαρακτηριστικά (εκτάσεις με υψόμετρο κάτω από 500 m είναι περίπου το 90% των εκτάσεων των νησιών). Οι περιοχές στις οποίες συμβαίνουν κυρίως οι μεταβολές στην κάλυψη, βρίσκονται στο δυτικό τμήμα του νησιού (Εικόνα 3.8), το οποίο είναι λιγότερο αναπτυγμένο και με συχνή εμφάνιση πυρκαγιών (Εικόνα 3.9). Οι πυρκαγιές εμφανίζονται στη Ζάκυνθο σε μεγαλύτερο βαθμό από κάθε άλλο νησί, έχοντας κάψει το 33% της συνολικής της έκτασης, με τις περισσότερες να συμβαίνουν στις ίδιες τοποθεσίες. Παρά την υψηλή συχνότητα πυρκαγιών και τη διατήρηση της κτηνοτροφικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια των ετών, η χαμηλής πυκνότητας βλάστηση μειώθηκε σημαντικά επιτρέποντάς την να επανακάμψει. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω του ότι οι πυρκαγιές συμβαίνουν κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές με μικρή ανθρώπινη παρουσία. Ως αποτέλεσμα, η επανάκαμψη μπορεί να οφείλεται κυρίως στη δυναμική φύση αυτού του τύπου βλάστησης όταν δεν επηρεάζεται από ανθρώπινες δραστηριότητες όπως είναι η βόσκηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΡΜΗΝΕΥΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ

Το παρόν κεφάλαιο έχει δημοσιευτεί ως: Kefalas, G., Kalogirou, S., Poirazidis, K., Lorilla, R.S. (2019). Landscape transition in Mediterranean islands: the case of Ionian Islands, Greece 1985 -2015. Landscape and Urban Planning, 191, 10364

4.1 Εισαγωγή

Όπως φάνηκε και από τα προηγούμενα κεφάλαια, οι αλλαγές των χρήσεων/καλύψεων γης θεωρούνται ως μία από τις σημαντικότερες μεταβολές που συμβαίνουν στην επιφάνεια της γης (Bajocco et al., 2016), καθώς επηρεάζουν την κατάσταση των οικοσυστημάτων και την παροχή σημαντικών υπηρεσιών (Lorilla et al., 2018; Metzger et al., 2006). Οι αλλαγές που παρατηρούνται στο Μεσογειακό τοπίο προκαλούνται κυρίως από τη μακροχρόνια αλληλεπίδραση μεταξύ των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (π.χ. ξύλευση, καλλιέργειες, κτηνοτροφία, τουρισμός, κλπ), των περιβαλλοντικών διεργασιών (π.χ. ξηρασία) ή/και φυσικών καταστροφών (π.χ. πυρκαγιές) (Bajocco et al., 2012; Geri et al., 2010; Kontoes et al., 2012; Vogiatzakis & Griffiths, 2008). Οι παρατηρούμενες μεταβολές στην κάλυψη γης, περιλαμβάνουν την εγκατάλειψη ή την εντατικοποίηση των αγροτικών περιοχών, την αστικοποίηση των πεδινών και παράκτιων περιοχών, και την υποβάθμιση ή τη φυσική αναγέννηση φυσικών οικοσυστημάτων (Estel et al., 2015; Geri et al., 2010; Kefalas et al., 2018; Parcerisas et al., 2012; Serra et al., 2008; Zomeni et al., 2008). Στα νησιά της Μεσογείου, οι σημαντικές κοινωνικοοικονομικές αλλαγές που έλαβαν χώρα κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, είχαν ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της σύνθεσης και της διάρθρωσης του τοπίου (Blondel et al., 2010; Petanidou et al., 2008). Επιπλέον, η πληθυσμιακή μείωση, η οποία ήταν έντονη στα μικρότερα νησιά (Rockham, 2008), οδήγησε σε εγκατάλειψη των ορεινών/ημιορεινών και αγροτικών περιοχών, ενώ η επανάκαμψη του πληθυσμού και η τουριστική ανάπτυξη αύξησε τις ανθρωπογενείς πιέσεις, μέσω της αστικοποίησης, στις παράκτιες περιοχές (Geri et al., 2010; Kefalas et al., 2018; Petanidou et al., 2008). Από την άλλη πλευρά, οι αγροτικές τεχνικές και πολιτικές - όπως η προγενέστερη Ευρωπαϊκή Κοινή Αγροτική Πολιτική, (ΚΑΠ) - με αποκλειστικό στόχο την αύξηση της παραγωγής, δεν έλαβαν υπόψη τα κοινωνικό-περιβαλλοντικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά των Μεσογειακών νησιών, με αποτέλεσμα να δημιουργήσουν δύο πρότυπα. Το πρώτο αναφέρεται κυρίως στα μεγαλύτερα νησιά, των οποίων οι αγροτικές εκτάσεις καλλιεργούνται εντονότερα, ενώ το δεύτερο αναφέρεται κυρίως σε μικρότερα νησιά, όπου η αγροτική παραγωγή μειώθηκε αισθητά (Petanidou et al., 2008; Vogiatzakis & Papayiannis, 2008; Zomeni, et al., 2008). Επιπλέον, η παρουσία ή απουσία φαινομένων πυρκαγιάς, οι βιοκλιματικοί παράγοντες, και οι ανθρωπογενείς πιέσεις καθορίζουν το βαθμό υποβάθμισης, την πιθανότητα/ικανότητα αναγέννησης ή την συνέχιση των σταδίων εξέλιξης ενός φυσικού οικοσυστήματος (Bajocco et al., 2012; Shao et al., 2006).

Η ένταση και κατεύθυνση μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης μπορεί να επιδράσει με ποικίλους τρόπους στο Μεσογειακό τοπίο, και επομένως η εύρεση των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής (*drivers* ή *driving forces*) κρίνεται αναγκαία (Kefalas et al., 2018), καθώς η γνώση αυτή είναι χρήσιμη

για την προώθηση και εφαρμογή στρατηγικών βιώσιμης διαχείρισης του τοπίου (Alvarez Martinez et al., 2011; Bajocco et al., 2016; Plieninger et al., 2016; Xofis & Poirazidis, 2018). Οι κινητήριες δυνάμεις μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες: α) τις άμεσες (*proximate drivers*), οι οποίες έχουν άμεση επίδραση στις χρήσεις/καλύψεις γης και β) τις βαθύτερες (*undrelaying drivers*), οι οποίες επηρεάζουν έμμεσα τις χρήσεις/καλύψεις γης (Plieninger et al., 2016). Ωστόσο, οι κινητήριες δυνάμεις καθορίζουν τη μεταβολή της κάλυψης γης μαζί με τους φορείς (*actors*), οι οποίοι (π.χ. οργανισμοί και ινστιτούτα) μπορούν είτε άμεσα, είτε έμμεσα (μέσω των κινητήριων δυνάμεων) να μεταβάλουν την κάλυψη της γης (Hersperger et al., 2010).

Για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ κινητήριων δυνάμεων και φορέων, υπάρχουν διάφορα εννοιολογικά μοντέλα, όπως το μοντέλο «Κινητήριες Δυνάμεις – Μεταβολή των Χρήσεων/Καλύψεων γης», που προτάθηκε από τους Hersperger et al. (2010), στο οποίο χρησιμοποιούνται τεχνικές ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων – όπως χάρτες χρήσεων/καλύψεων γης, απογραφικά, βιοκλιματικά και γεωλογικά δεδομένα, προερχόμενα από διάφορες πηγές (Buyantuyev & Wu, 2010; Liverman & Cuesta, 2008; Wellausen & Freitas, 2013). Μελέτες για την εύρεση του τρόπου με τον οποίο οι κινητήριες δυνάμεις επιδρούν στη μεταβολή του τοπίου, χρησιμοποιούν διάφορες στατιστικές προσεγγίσεις όπως τη Γραμμική και Λογιστική Παλινδρόμηση, Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, και την Ανάλυση Κανονιστικών Αντιστοιχιών (Alig & Healy, 1987; Feng et al., 2018; Hietel et al., 2007; Liverman & Cuesta, 2008; Schmitz et al., 2003; Uitamo, 1999). Ωστόσο, οι παραπάνω τεχνικές εφαρμόζονται για το σύνολο της περιοχής μελέτης, μη επιτρέποντας την εύρεση τυχόν χωρικών διαφοροποιήσεων εντός της μελετώμενης περιοχής. Αντίθετα, η Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (*Geographical Weighted Regression – GWR*), αποτελεί μια μέθοδο που αναπτύχθηκε για την εύρεση των γεωγραφικών αλληλεπιδράσεων βασιζόμενη σε τοπικά εστιασμένες σχέσεις εντός μίας περιοχής (Anselin, 2002; Charlton & Fotheringham, 2002; Wheeler & Calder, 2007). Έτσι η χρήση της είναι αυξανόμενη σε μελέτες που αποσκοπούν στην εύρεση της σχέσης μεταξύ κινητήριων δυνάμεων και μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης (Li et al., 2015; Maimaitijiang et al., 2015b; Wellausen & Freitas, 2013)

Πέραν των τεχνικών, διάφορες μελέτες εστιάζουν και σε διαφορετικούς πιθανούς συνδυασμούς κινητήριων δυνάμεων για την ερμηνεία των μεταβολών του τοπίου (Alvarez Martinez et al., 2011; Bajocco et al., 2016; Maimaitijiang et al., 2015). Έτσι, ένα βασικό ερώτημα είναι ποιες μεταβλητές είναι οι καταλληλότερες για κάθε μεταβολή (Parcerisas et al., 2012). Η επιλογή των καταλληλότερων

μεταβλητών είναι σε συνάρτηση με το ερευνητικό ερώτημα, τη χωρική κλίμακα έρευνας, και τη διάρκεια της μελετώμενης περιόδου. Για παράδειγμα, οι ανθρωπογενείς παράγοντες είναι περισσότερο συνδεδεμένοι με μεταβολές κάλυψης γης που συμβαίνουν σε μικρή χρονική κλίμακα, ενώ αντίθετα, οι βιοφυσικοί παράγοντες - που είναι σχετικά σταθεροί - είναι περισσότερο συνδεδεμένοι με μακροχρόνιες μεταβολές σε περιφερειακή κλίμακα (Shao et al., 2006).

Η χρήση στατιστικών μοντέλων, και ιδιαίτερα χωρικών μοντέλων παλινδρόμησης, για τη εύρεση των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής του τοπίου παραμένει περιορισμένη στη διεθνή βιβλιογραφία, καθώς η πλειονότητα των μελετών βασίζεται σε ποιοτικές ερμηνείες των αποτελεσμάτων (Pleninger et al., 2016). Στη Μεσόγειο, διάφορες μελέτες έχουν υλοποιηθεί στις ηπειρωτικές περιοχές (όπως: Bodesmo et al., 2012; Mottet et al., 2006; Peña et al., 2007; Regos et al., 2015; Serra et al., 2008), ενώ αντίθετα τα νησιά και τα νησιωτικά συμπλέγματα είναι λιγότερο μελετημένα (όπως: Aretano et al., 2013; Chust et al., 1999; Detsis et al., 2010; Sluis et al., 2014). ***Με βάση το παραπάνω πλαίσιο, στο κεφάλαιο αυτό εφαρμόζονται καινοτόμες τεχνικές χωρικής ανάλυσης - αφού πρώτα προσδιοριστεί και χαρακτηριστεί το μέγεθος και η κατεύθυνση των μεταβολών του τοπίου - για την ερμηνεία της μεταβολής του νησιωτικού Μεσογειακού τοπίου μέσω διαφόρων κοινωνικό-περιβαλλοντικών παραγόντων.***

4.2 Δεδομένα και μεθοδολογία

4.2.1 Δεδομένα

Στο παρόν κεφάλαιο χρησιμοποιούνται οι χάρτες χρήσεων/καλύψεων γης που παρήχθησαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 3), για τα έτη 1985 και 2015. Σημειώνεται ότι, μέσω της ταξινόμησης, η περιοχή μελέτης διαχωρίστηκε σε δεκαεννιά κατηγορίες χρήσεων/καλύψεων γης με θεματική και χωρική ακρίβεια πάνω από 85% (Πίνακας 3.3 και 3.5). Για το παρόν κεφάλαιο της διδακτορικής διατριβής, τα αρχικά δεδομένα ενοποιήθηκαν σε έξι ευρείες κλάσεις: 1) Υψηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση (ΥΠΦΒ), 2) Μέσης Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση (ΜΠΦΒ), 3) Χαμηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση (ΧΠΦΒ), 4) Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες (ΥΠΕ), 5) Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες (ΜΠΕ), και 6) Αστικές Περιοχές (ΑΠ), αυξάνοντας παράλληλα και το βαθμό χωρικής και θεματικής ακρίβειας των δεδομένων (>90%). Οι τρεις ενοποιημένες κλάσεις της φυσικής βλάστησης (1,2 και 3) αντιπροσωπεύουν τα διαφορετικά στάδια διαδοχής (ανοικτές εκτάσεις και φρύγανα, φρύγανα και θάμνοι, και θάμνοι και δάση), ενώ οι δύο ενοποιημένες κλάσεις της αγροτικής ζώνης (4 και 5) αναφέρονται σε δύο διαφορετικά καθεστώτα διαχείρισης (οι παλιοί αγροί με ψηφίδες φυσικής βλάστησης, και οι διαχειριζόμενοι αγροί) (Εικόνες 4.1 – 4.5).



Εικόνα 4.1. Υψηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση.



Εικόνα 4.2. Μέσης Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση.



Εικόνα 4.3. Χαμηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση.



Εικόνα 4.4. Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες.



Εικόνα 4.5. Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες.

Με βάση την πρόσφατη βιβλιογραφία, επιλέχθηκαν έντεκα μεταβλητές ως πιθανοί ερμηνευτικοί παράγοντες των μεταβολών του τοπίου, αντιπροσωπεύοντας τρεις κύριες κατηγορίες βιοφυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων (Πίνακας 4.1, Πίνακας Παραρτήματος 9 και Εικόνες Παραρτήματος 1-3). Η χρησιμότητα των περιβαλλοντικών μεταβλητών (βιοκλιματικοί και γεωμορφολογικοί) στην ερμηνεία των μεταβολών των χρήσεων/καλύψεων γης, θεωρείται ιδιαίτερος σημαντική, καθώς τα βιοφυσικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής επιδρούν σημαντικά στη διαμόρφωση του τοπίου (Alvarez Martinez et al., 2011; Bajocco et al., 2016; Felicísimo et al., 2002; Serra et al., 2008). Ωστόσο, επειδή οι μεταβλητές αυτές επιδρούν κυρίως στις μακροχρόνιες αλλαγές των χρήσεων/καλύψεων γης (Shao et al., 2006), οι βιοκλιματικοί και γεωμορφολογικοί παράγοντες χρησιμοποιούνται με σκοπό να διερευνηθούν τα βιοφυσικά χαρακτηριστικά των περιοχών όπου συμβαίνουν συγκεκριμένες μεταβολές. Οι βιοκλιματικοί παράγοντες (βροχόπτωση και θερμοκρασία) ελήφθησαν από τη βάση κλιματικών δεδομένων *WorldClim – Global Climatic Data* (<http://www.worldclim.org>), με χωρική ανάλυση 1 km. Οι μεταβλητές αυτές βελτιώθηκαν ως προς τη χωρική ανάλυση τους με τη χρήση της μεθόδου χωρική παρεμβολής *kriging*, από 1 km σε 30 m – για να συμπίπτουν με τα άλλα πλεγματικά δεδομένα. Οι γεωμορφολογικοί παράγοντες (υψόμετρο και κλίσεις), υπολογίστηκαν με βάση το

Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (*Digital Elevation Model – DEM*) ASTER (NASA, λήψη 2018), με χωρική διακριτική ικανότητα 30 m.

Πίνακας 4.1. Πιθανοί κινητήριοι παράγοντες μεταβολών του τοπίου – Ανεξάρτητες μεταβλητές.

Κατηγορία	Παράγοντας	Μεταβλητή	Μονάδα Μέτρησης	Πηγή
Περιβάλλον	Βιοκλιματικοί	Βροχόπτωση	mm	WorldClim-Global Climatic Data (Fick & and Hijmans, 2017, https://www.worldclim.org)
		Θερμοκρασία	°C	
	Γεωμορφολογία	Υψόμετρο	m	ASTER GDEM (https://asterweb.jpl.nasa.gov , λήψη 2018)
		Κλίσεις	Μοίρες	
Κοινωνικοοικονομικά	Κοινωνικο-οικονομικά	Πληθυσμός	% σχετική αλλαγή την περίοδο 1991–2011	Ελληνική Στατιστική Αρχή (http://www.statistics.gr , λήψη 2018)
		Εργαζόμενοι		
		Κτηνοτροφία		
		Ξενοδοχεία/Καταλύματα		
Φυσικές Καταστροφές	Φυσικές Καταστροφές	Υποδομές	km	Open Street Map (https://www.openstreetmap.org , λήψη 2018)
		Οδικό Δίκτυο		
		Συχνότητα Πυρκαγιών		
		Καμένη Έκταση		
Φυσικές Καταστροφές	Φυσικές Καταστροφές	Αριθμός πυρκαγιών περιόδου 1985–2015	ha	Τμήμα Περιβάλλοντος, Ιόνιο Πανεπιστήμιο
		Αριθμός πυρκαγιών περιόδου 1985–2015		
		Αριθμός πυρκαγιών περιόδου 1985–2015		
		Αριθμός πυρκαγιών περιόδου 1985–2015		

Μελέτες, που στοχεύουν στην ερμηνεία της μεταβολής του τοπίου, σημειώνουν την ισχυρή επίδραση των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων στην αλλαγή της κάλυψης γης. Μεταξύ των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που παρουσιάζουν ισχυρή επίδραση είναι ο πληθυσμός και ο αριθμός των εργαζομένων (Handavu et al., 2019; Hietel et al., 2007). Επιπροσθέτως, όπως φάνηκε και από το προηγούμενο κεφάλαιο, η κτηνοτροφική δραστηριότητα, μέσω της βόσκησης, επηρεάζει τις διαδικασίες εξέλιξης της φυσικής βλάστησης (Blondel, 2008; Detsis et al., 2010; Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011), και γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε ως ακόμα ένας ερμηνευτικός παράγοντας. Άλλοι παράγοντες, οι οποίοι έχουν ισχυρή επίδραση στον καθορισμό των χρήσεων/καλύψεων γης, ειδικότερα σε τουριστικές περιοχές όπως τα Ιόνια Νησιά, είναι οι υποδομές (π.χ. το οδικό δίκτυο) και τα τουριστικά καταλύματα (Plieninger et al., 2016). Οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες (πληθυσμός, εργαζόμενοι, αριθμός κτηνοτροφικών ζώων, και ξενοδοχεία/καταλύματα), ελήφθησαν από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ., λήψη 2018) για τα απογραφικά έτη 1991 και 2011, σε επίπεδο δημοτικών διαμερισμάτων/τοπικών κοινοτήτων. Η λήψη δεδομένων οδικού δικτύου, έγινε

μέσω της επέκτασης *Open Street Map* του ελεύθερου λογισμικού Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) QGIS.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, η συχνότητα και η σφοδρότητα των πυρκαγιών επηρεάζει τη σύσταση του τοπίου, καθώς και την συνολική κατάσταση των οικοσυστημάτων (Lamine et al., 2017). Ειδικότερα στα Ιόνια Νησιά η υψηλή συχνότητα πυρκαγιών (Kefalas et al., 2018), φαίνεται να καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη μεταβολή των χρήσεων/καλύψεων γης, όπως φάνηκε και από το τρίτο κεφάλαιο της διδακτορικής διατριβής. Για το λόγο αυτό, στην ανάλυση λαμβάνεται υπόψη και η επίδραση της πυρκαγιάς. Τα δεδομένα πυρκαγιών, παραχωρήθηκαν από το τμήμα Περιβάλλοντος του Ιονίου Πανεπιστημίου. Η χαρτογράφηση των πυρκαγιών έγινε μέσω αντικειμενοστραφούς λογικής ταξινόμηση σε εικόνες *Landsat*, με χωρική ανάλυση 30m.

4.2.2 Ανίχνευση μεταβολών κάλυψης γης και της δομής του τοπίου

Όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο, μέσω της μετα-ταξινομικής διαδικασίας ανίχνευσης αλλαγών διερευνήθηκαν για το σύνολο της περιοχής μελέτης οι μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης. Ακολούθως, κάθε παρατηρούμενη μεταβολή χαρακτηρίστηκε με βάση το προτεινόμενο πλαίσιο των Batistella & Valladares (2009) και την αναθεωρημένη έκδοση αυτού (Wellausen & Freitas, 2013), σε διαδικασίες μεταβολής. Έτσι, οι τελικές κατηγορίες αλλαγών χρήσεων καλύψεων γης είναι: η φυσική αναγέννηση (ΦΑΝ), η υποβάθμιση (ΥΠΟ), η εντατικοποίηση (ΕΝΤ), η εγκατάλειψη (ΕΓΚ), και η αστικοποίηση (ΑΣΤ) (Εικόνα 4.6).

		2015					
		ΥΠΦΒ	ΜΠΦΒ	ΧΠΦΒ	ΥΠΕ	ΜΠΕ	ΑΠ
1985	ΥΠΦΒ		ΥΠΟ	ΥΠΟ	ΕΝΤ	ΕΝΤ	ΑΣΤ
	ΜΠΦΒ	ΦΑΝ		ΥΠΟ	ΕΝΤ	ΕΝΤ	ΑΣΤ
	ΧΠΦΒ	ΦΑΝ	ΦΑΝ		ΕΝΤ	ΕΝΤ	ΑΣΤ
	ΥΠΕ	ΕΓΚ	ΕΓΚ	ΕΓΚ		ΕΝΤ	ΑΣΤ
	ΜΠΕ	ΕΓΚ	ΕΓΚ	ΕΓΚ	ΕΓΚ		ΑΣΤ
	ΑΠ	ΕΓΚ	ΕΓΚ	ΕΓΚ	ΕΓΚ	ΕΓΚ	

Εικόνα 4.6. Χαρακτηρισμός μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης.

ΥΠΦΒ: Υψηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση, ΥΠΕ: Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες, ΧΠΦΒ: Χαμηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση, ΜΠΦΒ: Μέσης Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση, ΜΠΕ: Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες, ΑΠ: Αστικές Περιοχές. ΦΑΝ: Φυσική Αναγέννηση, ΥΠΟ: Υποβάθμιση, ΕΓΚ: Εγκατάλειψη, ΕΝΤ: Εντατικοποίηση, ΑΣΤ: Αστικοποίηση

Ειδικότερα, οι διαδικασίες μεταβολής φυσικής αναγέννηση και υποβάθμιση συνδέονται με μεταβολές στη ζώνη φυσικής βλάστησης. Συγκεκριμένα, ως φυσική αναγέννηση χαρακτηρίζονται οι μεταβολές κατά τις οποίες αυξάνεται ο βαθμός πύκνωσης της φυσικής βλάστησης. Αντίθετα, οι μεταβολές της φυσικής βλάστησης κατά τις οποίες μειώνεται ο βαθμός πύκνωσης της χαρακτηρίζονται ως υποβάθμιση. Έτσι, οι μεταβολές από ΜΠΦΒ σε ΥΠΦΒ και από ΧΠΦΒ σε ΜΠΦΒ ή/και ΥΠΦΒ,

χαρακτηρίζονται ως ΦΑΝ, ενώ οι αντίστροφες (από ΜΠΦΒ σε ΧΠΦΒ και από ΥΠΦΒ σε ΜΠΦΒ ή/και ΧΠΦΒ) χαρακτηρίζονται ως ΥΠΟ. Παράλληλα, οι διαδικασίες εγκατάλειψης και εντατικοποίησης συνδέονται με μεταβολές που συμβαίνουν και στις δύο ζώνες (αγροτικής και φυσικής βλάστησης). Ως ENT χαρακτηρίζονται οι μεταβολές από τη ζώνη φυσικής βλάστησης στην αγροτική ζώνη, όπως επίσης και η μεταβολή από τους υψηλής πυκνότητας ελαιώνες στους μέσης πυκνότητας ελαιώνες. Οι μεταβολές των διαχειριζόμενων αγρών (και ελαιώνων) σε περιοχές με παρουσία φυσικής βλάστηση χαρακτηρίζονται ως ΕΓΚ. Τέλος, ως ΑΣΤ χαρακτηρίζονται οι μεταβολές από οποιαδήποτε κατηγορία χρήσης/κάλυψης γης σε αστικές περιοχές.

Επιπροσθέτως, για την περαιτέρω κατανόηση των διαδικασιών μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης, σε σχέση με τη δομή του τοπίου, υπολογίστηκε μία σειρά μετρικών τοπίου με τη χρήση του λογισμικού FRAGSTAT V4 (McGarial & Marks, 2012). Σε επίπεδο τοπίου υπολογίστηκαν οι μετρικές: *Number of Patches* (NP), *Total Edge* (TE), *Edge Density* (ED), *Mean Proximity index* (Mean PROX.), *Shannon's Diversity Index* (SHDI) και *Shannon's Evenness Index* (SHEI). Σε επίπεδο κλάσεις υπολογίστηκαν οι: *Number of Patches* (NP), *Total Edge* (TE), *Edge Density* (ED), *Mean Patch Size* (MPS), *Euclidean Nearest-Neighbor Distance* (ENN), *Mean Perimeter-Area Ratio* (MPAR), και *Area Weighted Mean Shape Index* (AWMSI).

4.2.3 Ερμηνεία των μεταβολών κάλυψης γης

Για την ερμηνεία της μεταβολής του τοπίου, σε ολικό (για το σύνολο της περιοχής μελέτης) και σε τοπικό επίπεδο, εφαρμόστηκαν ολικά και τοπικά μοντέλα παλινδρόμησης, αντίστοιχα. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση κατά συστάδες, για την εύρεση χωρικών προτύπων μεταξύ περιοχών που παρουσιάζουν όμοιες συμπεριφορές. Η χωρική μονάδα της ανάλυσης ήταν το επίπεδο δημοτικού διαμερίσματος/τοπικής ενότητας (270 δημοτικά διαμερίσματα/τοπικές ενότητες), όπου υπολογίστηκε η επί τις εκατό (%) έκταση που καταλαμβάνει κάθε διαδικασία μεταβολής κάλυψης γης (εξαρτημένη μεταβλητή), και η μέση τιμή κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής (πιθανή κινητήρια δύναμη μεταβολής).

4.2.3.1 Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Πριν από την εφαρμογή της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, οι εξαρτημένες μεταβλητές ελέγχθηκαν ως προς την κανονικότητα της κατανομής τους με τη χρήση του ελέγχου *Shapiro – Wilk*, και οι ανεξάρτητες μεταβλητές ελέγχθηκαν ως προς την ανεξαρτησία τους μέσω της συσχέτισης *Spearman*. Ο συνδυασμός των πιθανών κινητήριων δυνάμεων που ερμηνεύουν καλύτερα την κάθε μεταβολή κάλυψης γης στα μοντέλα παλινδρόμησης, βρέθηκε μέσω της «προς-τα-πίσω

απλουστευτικής προσέγγισης» (*backward simplification approach*) χρησιμοποιώντας ως κριτήριο επιλογής τα μέτρα R^2 και *Akaike Information Criterion (AIC)* (Calcagno & Mazancourt, 2010; Neter et al., 1996; Wellausen & Freitas, 2013). Έτσι, για όλα τα μοντέλα που υπολογίστηκαν για κάθε μία από τις πέντε μεταβολές χρήσεων/καλύψεων γης, ως καταλληλότερο μοντέλο για την ερμηνεία των μεταβολών, επιλέχθηκε εκείνο με το υψηλότερο R^2 και το χαμηλότερο AIC. Τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν ήταν της μορφής (Εξίσωση 4.1):

$$Y_i = \beta_0 + \sum \beta_{kj} X_{ij} + e_k \quad (4.1)$$

όπου Y_i είναι η εξαρτημένη μεταβλητή (% περιοχή δημοτικού διαμερίσματος/τοπικής κοινότητας που καταλαμβάνει κάθε μεταβολή κάλυψης/χρήσης γης), β_0 είναι η σταθερά, β_k η υπολογιζόμενη παράμετρος για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή k , X_{ij} είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή, και e_k είναι το σφάλμα. Πέραν του υπολογισμού των συντελεστών της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για την εύρεση της συνεισφοράς κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής (κινητήριας δύναμης), υπολογίστηκε και η σχετική σημαντικότητα αυτής με τη χρήση της ανάλυσης *Shapley Value* (Grömping, 2006)

Για τον έλεγχο της χωρικής εξάρτησης των μεταβλητών, υπολογίστηκε ο ολικός δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης *Moran (Global Moran's Index)*, στα υπολείμματα (*residuals*) των γραμμικών μοντέλων. Ο δείκτης *Moran*, κυμαίνεται από -1 έως 1, όπου -1, 0 και 1 δείχνουν αρνητική, τυχαία, και θετική χωρική αυτοσυσχέτιση, αντίστοιχα (Moran, 1950). Σημειώνεται ότι, αν τα υπολείμματα των μοντέλων παρουσιάζουν χωρική αυτοσυσχέτιση, τότε το κριτήριο της ανεξαρτησίας μεταξύ αυτών παραβιάζεται, και απαιτείται η εφαρμογή τοπικής παλινδρόμησης.

4.2.3.2 Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση

Η Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (*Geographical Weighted Regression – GWR*) είναι μία προσέγγιση τοπικής παλινδρόμησης, η οποία είναι κατάλληλη όταν τα δεδομένα παρουσιάζουν κάποιο βαθμό χωρικής εξάρτησης (Kalogirou, 2003). Η GWR είναι μία προωθημένη προσέγγιση της παραδοσιακής γραμμικής παλινδρόμησης, η οποία προσδιορίζει χωρικά τη μη στασιμότητα στη σχέση μιας εξαρτημένης μεταβλητής και ενός συνόλου επεξηγηματικών μεταβλητών (Georganos et al., 2017). Ως αποτέλεσμα, παρουσιάζεται μία σειρά από χωρικά εστιασμένους παράγοντες, οι οποίοι δείχνουν την αλληλεπίδραση/σχέση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών (Charlton & Fotheringham, 2002). Το τοπικό μοντέλο είναι της μορφής (Εξίσωση 4.2):

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum k \beta_k(u_i, v_i) X_{ik} + \varepsilon_i \quad (4.2)$$

όπου (u_i, v_i) υποδηλώνει τις συντεταγμένες του i th σημείου στο χώρο και $\beta_k(u_i, v_i)$ οι εκτιμώμενες παράμετροι σε συνεχή επιφάνεια (Charlton & Fotheringham, 2002).

Για την εφαρμογή του μοντέλου, υπολογίζονται επιμέρους μοντέλα γύρω από κάθε παρατήρηση (στην περίπτωση αυτή, γύρω από κάθε δημοτικό διαμέρισμα/τοπική κοινότητα), λαμβάνοντας υπόψη ένα υποσύνολο όλων των παρατηρήσεων. Έτσι, σε κάθε επιμέρους περιοχή μελέτης ορίζεται μία «γειτονιά» που καθορίζεται από το σχήμα στάθμισης, στην οποία οι παρατηρήσεις πιο κοντά στο σημείο της παλινδρόμησης έχουν υψηλότερο βάρος, ενώ οι πιο απομακρυσμένες παρατηρήσεις μικρότερο βάρος. Η γειτονιά και η μέγιστη απόσταση από το σημείο παλινδρόμησης ονομάζεται “Kernel” και “Bandwidth”, αντίστοιχα. Υπάρχουν δύο τύποι Kernel, το σταθερό (*Fixed Kernel*) και το προσαρμοζόμενο (*Adaptive Kernel*). Στον σταθερό τύπο, η γειτονιά ορίζεται σε κύκλο, ενώ στον προσαρμοζόμενο η γειτονιά προσδιορίζεται από έναν αριθμό πλησιέστερων γειτόνων που θα συμπεριληφθούν στην παλινδρόμηση. Σε αυτή τη μελέτη, χρησιμοποιείται ο προσαρμοζόμενος τύπος γειτονιάς, καθώς θεωρείται καταλληλότερος σε περιπτώσεις που τα δεδομένα αναφέρονται σε διοικητικά όρια (Καλογήρου, 2015). Ο ορισμός της μέγιστης απόστασης από το σημείο παλινδρόμησης (*Bandwidth*) είναι πολύ σημαντικός, καθώς μέσω αυτού ορίζονται οι γειτονικές παρατηρήσεις που θα ληφθούν υπόψη σε κάθε επιμέρους μοντέλο. Για παράδειγμα, αν το *bandwidth* είναι πολύ υψηλό, τότε τα τοπικά μοντέλα τείνουν να γίνονται ολικά, διότι για τον υπολογισμό τους συμπεριλαμβάνονται όλες οι παρατηρήσεις. Αντίθετα, αν το *bandwidth* είναι μικρό τότε οι ανεξάρτητες παράμετροι είναι λιγότερο μεροληπτικοί, χρησιμοποιώντας λιγότερες παρατηρήσεις (Propastin, 2009). Στην περίπτωση αυτή, το κατάλληλο μέγεθος του *bandwidth* υπολογίστηκε με αυτόματο αλγόριθμο, ο οποίος αλλάζει επαναλαμβανόμενα το μέγεθος του μέτρου, ελέγχοντας και επιλέγοντας αυτό όπου το αποτέλεσμα της τοπικής παλινδρόμησης έχει μικρότερο AIC (Καλογήρου, 2015).

Ομοίως με την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, υπολογίστηκε ο δείκτης *Moran*, για τον έλεγχο της χωρικής εξάρτησης των GWR μοντέλων. Για να προσδιοριστεί αν οι μεταβλητές διαφέρουν σημαντικά σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκε το F_3 test (Leung et al., 2000a). Επιπλέον, με τη χρήση του F_1 test (Leung et al., 2000b) φάνηκε αν βελτιώνεται στατιστικά σημαντικά η επίδοση του GWR μοντέλου σε σχέση με αυτό της γραμμικής παλινδρόμησης. Η βασική υπόθεση εργασίας για το F_1 test αναφέρει ότι αν η τιμή είναι κοντά στο 1 τότε η μηδενική υπόθεση – H_0 , στην οποία δεν υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων για τα δεδομένα που δίνονται - είναι αληθής.

Όπως σημειώνεται και παραπάνω, η GWR παράγει ένα χάρτη για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή, ο οποίος παρουσιάζει τη συνεισφορά της στην εξαρτημένη μεταβλητή. Στην περίπτωση των Ιονίων Νήσων, κάθε μοντέλο παρήγαγε από τέσσερις έως οκτώ χάρτες (για τα πέντε GWR μοντέλα παρήχθησαν συνολικά 31 χάρτες), καθιστώντας την ερμηνεία των αποτελεσμάτων αρκετά δύσκολη. Για το λόγο αυτό, εφαρμόζοντας την ανάλυση κατά συστάδες στις υπολογιζόμενες παραμέτρους των ανεξάρτητων μεταβλητών, ήταν εφικτό να δημιουργηθούν υπό-περιοχές όπου παρουσιάζονται όμοιες συμπεριφορές μεταξύ των συντελεστών. Η μέθοδος *Ward Hierarchical Clustering* μεταξύ των άλλων συσσωρευτικών μεθόδων ανάλυσης (*Agglomerative Clustering Methods*), επιλέχθηκε ως η πιο κατάλληλη μέθοδος καθώς παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές ανομοιομορφίας (*dissimilarity values*), με βάση το μέτρο εγγύτητας «Ευκλείδεια Απόσταση» (*Euclidean Distance*) (Lorilla et al., 2018). Επιπλέον, για την εύρεση του βέλτιστου αριθμού συστάδων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος *Elbow* (Bholowalia & Kumar, 2014).

4.3 Αποτελέσματα

4.3.1 Μεταβολές χρήσεων/καλύψεων γης

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ανίχνευσης αλλαγών, έδειξαν ότι η κατεύθυνση και η ένταση των μεταβολών των χρήσεων/καλύψεων γης ήταν διαφορετική ανάμεσα στις έξι κατηγορίες. Κατά τη διάρκεια των τριάντα χρόνων μελέτης στα Ιόνια Νησιά μεταβλήθηκε το 30% της κάλυψης γης (Πίνακας 4.4). Συγκεκριμένα, σχεδόν το 20% των εκτάσεων που καλύπτονταν από υψηλής πυκνότητας βλάστηση μεταβλήθηκαν κυρίως σε μέσης και χαμηλής πυκνότητας βλάστηση (12% και 6%, αντίστοιχα). Όμως παρά αυτή την απώλεια, η κατηγορία της υψηλής πυκνότητας βλάστησης αυξήθηκε (7,53%), καθώς εκτάσεις που το 1985 ταξινομήθηκαν ως μέσης και χαμηλής πυκνότητας βλάστηση, το 2015 ταξινομήθηκαν ως υψηλής πυκνότητας βλάστηση (Πίνακας 4.4). Η κατηγορία κάλυψης με την μεγαλύτερη δυναμική ήταν η μέσης πυκνότητας βλάστησης, καθώς διατήρησε μόνο το 32% των εκτάσεων, με την υπολειπόμενη να μεταβάλλεται κυρίως σε χαμηλής και υψηλής πυκνότητας βλάστηση (36% και 29% αντίστοιχα). Οι αλλαγές στην αγροτική ζώνη ήταν περιορισμένες, ενώ οι αστικές περιοχές αυξήθηκαν μόλις κατά 0,2% (Πίνακας 4.4). Χωρικά, παρατηρήθηκε ένας διαχωρισμός της αγροτικής ζώνης από τη ζώνη φυσικής βλάστησης, καθώς οι καλλιέργειες εντοπίζονται σε περιοχές με ήπια τοπογραφία, ενώ η φυσική βλάστηση σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές (Εικόνα 4.7). Στη ζώνη φυσικής βλάστησης, η κυρίαρχη διαδικασία μεταβολής ήταν η φυσική αναγέννηση, καλύπτοντας περίπου το 10% των εκτάσεων, ακολουθούμενη από τη διαδικασία της υποβάθμισης (8,7%). Αντίστοιχα, στην αγροτική ζώνη, οι διαδικασίες

εντατικοποίησης και εγκατάλειψης είχαν παρόμοια έκταση (4,78% και 4,94%, αντίστοιχα) (Πίνακας 4.4 και Εικόνα 4.2).

Εκτός από τις αλλαγές των χρήσεων καλύψεων γης, υπήρξαν μεταβολές και στη διάρθρωση του Ιόνιου τοπίου (Πίνακες 4.2 και 4.3). Σε επίπεδο τοπίου (Πίνακας 4.2), το επίπεδο διάσπασης και ετερογένειας αυξήθηκε, όπως φαίνεται από την αύξηση των δεικτών NP, TE, και ED. Ωστόσο, οι δείκτες SHDI και SHEI, οι οποίοι υπολογίζουν το επίπεδο ποικιλότητας του τοπίου, κατά τη μελετώμενη περίοδο δεν παρουσίασαν αξιοσημείωτες μεταβολές. Επιπλέον, η μείωση του δείκτη Mean PROX δείχνει ότι το επίπεδο διάσπασης του τοπίο μειώθηκε.

Σε επίπεδο κλάσης, οι επιλεγόμενοι δείκτες (Πίνακας 4.3.) παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τη διάρθρωση και το σχήμα κάθε κατηγορίας κάλυψης/χρήσης γης, καθώς και τη μεταβολή τους κατά τη διάρκεια των 30 χρόνων. Οι κατηγορίες υψηλής και μέσης πυκνότητα φυσικής βλάστησης, καθώς και οι μέσης πυκνότητας ελαιώνες παρουσίασαν όμοιο πρότυπο (αύξηση του δείκτη MPS, και μείωση του δείκτη ENN), δείχνοντας ότι κατά τη διάρκεια των ετών έγιναν περισσότερο ομοιογενή. Το αντίθετο πρότυπο παρατηρείται στη χαμηλής πυκνότητας βλάστηση και στους υψηλής πυκνότητας ελαιώνες, όπου το επίπεδό διάσπασής τους αυξήθηκε. Τέλος η αύξηση του δείκτη AWMSI δείχνει ότι η γεωμετρική πολυπλοκότητα και των έξι κατηγοριών αυξήθηκε.

Πίνακας 4.2. Δείκτες τοπίου (σε επίπεδο τοπίου) για τα έτη 1985 και 2015.

Χρονιά	NP	TE (km)	ED	Mean Prox.	SHDI	SHEI
1985	32245	46014	200,86	263,12	1,75	0,90
2015	43947	51129	250,41	334,47	1,74	0,89

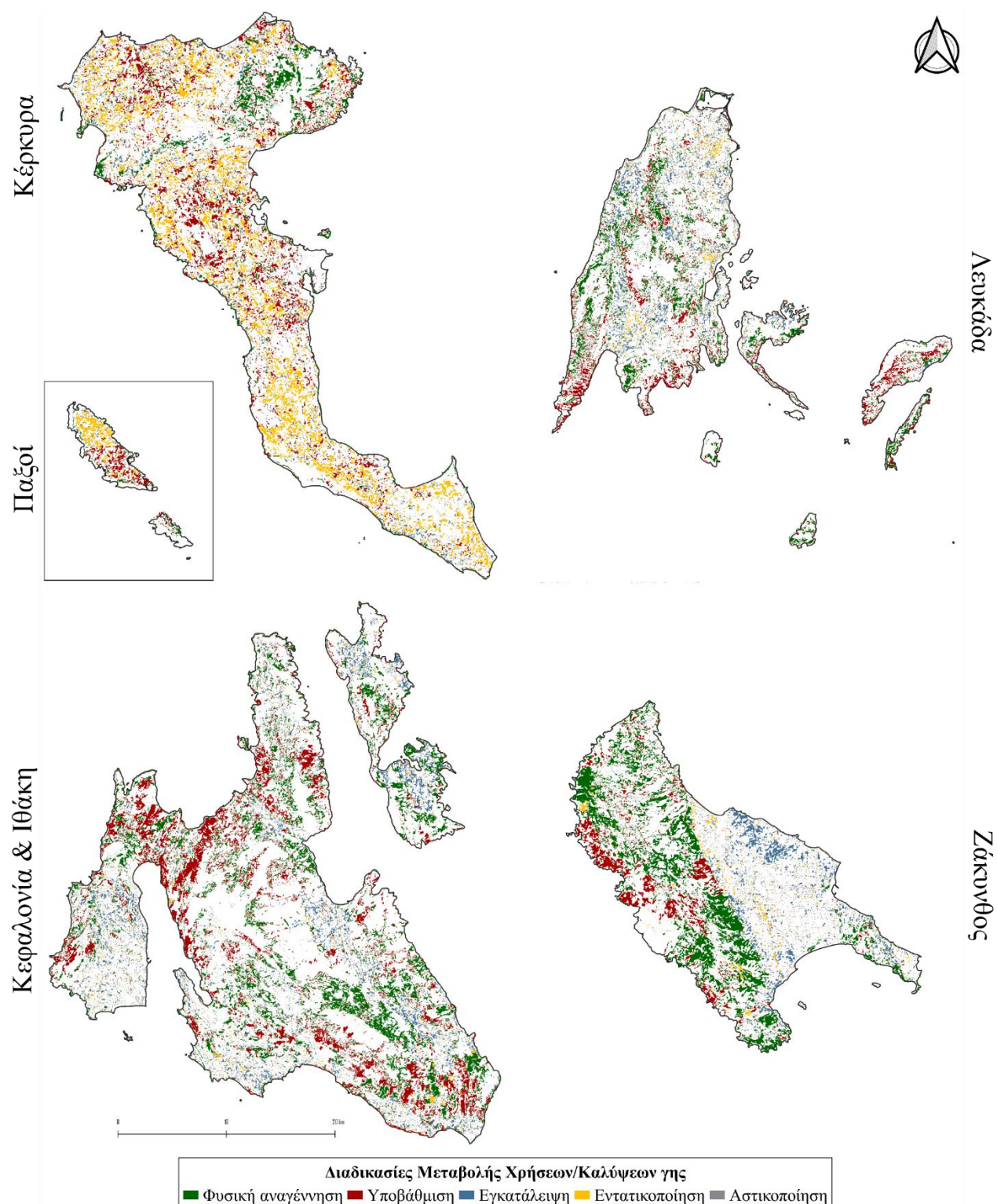
Πίνακας 4.3. Δείκτες τοπίου (σε επίπεδο κλάσης) για τα έτη 1985 και 2015.

Κλάση		NP	TE (km)	ED	MPS	ENN	AWMSI	MPAR
ΥΠΦΒ	1985	4436	9873	43,10	68980	129,59	106,04	143,13
	2015	6112	12024	52,36	72457	110,49	126,02	165,96
ΜΠΦΒ	1985	8307	8390	36,62	23993	135,31	152,80	349,69
	2015	11513	12034	52,40	24564	100,86	216,61	489,92
ΧΠΦΒ	1985	7388	8400	36,67	47011	111,85	109,29	178,69
	2015	9002	10868	47,32	43745	132,81	146,58	248,44
ΥΠΕ	1985	3493	4109	17,93	17622	124,93	87,31	233,14
	2015	6835	5661	24,65	16399	165,26	124,69	345,17
ΜΠΕ	1985	4360	6149	26,84	31102	115,73	95,97	206,69
	2015	5325	6848	29,82	31295	101,52	104,50	218,99
ΑΠ	1985	4261	29455	12,86	9283	133,54	86,24	317,27
	2015	5160	32290	14,06	9913	129,86	91,48	325,71

Πίνακας 4.4. Πίνακας μεταβολών καλύψεων/χρήσεων γης.

	Αρχική Κατάσταση 1985 (ha & %)							Μεταβολή (ha and %)	
	ΥΠΦΒ	ΜΠΦΒ	ΧΠΦΒ	ΥΠΕ	ΜΠΕ	ΑΠ	Άθροισμα 2015	Διαφορά	
ΥΠΦΒ	53589 79,54	8211 35,76	7233 16,56	346 1,96	953 1,53	74 0,79	70406 31,53	3033 7,53	22457 10,06 Φυσική Αναγέννηση
ΜΠΦΒ	8299 12,32	7491 32,63	7013 16,06	76 0,43	466 0,75	73 0,78	23418 10,49	23407,51 0,21	19404 8,69 Υποβάθμιση
ΧΠΦΒ	4342 6,44	6763 29,46	28244 64,67	27 0,15	697 1,12	130 1,38	40203 18,00	-3470 -1,55	10671 4,78 Εντατικοποίηση
ΥΠΕ	385 0,57	96 0,42	176 0,40	8789 49,90	7216 11,59	284 3,02	16946 7,59	-668 -0,30	11025 4,94 Εγκατάλειψη
ΜΠΕ	639 0,95	317 1,38	761 1,74	8297 47,10	51837 83,23	683 7,27	62534 28,01	254 0,11	1636 0,73 Αστικοποίηση
ΑΠ	119 0,18	81 0,35	246 0,56	79 0,45	1111 1,78	8146 86,75	9782 4,38	392 0,18	158096 70,80 Αμετάβλητες Περιοχές
Άθροισμα 1985 %	67373 24,00	22959 10,28	43673 19,56	17614 7,89	62280 27,89	9390 4,21			

ΥΠΦΒ: Υψηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση, ΥΠΕ: Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες, ΧΠΦΒ: Χαμηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση, ΜΠΦΒ: Μέσης Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση, ΜΠΕ: Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες, ΑΠ: Αστικές Περιοχές.



Εικόνα 4.7. Χάρτης μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης.

4.3.2 Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 4.5, η ερμηνευτική δύναμη των πέντε μοντέλων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ήταν πάνω από 38%, με το μοντέλο για την εντατικοποίηση των καλλιεργειών να έχει την υψηλότερη τιμή (56%), ακολουθούμενο από την αστικοποίηση (52%).

Πίνακας 4.5. Στατιστικά καλής προσαρμογής μοντέλων.

Μοντέλο		R ²	AICc	Χωρική Αυτοσυσχέτιση Υπολοίπων	F ₁ -Test* (p < 0.05)	Αριθμός Μεταβλητών
Φυσική Αναγέννηση	GLM	0,46	1733,20	0,45	0,62, 216	4
	GWR	0,72	1573,43	-0,01		
Υποβάθμιση	GLM	0,38	1756,71	0,49	0,72, 235	8
	GWR	0,60	1696,04	0,03		
Εντατικοποίηση	GLM	0,56	1640,46	0,42	0,73, 236	6
	GWR	0,67	1537,15	0,02		
Εγκατάλειψη	GLM	0,39	1538,24	0,43	0,84, 242	5
	GWR	0,66	1509,62	0,07		
Αστικοποίηση	GLM	0,52	1542,53	0,49	0,66, 239	8
	GWR	0,61	1414,68	0,01		

* F-Value, Degrees of Freedom of the Numerator

Το μοντέλο που επιλέχθηκε για τη φυσική αναγέννηση περιλάμβανε τέσσερις μεταβλητές από τις κατηγορίες παραγόντων, γεωμορφολογία, υποδομές, και φυσικές καταστροφές. Οι γεωμορφολογικοί παράγοντες συσχετίστηκαν θετικά (κατά 66%) με τη μεταβολή αυτή, με το υψόμετρο να είναι η κυρίαρχη μεταβλητή, ακολουθούμενη από την κλίση. Από το μοντέλο φάνηκε επίσης ότι η φυσική αναγέννηση συνέβαινε σε περιοχές όπου η εμφάνιση πυρκαγιών ήταν μικρή και το οδικό δίκτυο αραιό (Πίνακας 4.6). Από την άλλη πλευρά, η υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης, ερμηνεύτηκε από οχτώ ανεξάρτητες μεταβλητές, με τους βιοκλιματικούς παράγοντες να παρουσιάζουν σχετική σημαντικότητα 51%. Ωστόσο, ενώ η βροχόπτωση και η θερμοκρασία είχαν παρόμοια σχετική σημαντικότητα, η διαδικασία της υποβάθμισης συσχετίστηκε κυρίως αρνητικά με τη θερμοκρασία. Αξιοσημείωτο είναι επίσης, ότι η υποβάθμιση της βλάστησης επηρεάστηκε θετικά από τις φυσικές καταστροφές (σχετική σημαντικότητα 21%) (Πίνακας 4.6).

Πίνακας 4.6. Αποτελέσματα Πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης.

Κατηγορία Μεταβλητών	Μεταβλητή	Φυσική Αναγέννηση		Υποβάθμιση		Εντατικοποίηση		Εγκατάλειψη		Αστικοποίηση	
		Συν/ής	% Σ.Σ.*	Συν/ής	% Σ.Σ.*	Συν/ής	% Σ.Σ.*	Συν/ής	% Σ.Σ.*	Συν/ής	% Σ.Σ.*
Βιο/κοί	Σταθερά	0,857		1,804		1,118		0,920		1,063	
	Βροχόπτωση			0,005	30%	0,003	42%	-0,011	21%	-0,014	15%
	Θερμοκρασία			-0,313	21%	0,138	8%	0,106	51%	0,108	14%
Γεω/κοί	Υψόμετρο	0,018	41%	0,002	7%	-0,035	32%			-0,007	8%
	Κλίση	0,106	25%	0,051	13%	-0,021	14%			-0,041	22%
Κοιν/κοί	Πληθυσμός			0,060	5%					0,054	27%
	Εργαζόμενοι			0,009	3%						
	Ξενοδοχεία							-0,050	14%	0,032	10%
Κτηνοτροφία											
Υποδομές	Οδικό Δίκτυο	-0,026	7%								
Φυσικές Καταστροφές	Συχνότητα Πυρκαγιών			1,576	6%	-4,305	1%	-2,847	3%	-0,312	2%
	Καμένη Έκταση	-0,123	27%	0,049	15%	-0,078	3%	-0,091	11%	-0,005	2%

*Σ.Σ.: Σχετική Συχνότητα

**Επίπεδο Σημαντικότητας $p < 0,05$ (95%)

Στην αγροτική ζώνη, το μοντέλο για την εντατικοποίηση των καλλιεργειών βασίστηκε μόνο σε περιβαλλοντικούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, οι βιοκλιματικές μεταβλητές συσχετίστηκαν θετικά με αυτή τη μεταβολή, ενώ οι γεωμορφολογικοί παράγοντες αρνητικά. Επιπλέον, η βροχόπτωση και το υψόμετρο είχαν την υψηλότερη σχετική σημαντικότητα (42% και 32%, αντίστοιχα), ακολουθούμενοι από την κλίση (14%) (Πίνακας 4.6). Από το μοντέλο για την εγκατάλειψη των καλλιεργειών, φάνηκε η σημαντική συνεισφορά των βιοκλιματικών παραμέτρων (72% σχετική σημαντικότητα), δείχνοντας μία θετική και μία αρνητική συσχέτιση με τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση, αντίστοιχα (Πίνακας 4.6). Οι υπόλοιπες τρεις παράμετροι (δηλ. σχετική μεταβολή των ξενοδοχείων, καμένες εκτάσεις και συχνότητα πυρκαγιών) είχαν αρνητική συσχέτιση με την εγκατάλειψη των καλλιεργειών. Τέλος, για το μοντέλο της αστικοποίησης, οι βιοκλιματικοί, οι γεωμορφολογικοί και κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες είχαν όμοια σχετική σημαντικότητα. Συγκεκριμένα, στους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες – που είχαν και την υψηλότερη σημαντικότητα – η αύξηση του πληθυσμού συνείσφερε θετικά κατά 27% και τα ξενοδοχεία/τουριστικά καταλύματα κατά 10% (Πίνακας 4.6). Οι φυσικές καταστροφές παρουσίασαν τη χαμηλότερη συνεισφορά στην αστικοποίηση σε σχέση με τις υπόλοιπες διαδικασίες μεταβολής.

Σχετικά με τη χωρική εξάρτηση των αποτελεσμάτων, παρατηρήθηκε ότι σε όλα τα μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, ήταν ισχυρή. Οι τιμές του δείκτη *Moran* στα υπολείμματα κυμάνθηκε από 0,42 έως 0,49 (Πίνακας 4.5), δείχνοντας ότι τα μοντέλα δεν παρουσίασαν χωρική διαφοροποίηση της σχέσης μεταξύ των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης και των ερμηνευτικών μεταβλητών. Συνεπώς, κρίθηκε σκόπιμη η εφαρμογή της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης και για τις πέντε διαδικασίες μεταβολής.

4.3.3 Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση

Τα μοντέλα που υπολογίστηκαν εφαρμόζοντας τη GWR, παρουσίασαν καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με αυτά των γραμμικών παλινδρομήσεων, όπως φαίνεται και από τις υψηλότερες τιμές R^2 , τις σχετικά χαμηλότερες τιμές *AICc*, και την υψηλή χωρική τυχειότητα (*spatial randomness*) των υπολειμμάτων. Επίσης, σύμφωνα με το F_1 – test, η βελτίωση των αποτελεσμάτων της GWR σε σχέση με αυτά της Γραμμικής Παλινδρόμησης ήταν στατιστικά σημαντική (Πίνακας 4.7). Σύμφωνα με το F_3 – test οι περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές, όπως επίσης και η σταθερά των μοντέλων παρουσίασαν υψηλή χωρική μη-στασιμότητα (*spatial non-stationarity*). Έτσι, για κάθε μεταβολή χρήσεων/καλύψεων γης προκύπτει ότι η χωρική διακύμανση των εκτιμώμενων τιμών των παραμέτρων ήταν στατιστικά σημαντική. Αντίθετα, στις λίγες περιπτώσεις όπου δεν υπήρξε

στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση, οι σχέσεις ήταν σχετικά σταθερές (Πίνακες 4.7 – 4.9). Επιπλέον, οι χαμηλές τιμές του δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης στα υπολείμματα δείχνουν ότι τα θέματα της χωρικής εξάρτησης που παρατηρήθηκαν στα προηγούμενα μοντέλα, αντιμετωπίστηκαν.

Πίνακας 4.7. Εκτιμώμενοι παράμετροι των δύο τύπων μοντέλων, για τα μοντέλα φυσικής αναγέννησης και Υποβάθμισης.

Μεταβλητή	Φυσική Αναγέννηση				Υποβάθμιση			
	GLM	GWR	F ₃ - test		GLM	GWR	F ₃ - test	
			F ₃ - Value	p-Value			F ₃ - Value	p-Value
Σταθερά	0,857	1,151	2,556	2,741x10 ^{-9***}	1,804	9,971	0,485	0,959x10 ^{-3***}
Βροχόπτωση					0,005	0,035	3,545	6,162x10 ^{-10***}
Θερμοκρασία					-0,313	-1,917	2,177	0,001***
Υψόμετρο	0,018	0,012	3,851	2,284x10 ^{-11***}	0,002	-0,022	2,252	1,888x10 ^{-5***}
Κλίση	0,106	0,254	2,531	6,985x10 ^{-9***}	0,051	-0,408	7,511	2,200x10 ^{-16***}
Πληθυσμός					0,060	0,031	1,035	0,042*
Εργαζόμενοι					0,009	0,067	0,904	0,006**
Ξενοδοχεία								
Κτηνοτροφία								
Οδικό Δίκτυο	-0,026	-0,014	0,744	0,384				
Συχνότητα Πυρκαγιών					1,576	8,346	0,524	0,796
Καμένη Έκταση	-0,123	-0,039	1,072	0,926	0,049	0,072	1,970	0,048*

Στατιστική Σημαντικότητα: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Πίνακας 4.8. Εκτιμώμενοι παράμετροι των δύο τύπων μοντέλων για τα μοντέλα εντατικοποίησης και εγκατάλειψης.

Μεταβλητή	Εντατικοποίηση				Εγκατάλειψη			
	GLM	GWR	F ₃ - test		GLM	GWR	F ₃ - test	
			F ₃ - Value	p-Value			F ₃ - Value	p-Value
Σταθερά	1,118	3,471	0,196	0,009**	0,920	0,507	9,937	2,200x10 ^{-16***}
Βροχόπτωση	0,003	0,007	0,595	0,009**	-0,011	0,036	10,594	2,200x10 ^{-16***}
Θερμοκρασία	0,138	0,572	0,898	0,006**	0,106	1,105	7,596	2,200x10 ^{-16***}
Υψόμετρο	-0,035	-0,006	2,074	0,002**				
Κλίση	-0,021	-0,227	2,523	5,386x10 ^{-8***}				
Πληθυσμός								
Εργαζόμενοι								
Ξενοδοχεία					-0,050	0,005	3,358	1,961x10 ^{-5***}
Κτηνοτροφία								
Οδικό Δίκτυο								
Συχνότητα Πυρκαγιών	-4,305	-0,677	0,164	0,009**	-2,847	2,391	0,174	0,998
Καμένη Έκταση	-0,078	-0,015	0,376	0,905	- 0,091	0,065	0,541	0,853

Στατιστική Σημαντικότητα: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

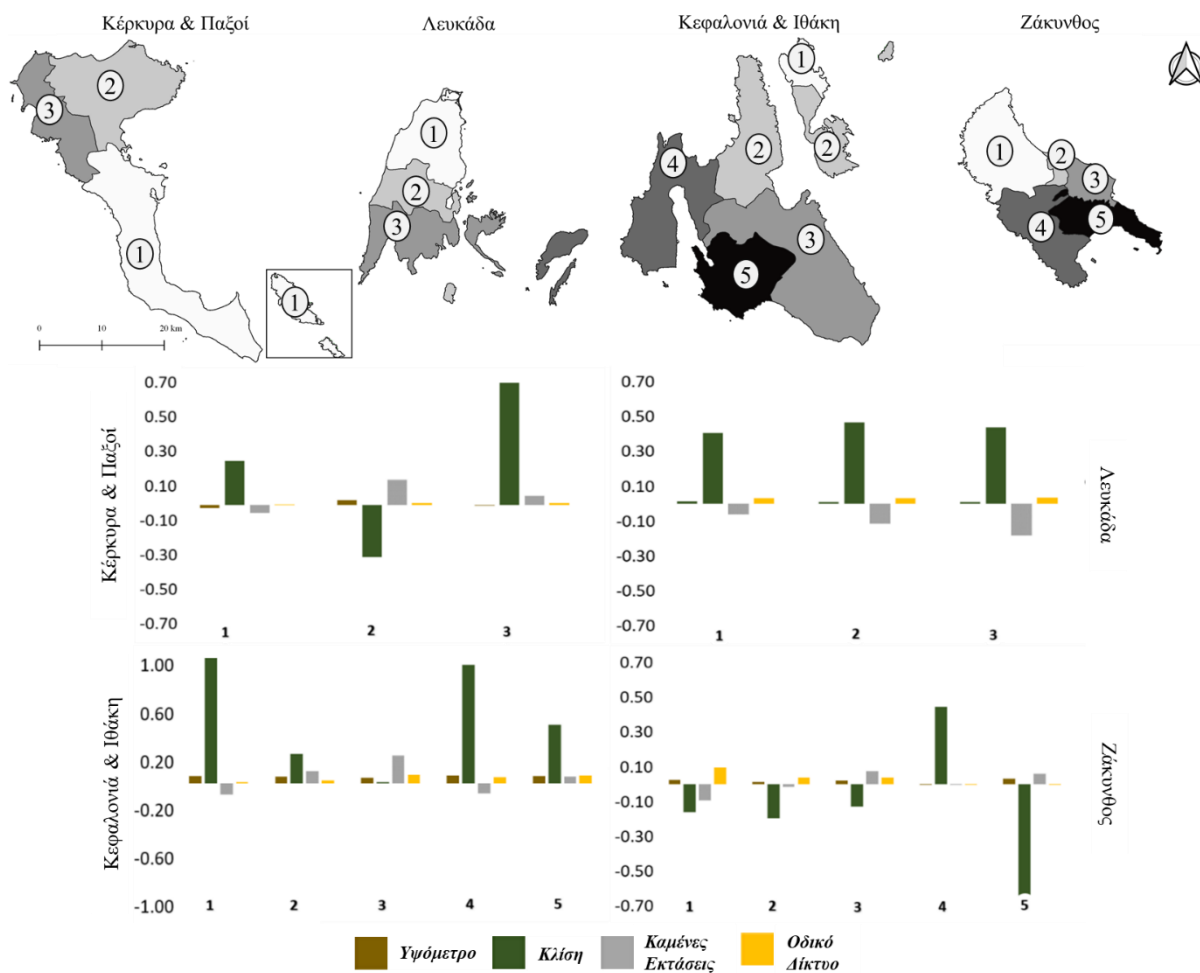
Πίνακας 4.9. Εκτιμώμενοι παράμετροι των δύο τύπων μοντέλων για το μοντέλο αστικοποίησης.

Μεταβλητή	Αστικοποίηση			
	GLM	GWR	F ₃ - test	
			F ₃ - Value	p-Value
Σταθερά	1,063	0,474	0,335	0,009**
Βροχόπτωση	-0,014	-0,009	2,263	0,001***
Θερμοκρασία	0,108	1,537	2,154	0,001***
Υψόμετρο	-0,007	-0,084	2,553	4,621x10 ⁻⁷ ***
Κλίση	-0,041	0,038	10,135	2,25x10 ⁻¹⁶ ***
Πληθυσμός	0,054	0,002	2,226	9,261x10 ⁻⁵ ***
Εργαζόμενοι				
Ξενοδοχεία	0,032	0,003	1,948	0,012*
Κτηνοτροφία				
Οδικό Δίκτυο				
Συχνότητα Πυρκαγιών	-0,312	-1,933	0,147	0,009**
Καμένη Έκταση	-0,005	-0,061	0,285	0,980

Στατιστική Σημαντικότητα: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Αν και από τους δύο τύπους μοντέλων εξήχθησαν παρόμοιες τιμές παραμέτρων (Πίνακες 4.7 – 4.9), τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της GWR έδειξαν υψηλή χωρική διακύμανση (Παράρτημα, Εικόνες Παραρτήματος 4 – 12). Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκε η ανάλυση κατά συστάδες για κάθε μοντέλο, ώστε να δημιουργηθούν περιοχές όπου οι συντελεστές παρουσιάζουν ομοιότητες. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης διαχώρισαν την περιοχή μελέτης από τρεις έως πέντε συστάδες/ομάδες (*clusters*), όπου ήταν δυνατό να αναγνωριστούν οι ορεινές/ημιορεινές περιοχές, η αγροτική ζώνη, και σε ορισμένες περιπτώσεις οι δομημένες περιοχές (Εικόνες 4.8 – 4.12).

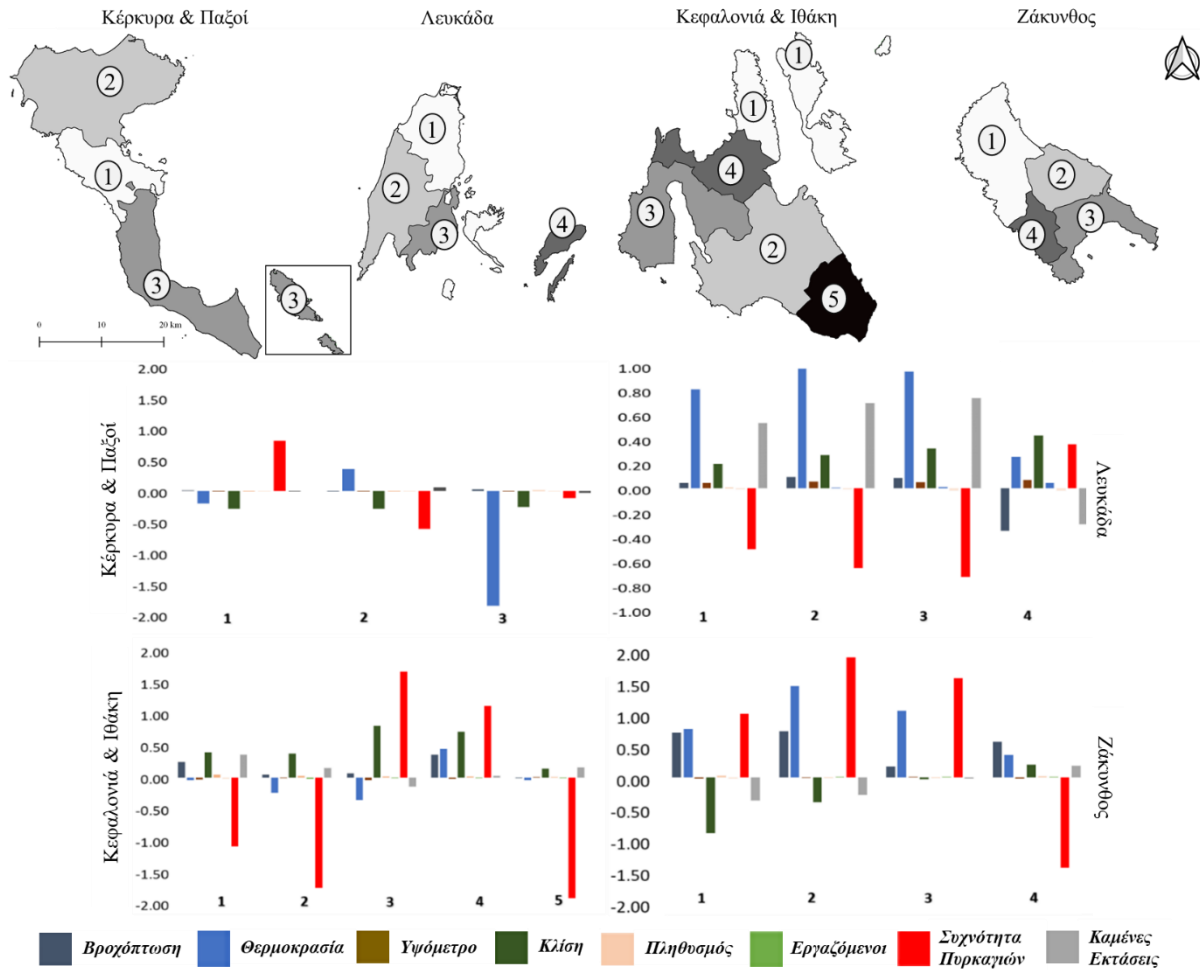
Η φυσική αναγέννηση έλαβε χώρα κυρίως σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλό υψόμετρο, με εξαίρεση την Κεφαλονιά και τη Λευκάδα, όπου η μεταβολή αυτή συνέβη σε όλη την έκταση των δύο νησιών (Εικόνα 4.7). Η μεταβλητή των κλίσεων παρουσίασε διαφορετική συμπεριφορά στις ορεινές συστάδες (συστάδα 2 για την Κέρκυρα, 2 και 3 για τη Λευκάδα, 3 για την Κεφαλονιά, και 1 & 4 για τη Ζάκυνθο). Σε αυτό το πλαίσιο, στην Κέρκυρα και στην Κεφαλονιά, οι κλίσεις είχαν αρνητική συσχέτιση με τη φυσική αναγέννηση, ενώ στα άλλα δύο νησιά θετική (Εικόνα 4.8). Ομοίως, η ύπαρξη καμένων περιοχών συσχετίστηκε θετικά στην αναγέννηση της φυσικής βλάστησης στην Κέρκυρα και στην Κεφαλονιά, αλλά αρνητικά στο δυτικό (ορεινό) τμήμα της Ζακύνθου και της Κεφαλονιάς. Το υψόμετρο και το οδικό δίκτυο έδειξαν μικρή θετική συσχέτιση σε όλες τις συστάδες που αναγνωρίστηκαν.



Εικόνα 4.8. Συστάδες για το GWR μοντέλο φυσικής αναγέννησης.

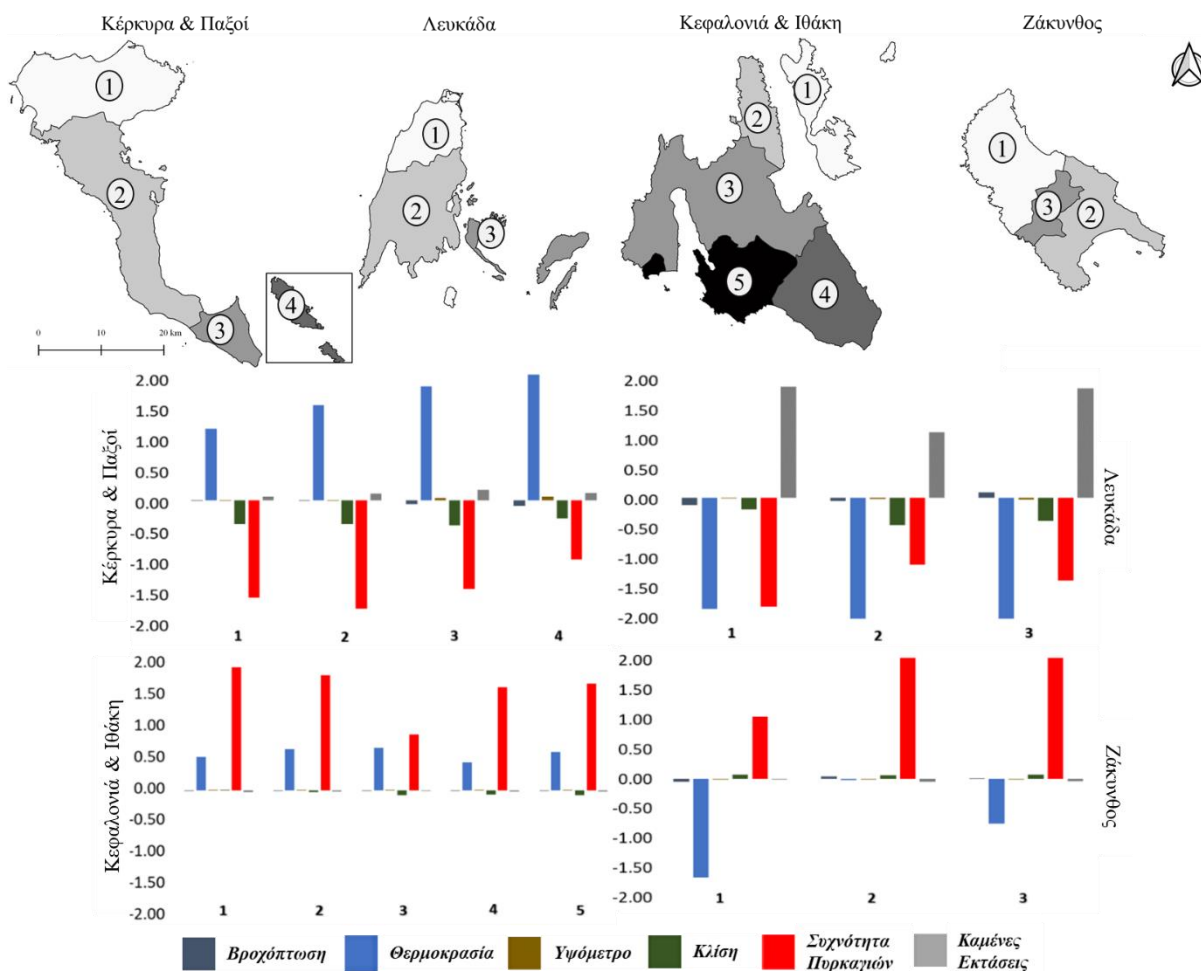
Ομοίως με τη φυσική αναγέννηση, και η υποβάθμιση παρατηρήθηκε στις ορεινές και ημιορεινές περιοχές, με μοναδική εξαίρεση την Κεφαλονιά (Εικόνα 4.7). Η συχνότητα πυρκαγιών εμφάνισε θετική και αρνητική ισχυρή συσχέτιση με την υποβάθμιση. Συγκεκριμένα, στο δυτικό τμήμα της Ζάκυνθου (συστάδα 1) και στο κεντρικό τμήμα της Κέρκυρας (συστάδα 1) η υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης συμβαίνει κυρίως λόγω της συχνής εμφάνισης πυρκαγιών (Εικόνα 4.9). Αντίθετα, τα συμβάντα πυρκαγιών φάνηκαν να έχουν αρνητική σχέση με την υποβάθμιση στις περιπτώσεις των ορεινών/ημιορεινών περιοχών της Κέρκυρας και της Λευκάδας (συστάδα 2). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι η συχνότητα πυρκαγιών και η έκταση των καμένων εκτάσεων παρουσίασαν αντίθετες συμπεριφορές σε όλα τα νησιά. Από την άλλη πλευρά, οι βιοκλιματικοί παράγοντες είχαν όμοια θετική συνεισφορά στην υποβάθμιση της βλάστησης, εκτός από την Κέρκυρα (συστάδα 1) και την Κεφαλονιά (συστάδες 2 και 3), όπου μόνο η βροχόπτωση έδειξε μία αδύναμη σχέση με αυτή τη μεταβολή. Επιπλέον, από το GWR μοντέλο για την υποβάθμιση, δεν ήταν εμφανείς οι χωρικές διαφοροποιήσεις για την παράμετρο των κλίσεων, ωστόσο, στη Ζάκυνθο η παράμετρος αυτή είχε

αρνητική συσχέτιση μόνο στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του νησιού (συστάδες 1 και 2). Το υψόμετρο και οι κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές δεν έδειξαν να επηρεάζουν ισχυρά την υποβάθμιση της βλάστησης, σε καμία συστάδα (Εικόνα 4.9).



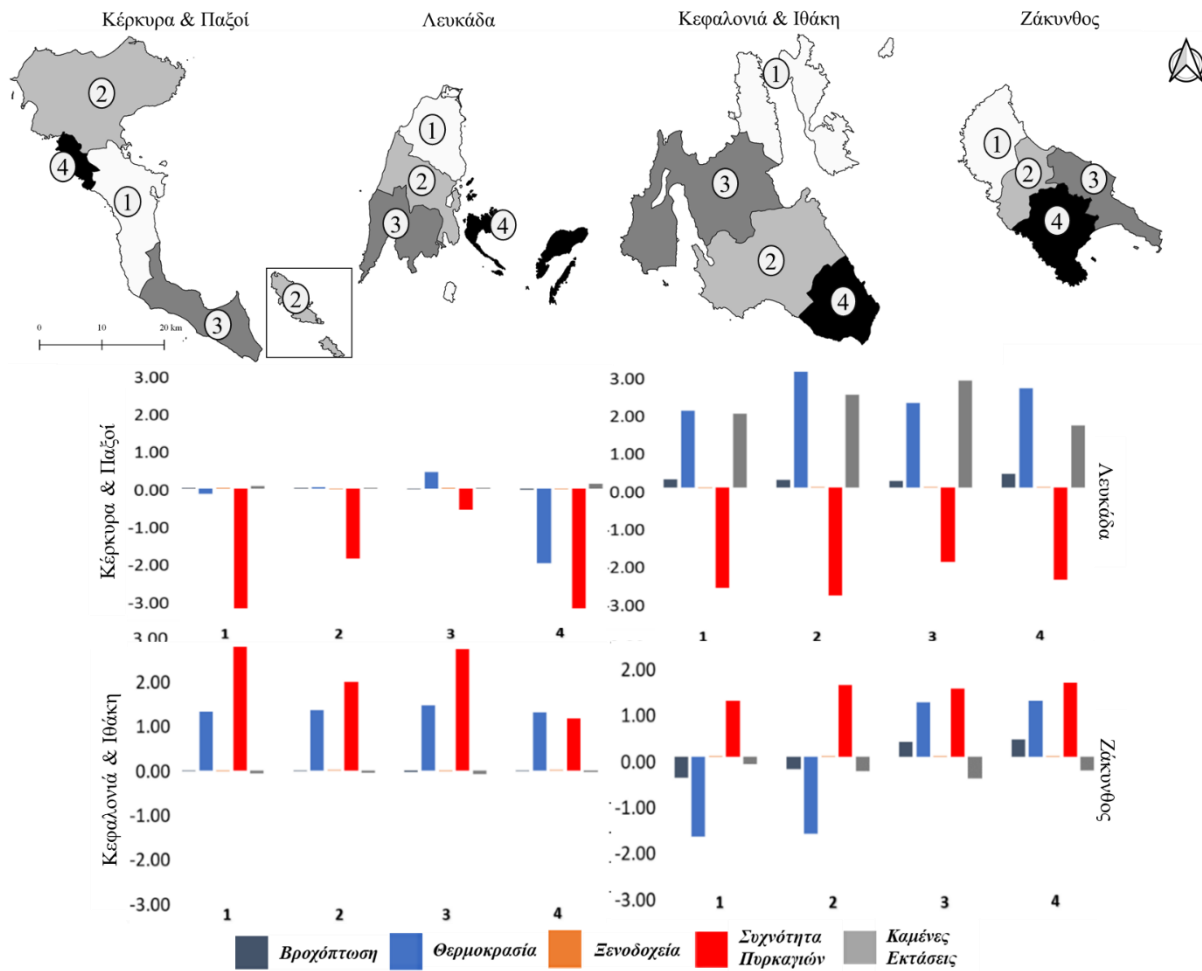
Εικόνα 4.9. Συστάδες για το GWR μοντέλο υποβάθμισης.

Ως εντατικοποίηση αναγνωρίστηκε η μεταβολή των περιοχών που καλύπτονταν από φυσική βλάστηση, σε αγροτικές περιοχές. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ένα σαφή διαχωρισμό σε όλα τα νησιά (Εικόνες 4.7 και 4.10). Στην Κέρκυρα, η θετική συσχέτιση των βροχοπτώσεων αυξάνονταν από βορά προς νότο, ενώ αντίθετα η αρνητική συσχέτιση της συχνότητας πυρκαγιάς μειώνονταν (Εικόνα 4.10). Στη Λευκάδα, η βροχόπτωση και η συχνότητα πυρκαγιάς είχαν όμοια αρνητική συσχέτιση, ωστόσο, δεν ήταν δυνατό να διαχωριστεί με ακρίβεια η αγροτική ζώνη σε συστάδες. Αντίθετα, στην Κεφαλονιά (συστάδα 5) και στη Ζάκυνθο (συστάδα 2), υπήρξε ένα σαφές διαχωρισμός της αγροτικής ζώνης, με τη συχνότητα πυρκαγιάς να συσχετίζεται θετικά με την εντατικοποίηση αυτών των περιοχών (Εικόνα 4.10).



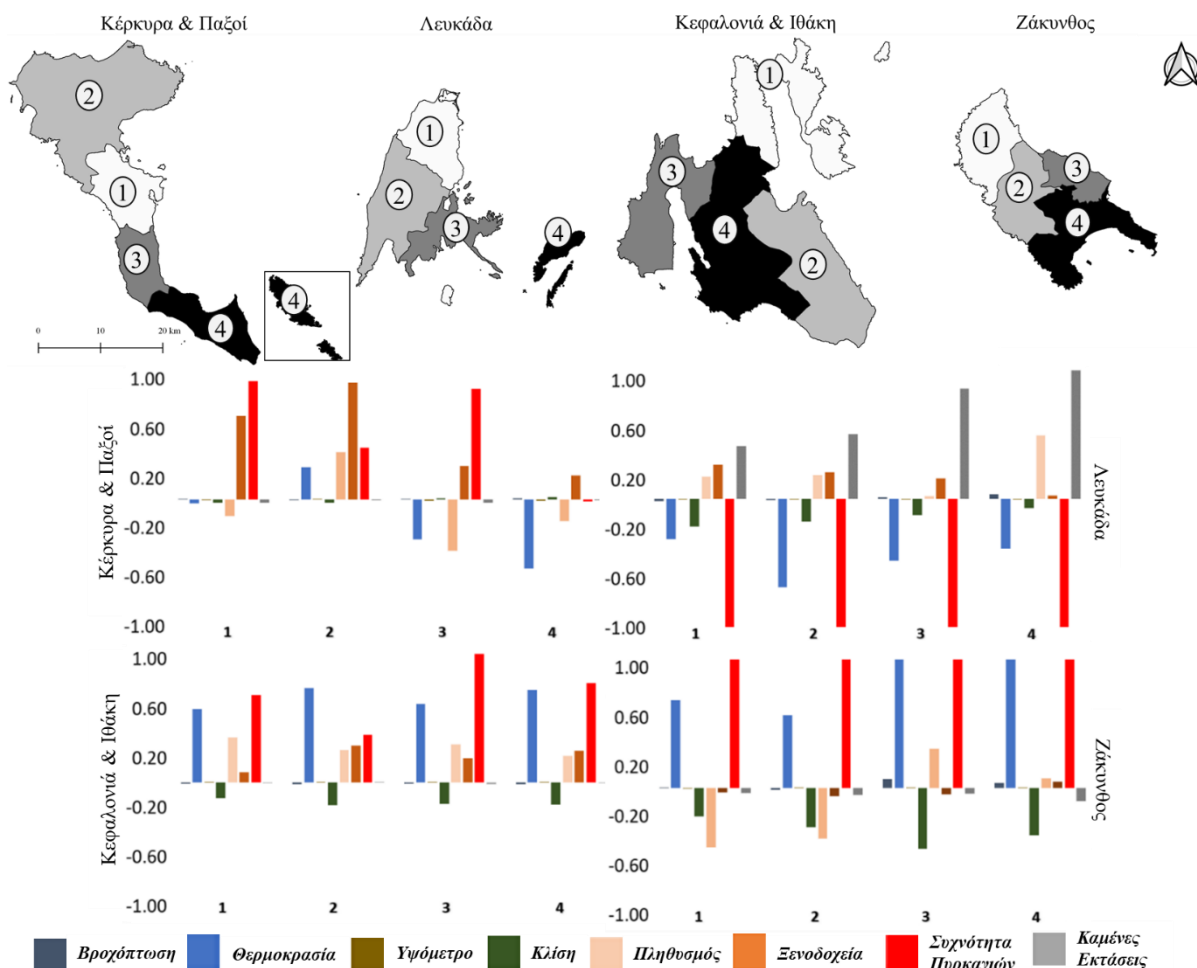
Εικόνα 4.10.Συστάδες για το GWR μοντέλο εντατικοποίησης.

Αντίθετα, οι αλλαγές στην αγροτική ζώνη όπου καλλιέργειες μετατρέπονται σε φυσική βλάστηση χαρακτηρίστηκαν ως εγκατάλειψη (Εικόνα 4.7). Στις περιοχές όπου έλαβε χώρα η διαδικασία της εγκατάλειψης (συστάδα 2 στην Κέρκυρα, 1 & 3 στη Λευκάδα, 1 & 2 στην Κεφαλονιά, και 3 & 4 στη Ζάκυνθο), τρεις κύριες συμπεριφορές παρατηρήθηκαν σχετικά με την συσχέτιση των βιοκλιματικών παραμέτρων και τη συχνότητα των πυρκαγιών (Εικόνα 4.11). Η βροχόπτωση και η συχνότητα πυρκαγιάς παρουσίασαν όμοια θετική σχέση με την εγκατάλειψη στη Ζάκυνθο και στην Κεφαλονιά. Αντίθετα, η συχνότητα πυρκαγιάς παρουσίασε αρνητική συσχέτιση με τη μεταβολή αυτή σε όλες τις συστάδες της Κέρκυρας και της Λευκάδας, ενώ η βροχόπτωση και η έκταση των καμένων περιοχών παρουσίασαν ισχυρές θετικές σχέσεις (Εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.11.Συστάδες για το GWR μοντέλο εγκατάλειψης.

Τέλος, το τοπικό μοντέλο παλινδρόμησης για την αστικοποίηση, παρουσίασε θετικές και αρνητικές σχέσεις των διάφορων πιθανών κινητήριων δυνάμεων. Η αστικοποίηση στα Ιόνια Νησιά συνέβη κυρίως σε περιοχές γύρω από τις υπάρχουσες αστικές και αγροτικές περιοχές (συστάδες 1 & 2 για την Κέρκυρα, 1 για τη Λευκάδα, 3 & 4 για την Κεφαλονιά, και 3 & 4 για τη Ζάκυνθο) (Εικόνες 4.7 και 4.12). Η συχνότητα πυρκαγιών, σε συνδυασμό με την αύξηση των τουριστικών καταλυμάτων και του πληθυσμού παρουσίασαν σημαντική θετική συνεισφορά στην αύξηση της δόμησης σε όλα τα νησιά, με εξαίρεση τη Λευκάδα, όπου η συχνότητα πυρκαγιάς παρουσίασε ισχυρή αρνητική σχέση. Η έκταση των καμένων περιοχών παρουσίασε θετική συνεισφορά στη διαδικασία της αστικοποίησης μόνο στη Λευκάδα (θετική συσχέτιση) και στη Ζάκυνθο (μικρή και αρνητική συσχέτιση). Επιπλέον, στα περισσότερα νησιά, το τραχύ έδαφος (μεταβλητή κλίσεων) επηρέασε αρνητικά την αστικοποίηση (Εικόνα 4.12).



Εικόνα 4.12.Συστάδες για το GWR μοντέλο αστικοποίησης.

4.4 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Τα Ιόνια Νησιά χαρακτηρίζονται από ετερογενή και δυναμικά τοπία, τα οποία αποτελούνται από μία μίξη φυσικής βλάστησης, καλλιεργειών, υποβαθμισμένων εδαφών και εκτεταμένων αστικών περιοχών (Kefalas et al., 2018). Από το 1985, πάνω από το 30% των εκτάσεων χρήσεων/καλύψεων γης έχει μεταβληθεί, ποσοστό το οποίο είναι όμοιο (ή σε ορισμένες περιπτώσεις μεγαλύτερο) με άλλες περιοχές της Μεσογείου, με τις μεταβολές αυτές να συμβαίνουν κυρίως στη ζώνη φυσικής βλάστησης, και στην αγροτική ζώνη. Η φυσική αναγέννηση και η υποβάθμιση της φυσική βλάστησης συμβαίνει κυρίως στις ορεινές/ημιορεινές περιοχές, ενώ η διαδικασία εντατικοποίησης των εδαφών συμβαίνει κυρίως στην αγροτική ζώνη. Το αποτέλεσμα αυτό, είναι σε συμφωνία με τα ευρήματα άλλων μελετών στην περιοχή της Μεσογείου (Brunori et al., 2017; De Aranzabal et al., 2008; Detsis et al., 2010; Geri et al., 2010; Serra et al., 2008; Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011). Από την άλλη πλευρά, η εγκατάλειψη των καλλιεργειών είναι περιορισμένη στα Ιόνια Νησιά, αντίθετα με ότι συμβαίνει στη Μεσόγειο, η οποία έχει χαρακτηριστεί ως *hot-spot* εγκατάλειψης (Serra et al., 2008).

Ενώ ο πληθυσμός είναι αυξανόμενος μετά την ραγδαία αύξηση του τουρισμού από τα μέσα της δεκαετίας του '70 (μείωση του πληθυσμού στα Ιόνια συνέβαινε έως τα μέσα της δεκαετίας του '70), η επέκταση ή η ανάπτυξη νέων αστικών περιοχών δεν είναι τόσο έντονη όπως σε άλλα Μεσογειακά νησιά και παράκτιες περιοχές (Parcerisas et al., 2012), πιθανόν επειδή νέα οικήματα και υποδομές αναπτύχθηκαν εντός της υπάρχουσας αστικής ζώνης.

Οι μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης φαίνεται να επηρέασαν τη δομή και διάρθρωση του τοπίου. Συγκεκριμένα, η αύξηση των δεικτών NP, TE και ED έδειξε την αύξηση του βαθμού ετερογένειας και διάσπασης του τοπίου. Ωστόσο, καθώς οι δείκτες αυτοί εξαρτώνται σημαντικά από την κλίμακα, είναι δύσκολο να εξαχθεί ένα σαφές συμπέρασμα (McAlpine & Eyre, 2002; Saura, Martinez-Millán, & Martinez-milian, 2001). Για το λόγο αυτό, επιπλέον δείκτες μέτρησης της διάσπασης και ποικιλότητας του τοπίου χρησιμοποιήθηκαν, οι οποίοι έδειξαν ότι το Ιόνιο τοπίο διατήρησε την ποικιλότητα του, μειώνοντας παράλληλα και το βαθμό διάσπασής του. Σε επίπεδο κλάσης, η αύξηση των περιοχών που καλύπτονται από υψηλής και μέσης πυκνότητας φυσική βλάστηση, κάτω από τη διαδικασία φυσικής αναγέννησης, δημιούργησε ένα ομοιογενές τοπίο με μεγαλύτερη γεωμετρική πολυπλοκότητα (Geri et al., 2010). Αντίθετα, στις περιοχές όπου η φυσική βλάστηση υποβαθμίστηκε, ο βαθμός διάσπασης του τοπίου αυξήθηκε. Τα δύο διαφορετικά πρότυπα που παρατηρήθηκαν στις κατηγορίες φυσικής βλάστησης αντιπροσωπεύουν την υψηλή δυναμική των κατηγοριών μέσης και χαμηλής πυκνότητας βλάστησης, οι οποίες διατήρησαν το 32% και 64% των περιοχών που κάλυπταν το 1985, αντίστοιχα, αντίθετα με την υψηλή σταθερότητα της υψηλής πυκνότητας βλάστησης (80%). Παράλληλα, στην αγροτική ζώνη, η κατηγορία των διαχειριζόμενων ελαιώνων είχε περισσότερο σταθερή δομή τοπίου σε σχέση με την κατηγορία των υψηλής πυκνότητας ελαιώνων. Το αποτέλεσμα αυτό είναι ως συνέπεια των δύο διαφορετικών καθεστώτων διαχείρισης: α) οι αγροτικές δραστηριότητες συμβαίνουν εντός της προκαθορισμένης αγροτικής ζώνης και β) οι παλιοί και εγκαταλελειμμένοι αγροί (κυρίως ελαιώνες) επεκτείνονται σε περιοχές με φυσική βλάστηση.

Οι παρατηρούμενες μεταβολές του τοπίου των Ιονίων Νήσων είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης επίδρασης κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών παραγόντων. Όπως φάνηκε και από το τρίτο κεφάλαιο, η ένταση και η κατεύθυνση των αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης διαφέρει ανάμεσα στα νησιά και εντός των νησιών, δείχνοντας ότι δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος συνδυασμός παραγόντων που προκαλεί κάποια συγκεκριμένη μεταβολή. Έτσι, οι αλλαγές χρήσεων/καλύψεων γης συνδέθηκαν με έναν διαφορετικό συνδυασμό κοινωνικό-περιβαλλοντικών παραγόντων μέσω Πολλαπλής Γραμμικής και Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης. Με τον τρόπο αυτό, το

προτεινόμενο πλαίσιο προσέφερε μία αποτελεσματική προσέγγιση για την αναγνώριση και κατανόηση των χωρικών προτύπων και τάσεων των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης (Maimaitijiang et al., 2015).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εφαρμογή της GWR ήταν ιδιαιτέρως αποτελεσματική στην ερμηνεία των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης, σε σύγκριση με την Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση, καθώς βελτίωσε σημαντικά την ερμηνεία των δεδομένων. Επιπλέον, μέσω της GWR ήταν εφικτή η κατανόηση των διαφορετικών επιδράσεων των ερμηνευτικών παραγόντων σε περιοχές με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως οι περιοχές που καλύπτονται από φυσική βλάστηση, αγροτικές περιοχές, και αστικές/περί-αστικές περιοχές των νησιών, όπως έχει συμβεί και σε άλλες μελέτες (Dawson et al., 2018; Jaimes et al., 2010; Maimaitijiang et al., 2015b; Markogianni et al., 2013). Έτσι, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την τοπική παλινδρόμηση, έδειξαν ότι οι μεταβλητές που συνδέονται με κάθε μεταβολή χρήσης/κάλυψης γης, συνεισφέρουν με διαφορετικό τρόπο (θετική ή αρνητική συσχέτιση) στην περιοχή μελέτης, επιβεβαιώνοντας την πιθανή χωρική διακύμανση των σχέσεων.

Γενικά, από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης φάνηκε ότι οι περιβαλλοντικές μεταβλητές και οι φυσικές καταστροφές συμβάλλουν σημαντικά σε όλες τις μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης, σε σύγκριση με τους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες που διαδραματίζουν έναν συμπληρωματικό ρόλο στις παρατηρούμενες αλλαγές. Με τον τρόπο αυτό, οι ανθρωπογενείς παράγοντες συνεισφέρουν στις βραχύχρονες αλλαγές, ενώ οι περιβαλλοντικοί παράγοντες επιδρούν στις χρήσεις/καλύψεις γης σε μακροχρόνιες περιόδους, καθώς καθορίζουν τις οικολογικές συνθήκες που μπορεί να υπάρξουν για έναν νέο τύπο χρήσης/κάλυψης γης (Bajocco et al., 2016; Lambin et al., 2001; Shao et al., 2006).

Τα αποτελέσματα, που εξήχθησαν από το τοπικό και το ολικό μοντέλο παλινδρόμησης για την φυσική αναγέννηση, έδειξαν ότι η μεταβολή αυτή επηρεάζεται αρνητικά από την έκταση των καμένων εκτάσεων και από το οδικό δίκτυο, αλλά θετικά από το υψόμετρο και την κλίση. Αυτό το αποτέλεσμα υποστηρίζουν και προηγούμενες μελέτες που έγιναν σε περιοχές της Μεσογείου, όπου η δασική αναγέννηση συνδέεται θετικά με τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων του υψόμετρου και των κλίσεων (Alvarez Martinez et al., 2011; Felicísimo et al., 2002; Florinsky & Kuryakova, 1996; Serra et al., 2008). Στα Ιόνια Νησιά, το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι η φυσική βλάστηση ανακάμπτει στα ορεινά τμήματα, κυρίως λόγω της δύσκολης πρόσβασης σε αυτές τις φυσικές περιοχές. Ωστόσο, οι ίδιες περιοχές είναι επίσης επιδεκτικές σε διαδικασίες υποβάθμισης.

Ένας κύριος παράγοντας υποβάθμισης των ορεινών/ημιορεινών περιοχών είναι η ερημοποίηση που επέρχεται μετά από την εδαφική διάβρωση (Karamesouti et al., 2015). Οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν τα εδάφη να διαβρωθούν και να ερημοποιηθούν είναι η τραχύτητα του εδάφους και η συχνότητα των πυρκαγιών (Bullard, 2004), οι οποίοι είναι δύο παράγοντες που στην περίπτωση των Ιονίων Νήσων συνδέονται θετικά με την υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης. Επίσης, από τα αποτελέσματα παρατηρήθηκε και η αρνητική επίδραση της ανθρώπινης παρουσίας και των δραστηριοτήτων στη φυσική βλάστηση, υποστηρίζοντας τα ευρήματα και άλλων μελετών (Abu Hammad & Tumeizi, 2012; Karamesouti et al., 2015).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι αν και οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες θεωρούνται ως ένας από τους κύριους παράγοντες υποβάθμισης της φυσικής βλάστησης (Blondel, 2008; Detsis et al., 2010; Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011), στα Ιόνια Νησιά, δεν έχουν σημαντική συμβολή. Η απουσία αυτού του κοινωνικοοικονομικού παράγοντα στη φυσική αναγέννηση και στην υποβάθμιση της βλάστησης μπορεί να ερμηνευτεί από τη χωρική γενίκευση της συγκεκριμένης δραστηριότητας (δηλ. της βόσκησης και της εκτροφής), η οποία συμβαίνει κυρίως σε μία συγκεκριμένη τοπική κλίμακα, και σε περιοχές όπου τα φυτικά είδη έχουν προσαρμοστεί σε αυτό το καθεστώς όχλησης (Tzanopoulos et al., 2005). Επίσης, στα Ιόνια Νησιά, η συχνότητα πυρκαγιών συνδέεται θετικά κυρίως με την υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης, ενώ σε άλλες Μεσογειακές περιοχές είναι συνδεδεμένη με την βελτίωση των συνθηκών βόσκησης (Blondel et al., 2010).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα Ιόνια Νησιά θεωρούνται ένα τουριστικό *hot-spot*, όπου θα αναμένονταν μεγάλες αλλαγές στην αγροτική ζώνη (κυρίως εγκατάλειψη ή εντατικοποίηση των καλλιεργειών), όπως συμβαίνει και σε άλλες περιοχές της Μεσογείου (Brunori et al., 2017; Detsis et al., 2010; Serra et al., 2008). Παρόλα αυτά, οι μεταβολές της αγροτικής ζώνης είναι περιορισμένες, υποστηρίζοντας ότι ο τουρισμός και οι αγροτικές δραστηριότητες, σε πολλές περιπτώσεις, δρουν συμπληρωματικά για την τοπική οικονομία (Buhalis, 1998; Martinis et al., 2016; Pungetti et al., 2008). Συνεπώς, η περιορισμένη εγκατάλειψη των καλλιεργειών συνδέεται αρνητικά με τον αριθμό των ξενοδοχείων/τουριστικών καταλυμάτων, αποτυπώνοντας με αυτό τον τρόπο το βιώσιμο συνδυασμό της παραγωγής τοπικών προϊόντων με τις τουριστικές δραστηριότητες. Εξάιρεση αποτελεί η Ζάκυνθος, όπου η εγκατάλειψη συμβαίνει κυρίως σε περιοχές κοντά στα τουριστικά κέντρα, με τη μεταβολή αυτή να συνδέεται θετικά με την αύξηση των ξενοδοχείων/τουριστικών καταλυμάτων. Αντίθετα, η εντατικοποίηση των καλλιεργειών δεν συσχετίζεται με κανέναν κοινωνικοοικονομικό ή δημογραφικό παράγοντα, καθώς, όπως σημειώνεται, είναι αποτέλεσμα

συνδυασμού τεχνολογικών και πολιτικών παραγόντων (π.χ. ΚΑΠ) (van Vliet et al., 2015). Και με τις δύο μεταβολές της αγροτικής ζώνης, οι περιβαλλοντικοί παράγοντες έχουν ισχυρή σχέση, δείχνοντας ότι αυτές οι μεταβολές συμβαίνουν κυρίως σε πεδινές περιοχές, οι οποίες χαρακτηρίζονται από ήπιο ανάγλυφο και κατάλληλες κλιματικές συνθήκες (Bajocco et al., 2016).

Κατά τη μελετώμενη περίοδο, οι δομημένες εκτάσεις αυξήθηκαν μόνο κατά 0,7%, το οποίο είναι σε πλήρη αντίθεση με την ισχυρή αυξητική τάση που παρουσιάζεται σε άλλα Μεσογειακά νησιά (Serra et al., 2008; Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011). Χωρικά, η αύξηση αυτή συμβαίνει είτε γύρω από αστικά κέντρα/χωριά, είτε εντός της αγροτικής ζώνης. Γενικά, η μεταβολή αυτή, οδηγείται κυρίως από κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές (ειδικότερα τον πληθυσμό) και λαμβάνει χώρα σε πεδινές και παράκτιες περιοχές (Bajocco et al., 2016; Brunori et al., 2017; Detsis et al., 2010; Parcerisas et al., 2012). Ωστόσο, σε ορισμένες περιοχές της Κέρκυρας και της Ζακύνθου, ο πληθυσμός έχει αρνητική σχέση με την αστικοποίηση, συμπεραίνοντας ότι οι νέες δομημένες εκτάσεις, χρησιμοποιούνται ως δευτερες (παραθεριστικές) κατοικίες. Επίσης, τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι σε όλη την περιοχή μελέτης, η αύξηση της δόμησης οδηγείται και από την τουριστική δραστηριότητα.

Στο κεφάλαιο αυτό διαφαίνεται ότι η συνδυασμένη εφαρμογή τοπικών και ολικών στατιστικών μεθόδων με σύγχρονες τεχνικές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικών και Τηλεπισκόπησης αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την ενημέρωση των υπεύθυνων χάραξης πολιτικής και των ληπτών αποφάσεων σχετικά με τις διαδικασίες και τους παράγοντες που καθορίζουν τις χρήσεις/καλύψεις γης. Η λήψη αυτών των πληροφοριών είναι ιδιαίτερος σημαντική για την επίτευξη ενός αποτελεσματικού τοπιακού σχεδιασμού που θα είναι εφαρμόσιμος τόσο σε τοπικό όσο και σε περιφερειακό επίπεδο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ & ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ

Το παρόν κεφάλαιο έχει υποβληθεί για δημοσίευση ως: Kefalas, G., Poirazidis, K., Xofis P., Kalogirou, S., Chalkias C. Landscape dynamics on insular environments of south-east Mediterranean Europe. Geocarto International (Under Review).

5.1 Εισαγωγή

Η γνώση σχετικά με τις μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης είναι καθοριστικής σημασίας στην επιστημονική κοινότητα και στους λήπτες αποφάσεων, καθώς επηρεάζουν σημαντικά τα τοπικά οικοσυστήματα και τις υπηρεσίες που αυτά παρέχουν (Abuelaish & Olmedo, 2016; Bajocco et al., 2016; Islam et al., 2018; Lorilla et al., 2018; Metzger et al., 2006; Subedi et al., 2013). Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, παρατηρείται αυξημένη ένταση μεταβολής της κάλυψης γης, η οποία είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού της ταχείας μεταβολής των κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών με τις φυσικές διεργασίες και φυσικές καταστροφές (Geri et al., 2010; Kefalas et al., 2019; Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011).

Για τη συστηματική παρακολούθηση και την πρόβλεψη των χρήσεων/καλύψεων γης, καθώς και τις συνέπειες που προκαλούν στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, ερευνητές έχουν αναπτύξει και εφαρμόσει διάφορα μοντέλα τα οποία λαμβάνουν υπόψη τη δυναμική του τοπίου και τις κοινωνικό-περιβαλλοντικές κινητήριες δυνάμεις μεταβολής (Ku, 2016; Martinez, 1992; Veldkamp & Lambin, 2001). Τα μοντέλα πρόβλεψης χρήσεων/καλύψεων γης που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι τα μοντέλα εξισώσεων (*equation-based models*), τα στατιστικά μοντέλα (*statistical models*), τα εξελικτικά μοντέλα (*evolutionary models*), τα μοντέλα κυψελοειδών αυτομάτων (*Cellular Automata models*), τα Μαρκοβιανά μοντέλα (*Markov models*), τα υβριδικά μοντέλα (*hybrid models*), τα μοντέλα εξειδικευμένων συστημάτων (*expert system models*), και τα πολύ-πρακτορικά μοντέλα (*multi-agent models*) (Liping et al., 2018).

Τα μοντέλα κυψελοειδών αυτομάτων είναι τα συχνότερα εφαρμοζόμενα χωρικά μοντέλα για την προσομοίωση των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης, καθώς έχουν καλή υπολογιστική ικανότητα, και σχετικά απλή εφαρμογή, ενώ παράλληλα εξάγουν ακριβή αποτελέσματα (Agarwal et al., 2002; Dietzel & Clarke, 2006; He et al., 2008). Επιπλέον, θεωρούνται ισχυρό εργαλείο υποστήριξης του χωρικού σχεδιασμού (Dietzel & Clarke, 2006). Τα κύρια στοιχεία ενός μοντέλου κυψελοειδών αυτομάτων είναι ο χώρος γύρω από ένα κελί (*space under single cell*), η κατάσταση της παρατηρούμενης χωρικής μεταβλητής (*the state of the spatial variable under observation*), το χρονικό βήμα (*the time step over which automation involves*), οι κανόνες μετάβασης, οι οποίοι καθορίζουν τη μεταβολή κάθε κελιού (*transition rules*), και η χωρική κατανομή των γειτονικών κελιών (*spatial distribution of neighboring cells*) (Ghosh et al., 2017; White & Engelen, 2000). Η σημαντικότερη διαδικασία στην μοντελοποίηση με βάση τα κυψελοειδή αυτόματα είναι ο υπολογισμός των κανόνων μετάβασης (ή βαθμονόμηση του μοντέλου) (Berberoğlu et al., 2016; Gounaridis et al., 2019; Liu et

al., 2017). Μέχρι σήμερα, έχουν αναπτυχθεί, ή προσαρμοστεί διάφορες προσεγγίσεις και μοντέλα τα οποία έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις και προαπαιτούμενα που καθορίζουν την επιτυχή εφαρμογή της μοντελοποίησης (Cheng & Masser, 2003; Ku, 2016). Παράλληλα, σημαντικό ρόλο στα μοντέλα πρόβλεψης έχει και η ενσωμάτωση της μελλοντικής ζήτησης των χρήσεων/καλύψεων γης, η οποία σε ορισμένες προσεγγίσεις λαμβάνεται υπόψη κατά το τελικό στάδιο χωροθέτησης (Dietzel & Clarke, 2006; Pijanowski et al., 2006; Sohl et al., 2007; Verburg et al., 2002), ενώ σε άλλες προσεγγίσεις λαμβάνεται υπόψη καθ' όλη τη διάρκεια της μοντελοποίησης (Liu et al. 2017).

Η μελλοντική σύσταση του τοπίου εξαρτάται κυρίως από το καθεστώς διαχείρισης μίας περιοχής καθώς και από άλλα τυχαία γεγονότα, όπως είναι οι φυσικές καταστροφές. Οι συνέπειες των διαφορετικών καθεστώτων διαχείρισης μπορούν να διερευνηθούν μέσω της ανάλυσης διαφόρων σεναρίων (*scenario-based analysis*) (Greeuw et al., 2000). Ιδιαίτερα σε περιοχές που παρουσιάζουν υψηλή δυναμική, όπως είναι οι παράκτιες και νησιωτικές περιοχές της Μεσογείου, η αβεβαιότητα του τελικού αποτελέσματος αυξάνεται όταν η πρόβλεψη των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης γίνεται για ένα και μοναδικό σενάριο (Gounaridis et al., 2019). Ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη μείωση της αβεβαιότητας είναι η χρήση πολλαπλών σεναρίων, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τις ιστορικές τάσεις μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης (Brown et al., 2013; Martellozzo et al., 2018; Verburg et al., 2016).

Στο πλαίσιο αυτό, το παρόν κεφάλαιο στοχεύει στην πρόβλεψη της μελλοντικής σύστασης και δομής του τοπίου των Ιονίων νήσων, κάτω από διαφορετικά σενάρια, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο βιώσιμου τοπιακού σχεδιασμού. Για την επίτευξη του στόχου, γίνεται ο συνδυασμός δύο διαφορετικών μοντέλων πρόβλεψης: το Μαρκοβιανό μοντέλο για τον υπολογισμό της μελλοντικής ζήτησης και το μοντέλο FLUS για τη χωροθέτηση των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης.

5.2 Δεδομένα και μεθοδολογία

5.2.1 Δεδομένα

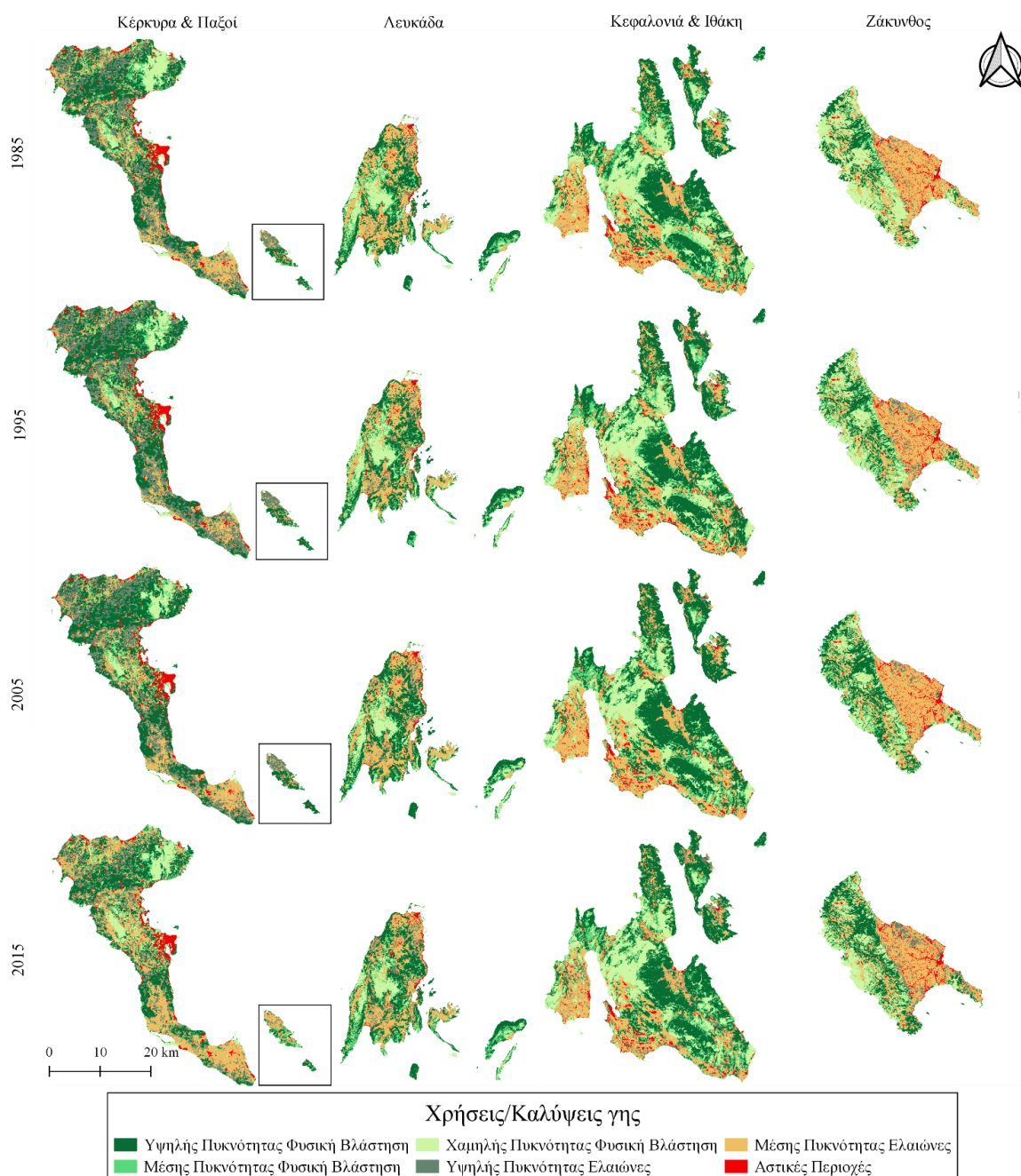
Για το παρόν κεφάλαιο χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις χάρτες χρήσεων/καλύψεων γης για τα έτη 1985, 1995, 2005 και 2015. Οι χάρτες για τα έτη 1985 και 2015 είναι αποτέλεσμα της ταξινόμησης του τρίτου κεφαλαίου, ενώ χρησιμοποιώντας το ίδιο σχήμα ταξινόμησης, χαρτογραφήθηκαν οι χρήσεις/καλύψεις γης για τα έτη 1995 και 2005, με τη χρήση εικόνων *Landsat 5TM*. Τα αρχικά δεδομένα ενοποιήθηκαν σε έξι ευρείες κλάσεις, με βάση τη λογική που παρουσιάστηκε στο

προηγούμενο κεφάλαιο. Αξίζει να σημειωθεί ξανά ότι οι τρεις ενοποιημένες κλάσεις της ζώνης φυσικής βλάστησης (Υψηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση (ΥΠΦΒ), Μέσης Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση (ΜΠΦΒ), και Χαμηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση (ΧΠΦΒ)) αντιπροσωπεύουν τα τρία διαφορετικά στάδια εξέλιξης, ενώ οι κλάσεις της αγροτικής ζώνης (Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες (ΥΠΕ), Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες (ΜΠΕ)) αναφέρονται σε δύο διαφορετικά καθεστώτα διαχείρισης. Τέλος η έκτη κλάση είναι οι Αστικές Περιοχές (ΑΣ) (Εικόνα 5.1).

Λαμβάνοντας υπόψη μελέτες που σχετίζονται με την πρόβλεψη των χρήσεων/καλύψεων γης, και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, επιλέχθηκαν δεκαπέντε μεταβλητές για να χρησιμοποιηθούν ως οι κινητήριες δυνάμεις μεταβολής (Πίνακας 5.1 και Εικόνες Παραστήματος 13 - 16). Οι μεταβλητές ελήφθησαν από διάφορες πηγές, με διαφορετική διακριτική ικανότητα, αντιπροσωπεύοντας τρεις κύριες κατηγορίες παραγόντων: α) περιβαλλοντικών, β) κοινωνικοοικονομικών και γ) φυσικών καταστροφών. Όπως σημειώνεται και στο κεφάλαιο τέσσερα, οι περιβαλλοντικές παράμετροι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του μελλοντικού τοπίου, καθώς καθορίζουν τις οικολογικές συνθήκες για τις νέες χρήσεις/καλύψεις γης (Bajocco et al., 2016; Felicísimo et al., 2002; Serra et al., 2008). Επιπροσθέτως, οι μεταβλητές αυτής της κατηγορίας καθορίζουν και την καταλληλότητα μίας περιοχής για αστικοποίηση (Gounaridis et al., 2019). Για τις αναλύσεις αυτού του κεφαλαίου, χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες με το τέταρτο κεφάλαιο κλιματικές και γεωμορφολογικές μεταβλητές. Επίσης, ως περιβαλλοντικές θεωρούνται και δύο μεταβλητές απόστασης (ευκλείδεια απόσταση από προστατευόμενες περιοχές και από τη θάλασσα). Οι μεταβλητές αυτές θεωρούνται ιδιαίτερες σημαντικές στην περίπτωση της αστικοποίησης, καθώς περιοχές κοντά στην ακτή και σε προστατευόμενες περιοχές προσφέρουν επιπλέον κίνητρα μόνιμης διαμονής λόγω της καλύτερης ποιότητας ζωής που προσφέρουν (Gounaridis et al., 2019). Επιπροσθέτως, καθώς η αύξηση της δόμησης στα Ιόνια οδηγείται κυρίως από το μαζικό θερινό τουρισμό (Kefalas et al., 2019), η εγγύτητα από την ακτή θεωρείται σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στη δόμηση νέων τουριστικών καταλυμάτων.

Η σημαντικότητα των κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών στη διαμόρφωση της σύστασης και δομής του τοπίου αναλύεται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 4. Για τους σκοπούς αυτού του κεφαλαίου χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές με το τέταρτο κεφάλαιο, ωστόσο βελτιώθηκε η χωρική τους ανάλυση μέσω διαγραμμικής παρεμβολής (*bilinear interpolation*). Επιπροσθέτως, ως κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές θεωρήθηκαν η απόσταση από τα τουριστικά θέρετρα και από το οδικό δίκτυο. Τέλος, όπως σημειώνεται και από τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο της

διδασκατορικής διατριβής, η συχνή εμφάνιση πυρκαγιών στα Ιόνια Νησιά, θεωρείται ως παράγοντας κλειδί για την υποβάθμιση των φυσικών οικοσυστημάτων. Επιπλέον, η συχνότητα πυρκαγιάς μαζί με ο ανάγλυφο και άλλους κλιματικούς παράγοντες καθορίζουν την επιδεκτικότητα μιας περιοχής σε φαινόμενα ερημοποίησης (Bullard, 2004), και για το λόγο αυτό υπολογίστηκε ο δείκτης Περιβαλλοντικά Ευαίσθητων Περιοχών σε Φαινόμενα Ερημοποίησης (*Environmental Sensitive Areas in Desertification Index - ESAI*). Οι μεταβλητές φυσικών καταστροφών παραχωρήθηκαν από το Τμήμα Περιβάλλοντος του Ιονίου Πανεπιστημίου.



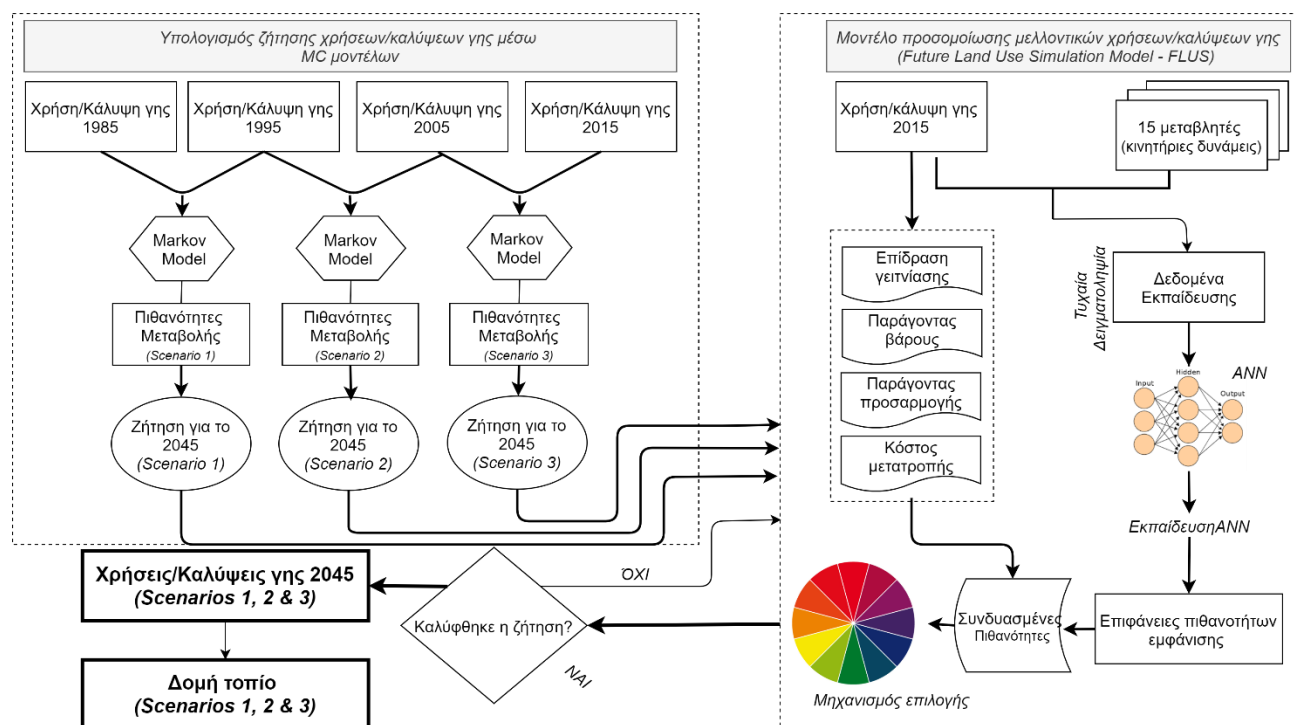
Εικόνα 5.1. Χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης για τα έτη 1985, 1995, 2005 και 2015.

Πίνακας 5.1. Μεταβλητές πρόβλεψης χρήσεων/καλύψεων γης.

Κατηγορία	Μεταβλητή	Μονάδα Μέτρησης	Πηγή
Περιβαλλοντικές	Βροχόπτωση	mm	www.worldclim.org
	Θερμοκρασία	°C	
	Υψόμετρο	m	Aster GDEM (https://asterweb.jpl.nasa.gov/ , λήψη 2018)
	Κλίση	Μοίρες	
	Απόσταση από προστατευόμενες περιοχές	Ευκλείδεια απόσταση (m)	Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας
	Απόσταση από τη θάλασσα		
Κοινωνικοοικονομικές	Απόσταση από το οδικό δίκτυο		Open Street Map (https://www.openstreetmap.org/ , λήψη 2018)
	Απόσταση από τουριστικά θέρετρα		-----
	Πληθυσμιακή πυκνότητα	Σχετική μεταβολή της πυκνότητας (%) την περίοδο 1991 - 2011	Ελληνική Στατιστική Αρχή (https://statistics.gr , λήψη 2018)
	Πυκνότητα εργαζομένων		
	Πυκνότητα τουριστικών υποδομών		
	Πυκνότητα κτηνοτροφικών ζώων		
Φυσικές Καταστροφές	Περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές σε ερημοποίηση	Δείκτης ESAI	Τμήμα Περιβάλλοντος, Ιόνιο Πανεπιστήμιο
	Συχνότητα Πυρκαγιών	Αριθμός πυρκαγιών περιόδου 1985 - 2015	
	Καμένες Εκτάσεις	ha	

5.2.2 Μοντέλο προσομοίωσης μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης

Με σκοπό την πρόβλεψη της μελλοντικής σύστασης και δομής του Ιονίου τοπίου, εφαρμόστηκε το μοντέλο *Future Land Use Simulation Model (FLUS)* το οποίο προτάθηκε από τους Liu et al. (2017) (Εικόνα 5.2). Το FLUS είναι ένα μοντέλο προσομοίωσης χρήσεων/καλύψεων γης βασισμένο στα Κυψελοειδή Αυτόματα (*Cellular Automata - CA*), το οποίο έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε μελέτες προσομοίωσης πολλαπλών χρήσεων/καλύψεων γης λαμβάνοντας υπόψη κοινωνικό-περιβαλλοντικές παραμέτρους (Liang et al., 2018; Liang et al., 2018; Liu et al., 2017).



Εικόνα 5.2. Διάγραμμα ροής εργασιών/μεθοδολογικό πλαίσιο.

Η προσομοίωση μέσω FLUS στηρίζεται σε δύο διακριτές διαδικασίες (Εικόνα 5.2): α) την εύρεση της μελλοντικής ζήτησης κάθε χρήσης/κάλυψης γης και β) τη χρήση των κυψελοειδών αυτομάτων για τη χωρική κατανομή των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης. Για την εύρεση της μελλοντικής ζήτησης των χρήσεων/καλύψεων γης συνήθως χρησιμοποιούνται ειδικά μοντέλα (System Dynamic - SD), τα οποία λαμβάνοντας υπόψη πιθανές μεταβολές των ανεξάρτητων παραμέτρων (π.χ. κοινωνικό-περιβαλλοντικές μεταβλητές) υπολογίζουν για συγκεκριμένη χρονική στιγμή στο μέλλον την έκταση κάθε κατηγορίας κάλυψης/χρήσης γης. Από την άλλη πλευρά, τα CA μοντέλα χρησιμοποιούνται για τη χωροθέτηση των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης λαμβάνοντας υπόψη τις πολύπλοκες σχέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χρήσεων/καλύψεων γης.

5.2.2.1 Πρόβλεψη ζήτησης χρήσεων/καλύψεων γης

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μελέτες οι οποίες έχουν χρησιμοποιήσει το FLUS υπολογίζουν τη μελλοντική ζήτηση των χρήσεων καλύψεων γης μέσω SD μοντέλων. Ωστόσο, αυτά τα μοντέλα είναι ιδιαίτερος πολύπλοκα, απαιτώντας ένα μεγάλο αριθμό δεδομένων. Για το λόγο αυτό, η ζήτηση των μελλοντικών εκτάσεων χρήσεων/καλύψεων γης υπολογίστηκε μέσω Μαρκοβιανών Αλυσίδων (Markov Chain Model - MC), όπως προτείνεται επίσης από τους Liang et al. (2018). Το MC μοντέλο είναι μία μέθοδος υπολογισμού των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα μεταβολής αυτών σε δύο καθορισμένες χρονικές στιγμές (Εξίσωση 5.1):

$$S_{(t,t+1)} = P_{ij} * S_t \quad (5.1)$$

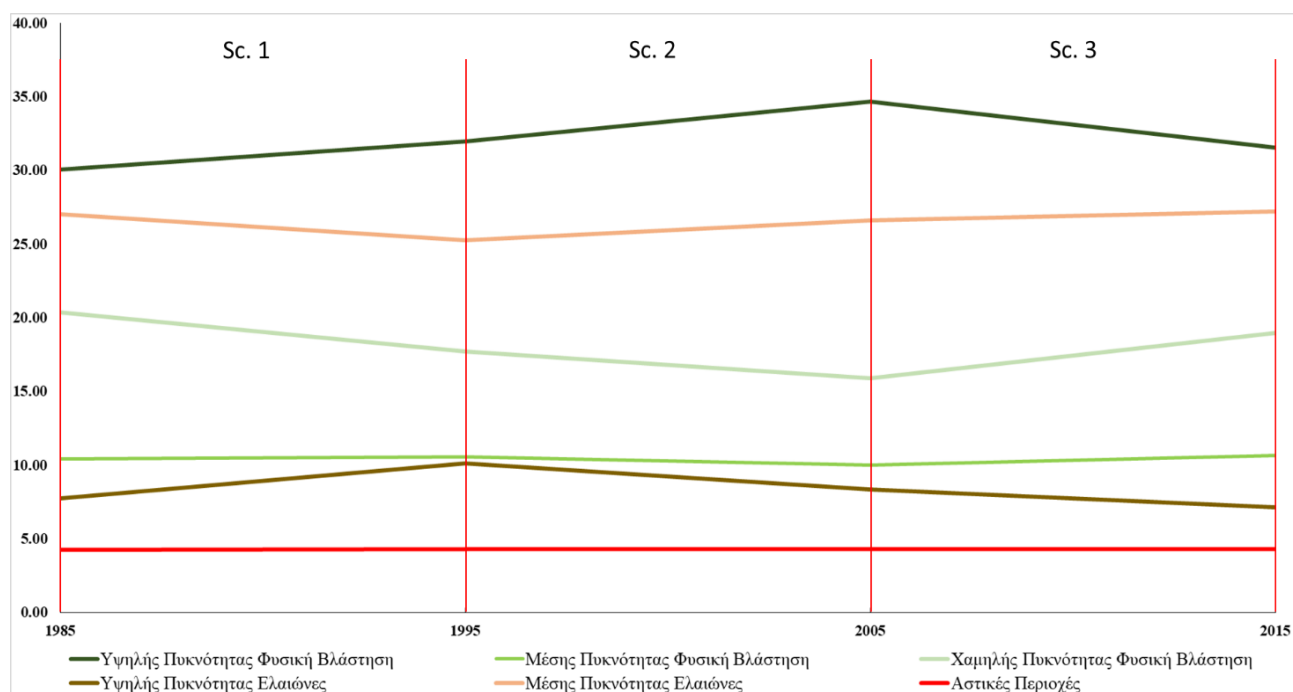
όπου $S_{(t)}$ είναι η κάλυψη της γης τη χρονική στιγμή t , $S_{(t+1)}$ η κάλυψη της γης τη χρονική στιγμή $t+1$, $P_{(ij)}$ η μήτρα πιθανοτήτων μεταβολής η οποία υπολογίζεται ως (5.2)

$$= \|p_{ij}\| = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & p_{1,N} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & p_{2,N} \\ p_{N,1} & p_{N,2} & p_{N,N} \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

$$(0 \leq p_{ij} \leq 1)$$

P είναι η πιθανότητα μεταβολής, p_{ij} η πιθανότητα μεταβολής από την παρούσα κατάσταση i σε άλλη κατάσταση j την επόμενη χρονική στιγμή, p_n η πιθανότητα μεταβολής σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή n . Έτσι, με βάση και τα παραπάνω, τα MC μοντέλα υπολογίζουν το ποσό της έκτασης μιας περιοχής που θα αλλάξει κάλυψη από την τελευταία χρονική στιγμή σε μία στο μέλλον.

Τα MC εφαρμόστηκαν σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους, οι οποίες αναφέρονται και σε τρία διαφορετικά σενάρια (*Baseline Scenarios*). Αυτά τα σενάρια, αντιπροσωπεύουν τις τρεις διαφορετικές φάσεις των χρήσεων/καλύψεων γης, της περιόδου 1985 – 2015, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.3, υποθέτοντας ότι θα είναι σε εξέλιξη έως το 2045. Σύμφωνα με τις παρατηρούμενες μεταβολές, τα τρία σενάρια είναι: α) αύξηση των δασών (Sc.1), β) αύξηση δασών και εντατικοποίηση καλλιεργειών (Sc.2) και γ) υποβάθμιση της βλάστησης (Sc.3). Το πρώτο σενάριο αναφέρεται στην περίοδο 1985 – 1995, όπου οι δασικές και αγροτοδασικές εκτάσεις αυξήθηκαν, ενώ οι εκτάσεις με αραιή φυσική βλάστηση και οι διαχειριζόμενοι αγροί μειώθηκαν. Το δεύτερο σενάριο, αναφέρεται στην περίοδο 1995 – 2005, όπου οι δασικές εκτάσεις διατήρησαν την αυξητική τους τάση. Σε αντίθεση με το πρώτο σενάριο, οι αγροτικές εκτάσεις κατά το σενάριο αυτό αυξάνονται ή/και καλλιεργούνται πιο εντατικά. Τέλος, το τρίτο σενάριο, αναφέρεται στην περίοδο 2005 – 2015 κατά την οποία η φυσική βλάστηση υποβαθμίστηκε, μέσω της μείωσης των δασικών εκτάσεων και της αύξησης των περιοχών που καλύπτονται από χαμηλής πυκνότητας βλάστηση. Σε όλα τα σενάρια, οι αστικές/δομημένες περιοχές παρουσιάζουν μικρή αύξηση.



Εικόνα 5.3. Τάσεις χρήσεων/καλύψεων γης (1985 - 2015) & σενάρια.

Από την εφαρμογή των MC μοντέλων για κάθε σενάριο εξήχθησαν είκοσι δύο πιθανότητες μεταβολής οι οποίες προήλθαν κάτω από δύο κύριες υποθέσεις: α) είναι αδύνατο να αλλάξουν κάλυψη γης οι αστικές και δομημένες περιοχές και β) οι κατηγορίες κάλυψης της ζώνης φυσικής βλάστησης (υψηλής-, μέσης-, και χαμηλής-πυκνότητας βλάστηση) δεν μπορούν να μετατραπούν σε ελαιώνες υψηλής πυκνότητας, αλλά μπορούν να μετατραπούν σε ελαιώνες μέσης πυκνότητας (Πίνακας 5.2), καθώς όπως σημειώνεται στα Κεφάλαια 3 και 4, οι υψηλής πυκνότητας ελαιώνες, ορίζονται ως εγκαταλελειμμένοι αγροί/ελαιώνες.

Πίνακας 5.2. Πιθανότητες μεταβολής των έξι κατηγοριών χρήσεων/καλύψεων γης.

Από	Σε	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Υψηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση	Μέσης Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση	0,0791	0,0931	0,1276
	Χαμηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση	0,0325	0,0424	0,0588
	Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες	0,0121	0,0177	0,0181
	Αστικές Περιοχές	0,0032	0,0021	0,0025
Μέσης Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση	Υψηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση	0,4407	0,3908	0,2461
	Χαμηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση	0,1671	0,2061	0,3367
	Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες	0,0261	0,0279	0,0269
	Αστικές Περιοχές	0,0054	0,0045	0,0049

Χαμηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση	Υψηλής Πυκνότητας Φυσικής Βλάστηση	0,0812	0,0922	0,0664
	Μέσης Πυκνότητας Φυσικής Βλάστηση	0,1833	0,1802	0,1216
	Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες	0,0281	0,0354	0,0219
	Αστικές Περιοχές	0,0073	0,0051	0,0067
Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες	Υψηλής Πυκνότητας Φυσικής Βλάστηση	0,0723	0,0306	0,0406
	Μέσης Πυκνότητας Φυσικής Βλάστηση	0,0041	0,0018	0,0086
	Χαμηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση	0,0012	0,0005	0,0026
	Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες	0,1642	0,1491	0,4162
	Αστικές Περιοχές	0,0055	0,0053	0,0056
Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες	Υψηλής Πυκνότητας Φυσικής Βλάστηση	0,2011	0,0187	0,0226
	Μέσης Πυκνότητας Φυσικής Βλάστηση	0,1048	0,0084	0,0113
	Χαμηλής Πυκνότητας Φυσική Βλάστηση	0,1373	0,0145	0,0194
	Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες	0,3742	0,1231	0,0921
	Αστικές Περιοχές	0,1828	0,0023	0,022

5.2.2.2 Προσομοίωση χρήσεων/καλύψεων γης

Η εφαρμογή του μοντέλου FLUS, στηρίζεται σε δύο κύρια βήματα (Liu et al., 2017): α) η εκπαίδευση και ο υπολογισμός των επιφανειών πιθανότητας εμφάνισης (*probability-of-occurrence*) για κάθε κατηγορία κάλυψης γης και β) η εφαρμογή ενός αυτο-προσαρμοζόμενου μηχανισμού καθορισμού των ανταγωνιστικών και συμμετοχικών σχέσεων μεταξύ των διάφορων κλάσεων χρήσεων/καλύψεων γης (*self-adaptive inertia and competition mechanism*). Μέσα από αυτά τα δύο βήματα εξάγονται οι συνδυασμένες πιθανότητες εμφάνισης (*combined probability-of-occurrence*), όπου η κυρίαρχη κατηγορία κάλυψης γης χωροθετείται σε προκαθορισμένο κάναβο κατά τη διάρκεια των επαναληπτικών διαδικασιών των κυψελοειδών αυτομάτων (Εικόνα 5.2).

Στο πρώτο βήμα, για την εκπαίδευση και τον υπολογισμό των επιπέδων πιθανοτήτων εμφάνισης, το μοντέλο FLUS χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (*Artificial Neural Network – ANN*), ο οποίος είναι ικανός να χαρτογραφήσει πολύπλοκες και πολλαπλές σχέσεις μεταξύ χρήσεων/καλύψεων γης και διαφόρων κοινωνικό-περιβαλλοντικών μεταβλητών. Γενικότερα, ένα ANN με πολλαπλά δεδομένα εισόδου και εξόδου αποτελείται από τρία κύρια επίπεδα (*layers*): α) το επίπεδο εισόδου (*input layer*), όπου κάθε νευρώνας αναφέρεται σε κάθε μεταβλητή πρόβλεψης (άρα

στην περίπτωση αυτή, το επίπεδο εισόδου αποτελείται από δεκαπέντε νευρώνες), β) το κρυμμένο επίπεδο (*hidden layer*), όπου μετατρέπει το σήμα που λαμβάνει από όλους τους νευρώνες εισόδου σε κατάλληλη μορφή για το επίπεδο εξόδου, και γ) το επίπεδο εξόδου (*output layer*), το οποίο στην περίπτωση αυτή αποτελείται από έξι νευρώνες όσες και οι κατηγορίες χρήσεων/καλύψεων γης, που συνδέεται με το κρυμμένο επίπεδο μέσω μίας συνάρτησης για τη δημιουργία των τιμών πιθανοτήτων εμφάνισης (Liang et al., 2018; Liu et al., 2017). Κατά τη διαδικασία εκπαίδευσης, ως δεδομένα εκπαίδευσης επιλέχθηκε το 10% των εικονοστοιχείων με τυχαία δειγματοληψία, τα οποία κανονικοποιήθηκαν σε εύρος [0, 1].

Στο δεύτερο βήμα, ο αυτο-προσαρμοζόμενος μηχανισμός καθορισμού των ανταγωνιστικών και συμμετοχικών σχέσεων μεταξύ των διάφορων κατηγοριών χρήσεων/καλύψεων γης (*self-adaptive inertia and competition mechanism*), σχεδιάστηκε ώστε να αντιμετωπίσει την υπόθεση προηγούμενων μοντέλων πρόβλεψης, δηλ. η σχέση μεταξύ της πιθανότητας εμφάνισης και των ανεξάρτητων μεταβλητών παραμένει σχετικά αμετάβλητη κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης (Liu et al., 2017). Επίσης, μέσω αυτού του μηχανισμού, το FLUS αυξάνει την ικανότητά του να ελέγξει την τυχαιότητα και την αβεβαιότητα των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης και να αυξήσει την επίδραση της μελλοντικής ζήτησης κάποιας συγκεκριμένης κάλυψης σε τοπικό επίπεδο (Liang et al., 2018). Ο μηχανισμός, που είναι ενσωματωμένος στο μοντέλο, αποτελείται από τρεις παράγοντες: α) το κόστος μετατροπής (*conversion cost*), το οποίο δείχνει το βαθμό δυσκολίας μετατροπής από μία κατηγορία κάλυψης γης σε μία άλλη, β) την επίδραση της γειτνίασης, η οποία είναι όμοια με αυτή των παραδοσιακών μοντέλων κυψελοειδών αυτομάτων και γ) ένας αυτο-προσαρμοζόμενος συντελεστής, που σχετίζεται με τις σχέσεις ανταγωνισμού και συμμετοχής των διαφορετικών κατηγοριών χρήσεων/καλύψεων, κατά τη διάρκεια της επαναληπτικής διαδικασίας των κυψελοειδών αυτομάτων (Εξίσωση 5.3).

$$Inertia_k^t = \begin{cases} Inertia_k^{t-1} & if \quad |D_k^{t-1}| \leq |D_k^{t-2}| \\ Inertia_k^{t-1} * \frac{D_k^{t-2}}{D_k^{t-1}} & if \quad D_k^{t-1} < D_k^{t-2} < 0 \\ Inertia_k^{t-1} * \frac{D_k^{t-1}}{D_k^{t-2}} & if \quad 0 < D_k^{t-2} < D_k^{t-1} \end{cases} \quad (5.3)$$

όπου, $Inertia_k^t$ είναι ο συντελεστής για την κατηγορία κάλυψης k στον χρόνο επανάλληψης t . D_k^{t-1} η διαφορά μεταξύ της ζήτησης και της κατανομής της κάλυψης γης έως το χρόνο επανάλληψης $t-1$. Να σημειωθεί ότι καθώς ο συντελεστής καθορίζεται μόνο για τη χρήση/κάλυψη γης η οποία καταλαμβάνει το κελί, αν θεωρηθεί ότι η κατηγορία κάλυψης k δεν είναι η παρούσα κάλυψη τότε ο

συντελεστής λαμβάνει τιμή 1, και δεν αλλάζει τη συνδυαζόμενη πιθανότητα της κλάσης k στο συγκεκριμένο κελί. Με βάση επίσης την εξίσωση 5.3, ο συντελεστής υπολογίζεται σε τρεις καταστάσεις: α) αν η κλάση k καταλαμβάνει έκταση ίση με την προβλεπόμενη ζήτηση, τότε ο συντελεστής σε επόμενες επαναλήψεις θα παραμείνει ίδιος δηλ. $|D_k^{t-1}| \leq |D_k^{t-2}|$, β) αν η ζήτηση για την κλάση k είναι μικρότερη από την παρούσα κατανομή, τότε σε επόμενες επαναλήψεις ο συντελεστής θα μειωθεί ελαφρώς, ως πολλαπλάσιου του προγενέστερου συντελεστή ως $\frac{D_k^{t-2}}{D_k^{t-1}}$ και γ) αν η ζήτηση για την κλάση k είναι μεγαλύτερη από την παρούσα κατανομή (δηλ. $0 < D_k^{t-2} < D_k^{t-1}$) τότε σε επόμενες επαναλήψεις ο συντελεστής θα αυξηθεί ελαφρώς, ως πολλαπλάσιου του προγενέστερου συντελεστή ως $\frac{D_k^{t-1}}{D_k^{t-2}}$.

Στην εφαρμογή στα Ιόνια Νησιά, οι τιμές για το κόστος μετατροπής - οι οποίες κυμαίνονται από 0 έως 1 - με τις υψηλές τιμές να δείχνουν μεγαλύτερη δυσκολία μετατροπής και οι χαμηλές μεγαλύτερη ευκολία μετατροπής - προσδιορίστηκαν εμπειρικά, με βάση την προγενέστερη γνώση της περιοχής μελέτης, και εμφανίζονται στον πίνακα 5.3. Επίσης, κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης η γειτονιά ορίστηκε σε 3*3 κελιά, ενώ ο αυτο-προσαρμοζόμενος συντελεστής για την πρώτη επανάληψη ορίστηκε ως 1. Η παραμετροποίηση των παραπάνω παραγόντων διαμορφώθηκε έπειτα από επαναληπτική διαδικασία, μέσω της οποίας αξιολογήθηκε το εκάστοτε αποτέλεσμα, καθώς και το πως μεταβάλλεται θέτοντας διαφορετικές τιμές σε κάθε επανάληψη.

Πίνακας 5.3. Κόστος μετατροπής κατηγοριών χρήσεων/καλύψεων γης,

Κλάσεις	ΥΠ ΦΒ	ΜΠ ΦΒ	ΧΠ ΦΒ	ΥΠ ΕΛ	ΜΠ ΕΛ	ΑΠ
ΥΠΦΒ	0	0,3	0,6	1	0,9	0,8
ΜΠΦΒ	0,3	0	0,7	1	0,8	0,7
ΧΠΦΒ	0,5	0,3	0	1	0,7	0,6
ΥΠΕ	0,4	0,6	0,8	0	0,2	0,8
ΜΠΕ	0,8	0,7	0,7	0,3	0	0,6
ΑΠ	1	1	1	1	1	0

Στη συνέχεια η συνδυαζόμενη πιθανότητα εμφάνισης όλων των κατηγοριών χρήσεων/καλύψεων γης υπολογίζεται (Εξίσωση 5.4) και εντάσσεται σε ένα μηχανισμό επιλογής τύπου ρουλέτας (Εικόνα 5.2). Ο κύριος σκοπός του μηχανισμού είναι η εύρεση της συμμετοχής κάθε κατηγορίας κάλυψης γης δηλ. αν σε ένα κελί μία κατηγορία κάλυψης έχει μεγαλύτερη συνδυαζόμενη πιθανότητα εμφάνισης, τότε είναι πιθανότερο να γίνει η αλλαγή.

$$TP_{i,k}^t = P_{i,k} * \Omega_{i,k}^t * Inertia_k^t * Con_{c \rightarrow k} \quad (5.4)$$

όπου, $TP_{i,k}^t$ είναι η συνδυαζόμενη πιθανότητα εμφάνισης στο κελί i για μετατροπή από την παρούσα κατηγορία κάλυψης στη κατηγορία κάλυψης k τη χρονική στιγμή επανάληψης t . $P_{i,k}$ είναι η πιθανότητα εμφάνισης (μέσω των ANN), $\Omega_{i,k}^t$ η επίδραση της γειτνίασης στην κατηγορία κάλυψης k , και $Con_{c \rightarrow k}$ είναι μήτρα μεταβολών, η οποία ορίζει την πιθανότητα μετατροπής από την αρχική κάλυψη στην κάλυψη k .

5.2.2.3 Απόδοση μοντέλου προσομοίωσης

Ο έλεγχος απόδοσης του μοντέλου έγινε μέσω σύγκρισης ενός προβλεπόμενου και ενός ταξινομημένου χάρτη χρήσεων/καλύψεων γης για το έτος 2015. Μέσω της σύγκριση υπολογίστηκαν η ολική ακρίβεια και ο συντελεστής *Cohen's Kappa*. Για την πρόβλεψη, η ζήτηση των χρήσεων/καλύψεων γης υπολογίστηκε μέσω MC μοντέλου λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα χρήσεων/καλύψεων γης για τα έτη 1995-2005.

5.2.3 Μελλοντική δομή του τοπίου

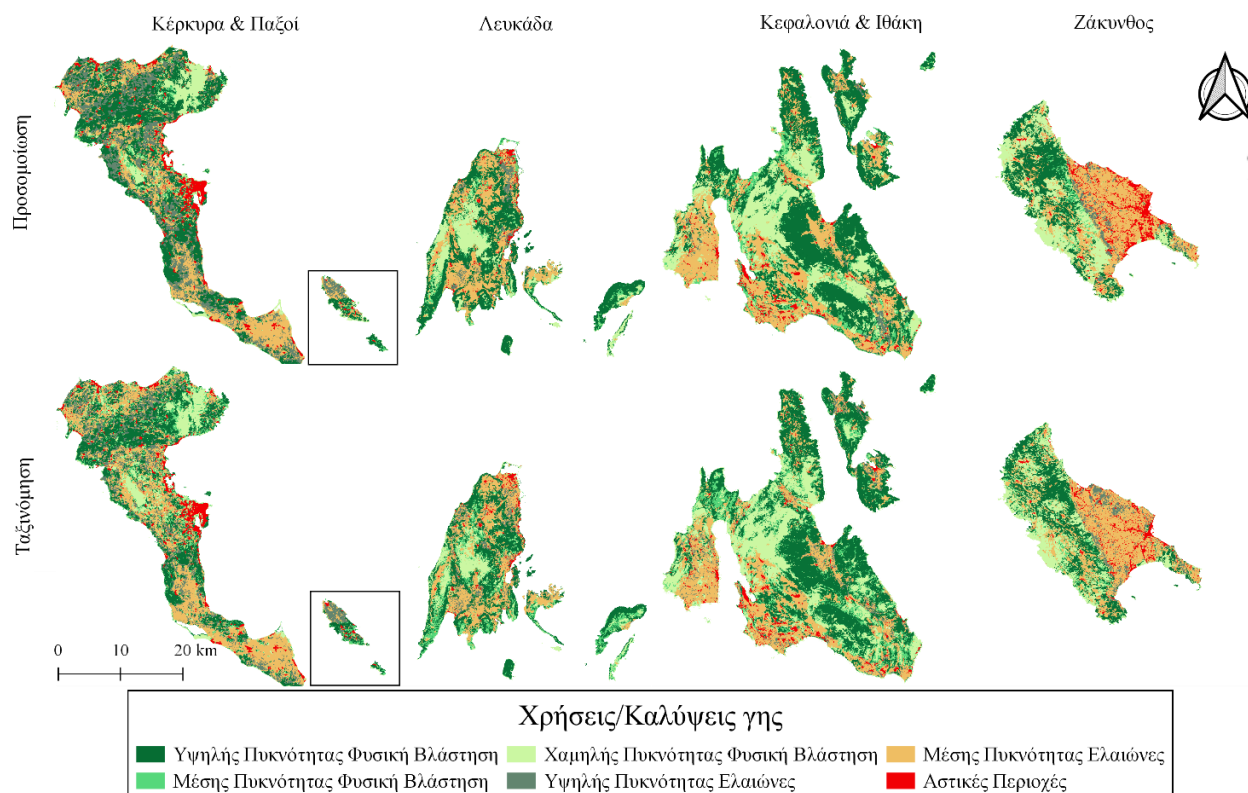
Για την πληρέστερη κατανόηση σχετικά με τη δομή του τοπίου των Ιονίων νήσων, υπολογίστηκαν μία σειρά από μετρικές τοπίου με τη χρήση του λογισμικού *FRAGSTAT V4* (McGarial & Marks, 2012). Σε επίπεδο τοπίου, υπολογίστηκαν μετρικές που αναφέρονται στη διάσπαση, συνδεσιμότητα και ποικιλότητα του τοπίου: *Number of Patches* (NP), *Total Edge* (TE), *Edge Density* (ED), *Mean Proximity index* (Mean PROX.), *Shannon's Diversity Index* (SHDI), και *Shannon's Evenness Index* (SHEI). Επιπλέον, το πρότυπο κατανομής κάθε προβλεπόμενης κατηγορίας κάλυψης γης υπολογίστηκε από μετρικές τοπίου σε επίπεδο κλάσης: *Number of Patches* (NP), *Total Edge* (TE), *Edge Density* (ED), *Mean Patch Area* (AREA_MN), *Shape Index Area-Weighed Mean* (SHAPE_MN), *Mean Perimeter-Area Ratio* (MPAR), και *Euclidean Nearest-Neighbor Distance* (ENN).

5.3 Αποτελέσματα

5.3.1 Απόδοση μοντέλου προσομοίωσης

Από την σύγκριση του προβλεπόμενου και του ταξινομημένου χάρτη χρήσεων/καλύψεων γης για το έτος 2015, φαίνεται ότι υπάρχει ταύτιση σχετικά με την κατανομή των κατηγοριών κάλυψης της γης (Εικόνα 5.4), δείχνοντας ότι η απόδοση του μοντέλου πρόβλεψης FLUS ήταν υψηλή στα Ιόνια Νησιά. Ωστόσο, η κύρια διαφωνία παρατηρείται στις αστικές και δομημένες περιοχές της Λευκάδας και της Ζακύνθου, όπου στην πρόβλεψη εμφανίζονται περισσότερες και με πιο ομοιογενή κατανομή. Η ολική

ακρίβεια, ο συντελεστής Kappa καθώς και η ακρίβεια για κάθε κλάση, είναι εμφανείς στον πίνακα 5.4. Η ολική ακρίβεια της πρόβλεψης και ο συντελεστής Kappa ήταν 86% και 0,79, αντίστοιχα. Για κάθε κλάση η ακρίβεια κυμάνθηκε από 39% έως 95%, με τους υψηλής πυκνότητας ελαιώνες και την υψηλής πυκνότητας φυσική βλάστηση να παρουσιάζουν την χαμηλότερη και υψηλότερη ακρίβεια, αντίστοιχα.



Εικόνα 5.4. Προβλεπόμενος και ταξινομημένος χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης για το έτος 2015.

Πίνακας 5.4. Έλεγχος ακρίβειας πρόβλεψης.

Παρατήρηση	Πρόβλεψη						Σύνολο	UA
	ΥΠΦΒ	ΜΠΦΒ	ΧΠΦΒ	ΥΠΕ	ΜΠΕ	ΑΠ		
ΥΠΦΒ	29004	1023	44	403	68	19	30561	0,95
ΜΠΦΒ	2009	3061	69	30	76	26	5271	0,58
ΧΠΦΒ	15	244	6046	45	102	12	6464	0,94
ΥΠΕ	1173	17	14	1183	1843	32	4262	0,38
ΜΠΕ	77	69	71	742	14817	158	15934	0,93
ΑΠ	40	69	186	22	159	907	1383	0,66
Σύνολο	32318	4483	6430	2425	17065	1154	63875	
ΡΑ	0,90	0,68	0,94	0,49	0,87	0,79		
ΟΑ	0,86							
Kappa	0,79							

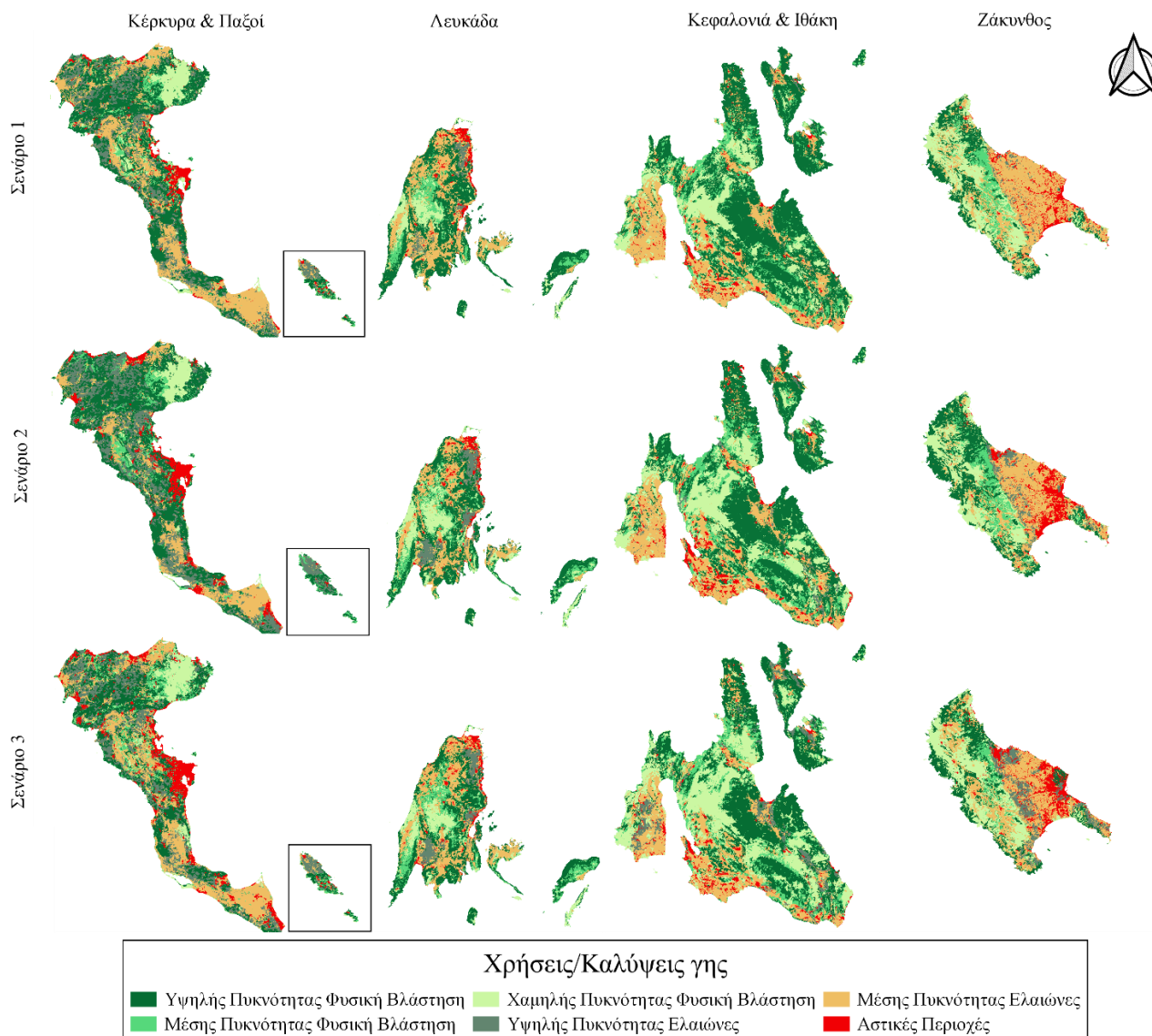
5.3.2 Σύνθεση και δομή του τοπίου το 2045

Στο πρώτο σενάριο (σενάριο αύξησης των δασών), στο οποίο οι δασικές εκτάσεις αυξάνονται με παρόμοιο τρόπο όπως της περιόδου 1985 – 1995, η υψηλής πυκνότητας φυσική βλάστηση αναμένεται να καλύψει πάνω από το 36% των Ιονίων νήσων (Πίνακας 5.5). Αθροιστικά, η μέσης και χαμηλής πυκνότητας φυσική βλάστηση, προβλέπεται να μειωθούν κατά 5%, από το οποίο το 1% αναφέρεται στη μεταβατική βλάστηση και το 4% στην αραιή βλάστηση. Παράλληλα, οι αγροτικές εκτάσεις και οι αστικές περιοχές αναμένεται να διατηρήσουν τις εκτάσεις τους σε παρόμοιο με το 2015 επίπεδο. Χωρικά, η αύξηση των δασών θα λάβει χώρα κυρίως στις ορεινές περιοχές της Λευκάδας, της Κεφαλονιάς και της Ζακύνθου (Εικόνα 5.6)

Πίνακας 5.5. Ποσοστά χρήσεων/καλύψεων γης για το έτη 1985, 1995, 2005, 2015, και 2045 (για κάθε σενάριο).

Κλάση	ΥΠΦΒ	ΜΠΦΒ	ΧΠΦΒ	ΥΠΕ	ΜΠΕ	ΑΠ
1985	30,06	10,46	20,40	7,75	27,05	4,21
1995	31,98	10,57	17,73	10,14	25,26	4,31
2005	34,69	10,05	15,94	8,36	26,63	4,35
2015	31,56	10,68	19,01	7,18	27,24	4,38
2045 Sc. 1	36,42	9,49	15,41	6,97	27,29	4,48
2045 Sc. 2	34,04	9,62	15,02	10,00	26,13	5,18
2045 Sc. 3	29,60	10,67	19,91	10,67	24,51	4,54

Το σενάριο επέκτασης των δασών και εντατικοποίησης των καλλιεργειών (δεύτερο σενάριο), δείχνει ότι η υψηλής πυκνότητας φυσική βλάστηση, και οι υψηλής πυκνότητας ελαιώνες αναμένονται να αυξηθούν κατά 2,5% και 2,8%, αντίστοιχα (Πίνακας 5.5). Σε αντίθεση, η μεταβατική βλάστηση προβλέπεται να μειωθεί ελαφρώς κατά την περίοδο 2015 – 2045, ενώ αναμένεται και μικρή αύξηση των αστικών περιοχών. Ομοίως, με το πρώτο σενάριο, η αραιή βλάστηση παρουσιάζει μία τάση μείωσης. Αντίθετα με το αναμενόμενο για το σενάριο αυτό, οι αγροτικές εκτάσεις προβλέπεται να μειωθούν το 2045. Η επέκταση των αστικών περιοχών πρόκειται να συμβεί στις παράκτιες περιοχές, γύρω από αγροτικές περιοχές και κοντά σε τουριστικά θέρετρα. Η αύξηση των δασών, η οποία χαρακτηρίζει και το δεύτερο σενάριο, αναμένεται να συμβεί κυρίως στις ορεινές περιοχές και σε περιοχές που καλύπτονται από μεταβατική βλάστηση (Εικόνα 5.6).



Εικόνα 5.5. Χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης για το έτος 2045, υπό τα τρία διαφορετικά σενάρια.

Το κύριο χαρακτηριστικό του τρίτου σεναρίου είναι η αναμενόμενη μείωση της πυκνής φυσικής βλάστησης, η οποία προβλέπεται να καταλαμβάνει κάτω από το 30% της συνολικής έκτασης των Ιονίων Νήσων (Εικόνα 5.5 και Πίνακας 5.5). Κατά συνέπεια, η χαμηλής πυκνότητας φυσική βλάστηση αναμένεται να καλύψει σχεδόν το 20%, το οποίο είναι το υψηλότερο ποσοστό μεταξύ των σεναρίων. Στο σενάριο αυτό, προβλέπεται, επίσης, μείωση των καλλιεργειών. Οι αλλαγές σχετικά με την υποβάθμιση της βλάστησης προβλέπεται να λάβουν χώρα κυρίως στις ορεινές περιοχές της Ζακύνθου, ενώ η επέκταση των ελαιώνων υψηλής πυκνότητας δεν παρουσιάζει σαφές χωρικό πρότυπο (Εικόνα 5.6).

Έκτος από διαφορετική σύνθεση χρήσεων/καλύψεων γης, το τοπίο των Ιονίων νήσων αναμένεται να παρουσιάσει διαφορετική δομή το 2045, ανάλογα με το κάθε σενάριο. Σε επίπεδο τοπίου (Πίνακας

5.6), το επίπεδο ετερογένειας και διάσπασης προβλέπεται να είναι υψηλότερο κατά το τρίτο σενάριο, ακολουθούμενο από το πρώτο, όπως φαίνεται από τις μετρικές NP, TE, και ED. Η υψηλότερη τιμή του δείκτη Mean.Prox στο πρώτο σενάριο, δείχνει ότι λόγω της επέκτασης των δασικών εκτάσεων, το τοπίο θα εμφανίζεται λιγότερο διασπασμένο. Επιπλέον, κατά το δεύτερο και τρίτο σενάριο, το τοπίο προβλέπεται να παρουσιάζεται με παρόμοιο επίπεδο ποικιλότητας, όπως φαίνεται από τους δείκτες SHDI και SHEI, οι οποίοι είναι ελαφρώς υψηλότεροι από το πρώτο σενάριο.

Πίνακας 5.6. Μετρικές τοπίου, υπολογιζόμενες σε επίπεδο τοπίου.

	NP	TE	ED	Mean. Prox	SHDI	SHEI
2045 (Sc.1)	34558	190164	84,28	587,22	1,55	0,86
2045 (Sc. 2)	31397	178972	79,32	777,45	1,61	0,90
2045 (Sc. 3)	34894	196388	87,04	576,66	1,64	0,92

Επιπρόσθετες πληροφορίες, σχετικά με τα χαρακτηριστικά του τοπίου, προσφέρονται από τις μετρικές που υπολογίστηκαν σε επίπεδο κλάσεων (Πίνακας 57). Στα σενάρια επέκτασης δασών και καλλιεργείων (Sc.1 και Sc.2), οι κατηγορίες της φυσικής βλάστησης εμφανίζουν παρόμοιο πρότυπο. Ειδικότερα, η δομή της κλάσης υψηλής πυκνότητας φυσική βλάστηση αναμένεται να είναι περισσότερο ομοιογενής, όπως φαίνεται από τους δείκτες NP, AREA_MN, και ENN. Αντίθετα, η κατηγορία της χαμηλής πυκνότητας φυσική βλάστηση προβλέπεται να εμφανίζεται με υψηλότερο επίπεδο διάσπασης, όπως διακρίνεται από την υψηλή τιμή του δείκτη AREA_MN και την χαμηλή τιμή του δείκτη ENN. Παράλληλα, η προβλεπόμενη αύξηση των υψηλής πυκνότητας ελαιώνων, θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του επιπέδου διάσπασης αυτής της κλάσης, κάτι το οποίο παρατηρείται και από τις χαμηλές τιμές του δείκτη NP και τις υψηλές τιμές του δείκτη ENN.

Υπό το σενάριο υποβάθμισης της φυσικής βλάστησης (Sc. 3), η υψηλής πυκνότητας φυσική βλάστηση αναμένεται να μειωθεί, καθώς οι υψηλές τιμές των δεικτών NP και ENN και η χαμηλή τιμή του δείκτη AREA_MN δείχνουν ότι η κατηγορία αυτή θα εμφανίζεται περισσότερο διασπασμένη (Πίνακας 5.7). Ομοίως, η προβλεπόμενη μείωση των αγροτικών εκτάσεων, αναμένεται να οδηγήσει σε αυξημένη διάσπαση και αυτή την κατηγορία χρήσεων γης. Αντίθετα, η κατηγορία της χαμηλής πυκνότητας φυσική βλάστηση, αναμένεται να είναι περισσότερο ομοιογενής (χαμηλές τιμές των δεικτών ENN και NP, και υψηλή τιμή του δείκτη AREA_MN).

Πίνακας 5.7. Μετρικές τοπίου, υπολογιζόμενες σε επίπεδο κλάσης.

Κλάσεις		NP	TE	ED	AREA_MN	SHAPE_AM	MPAR	ENN
ΥΠΦΒ	2045 (Sc. 1)	7462	52811	23,41	6,27	5,61	922,76	129,57
	2045 (Sc. 2)	7798	59721	26,47	6,23	6,92	922,45	124,26
	2045 (Sc. 3)	8146	64795	30,05	4,03	8,11	898,09	131,26
ΜΠΦΒ	2045 (Sc. 1)	5137	79488	35,23	11,56	10,91	877,51	108,97
	2045 (Sc. 2)	5633	90325	40,03	10,44	10,22	850,67	101,91
	2045 (Sc. 3)	6407	85856	38,05	8,65	12,43	896,99	103,57
ΧΠΦΒ	2045 (Sc. 1)	3548	44253	19,61	4,14	5,34	723,41	146,51
	2045 (Sc. 2)	3745	36748	16,29	6,89	5,07	737,75	163,54
	2045 (Sc. 3)	3061	37009	15,84	7,15	6,34	833,31	123,62
ΥΠΕ	2045 (Sc. 1)	8196	6077	26,93	2,62	4,63	900,19	122,24
	2045 (Sc. 2)	8833	6214	27,55	2,39	4,43	881,81	124,31
	2045 (Sc. 3)	9005	7173	31,79	2,66	4,41	824,75	128,99
ΜΠΕ	2045 (Sc. 1)	4461	9732	41,13	17,01	10,95	798,75	103,04
	2045 (Sc. 2)	4533	10716	47,67	18,61	16,52	786,78	107,19
	2045 (Sc. 3)	6305	9942	44,06	10,63	8,78	873,62	113,64
ΑΠ	2045 (Sc. 1)	2485	23301	10,33	4,67	5,61	888,79	137,33
	2045 (Sc. 2)	2440	23831	10,22	4,76	4,64	887,98	136,58
	2045 (Sc. 3)	2354	20971	9,89	4,33	5,34	878,31	144,38

5.4 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Όπως φάνηκε και από τα προηγούμενα κεφάλαια, τα Ιόνια Νησιά χαρακτηρίζονται από δυναμικά και πολύπλοκα τοπία, τα οποία σχηματίστηκαν μέσω των διαχρονικών αλληλεπιδράσεων των ανθρωπογενών πιέσεων και των βιοφυσικών χαρακτηριστικών (Kefalas et al., 2019). Από τα προηγούμενα κεφάλαια καθώς και από άλλες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στα νησιά του Ιονίου, φάνηκε ότι οι παρατηρούμενες μεταβολές του τοπίου μπορούν να προκαλέσουν μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στα τοπικά οικοσυστήματα και στην παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών (Kefalas et al., 2018; Lorilla et al., 2018). Έτσι, η προσομοίωση της μελλοντικής σύστασης και δομής του τοπίου θεωρείται ιδιαίτερως σημαντική. Στο παρόν κεφάλαιο για την προσομοίωση μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων γης, εφαρμόστηκαν το *Future Simulation Model (FLUS)* σε συνδυασμό με την Μαρκοβιανή ανάλυση, κάτω από τρία διαφορετικά σενάρια.

Με σκοπό την αξιολόγηση των συνεπειών της μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης, διάφοροι ερευνητές έχουν αναπτύξει και εφαρμόσει διάφορα μοντέλα πρόβλεψης. Όμως, λόγω των

πολύπλοκων σχέσεων μεταξύ της κάλυψη γης και των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής της, η μοντελοποίηση και η πρόβλεψη είναι μία δύσκολη διαδικασία με αμφιλεγόμενα αποτελέσματα (Martellozzo et al., 2018; Qiang & Lam, 2015). Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα από την εφαρμογή τέτοιων μοντέλων στα Ιόνια Νησιά έδειξαν ότι η συνδυαζόμενη εφαρμογή του μοντέλου FLUS με την Μαρκοβιανή ανάλυση και τη χρήση των συγκεκριμένων κοινωνικό-περιβαλλοντικών μεταβλητών ήταν αρκετά αποτελεσματική, όπως φαίνεται και από την ολική ακρίβεια πρόβλεψης που ήταν >85%. Το αποτέλεσμα αυτό είναι παρόμοιο με άλλες μελέτες που εφάρμοσαν μοντέλα βασισμένα στα κυψελοειδή αυτόματα στη Μεσόγειο και σκόπευαν στην πρόβλεψη πολλαπλών χρήσεων/καλύψεων γης (Al-sharif & Pradhan, 2014; Gounaridis et al., 2019; Troupin & Carmel, 2016). Επιπροσθέτως, λαμβάνοντας υπόψη ότι η περιοχή μελέτης καλύπτει μία ολόκληρη περιφέρεια με ποικίλο τοπίο, βιοφυσικές συνθήκες με υψηλή χωρική διαφοροποίηση και σημαντική παρουσία τυχαίων γεγονότων (όπως η εκδήλωση πυρκαγιών), η ακρίβεια του αποτελέσματος μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτή.

Για τη διερεύνηση της σύστασης και δομής του τοπίου το 2045, η διαδικασία της προσομοίωσης εφαρμόστηκε για τρία διαφορετικά σενάρια, τα οποία σχεδιάστηκαν μέσω των ιστορικών μεταβολών των χρήσεων/καλύψεων γης της περιόδου 1985-2015. Μέσω του συγκεκριμένου τρόπου καθορισμού των σεναρίων, το επίπεδο αβεβαιότητας μειώνεται (Verburg et al., 2016), αλλά δεν εξαλείφεται πλήρως καθώς τα σενάρια αυτά στηρίζονται στην παραδοχή ότι «η τάση μεταβολής του παρελθόντος θα συνεχιστεί έως το 2045 ...» (Hamad et al., 2018). Γενικά, παρατηρήθηκε ότι η καθαρή μεταβολή της κάλυψης γης προβλέπεται να είναι σχετικά χαμηλή καθώς κυμαίνεται από 0,5% έως 5%, όμοια με τις παρατηρούμενες μεταβολές της περιόδου 1985-2015 (Kefalas et al., 2018).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το πρώτο και το δεύτερο σενάριο (αύξηση των δασών, και αύξηση των δασών και των καλλιεργειών, αντίστοιχα), έδειξαν μία πιθανή αύξηση των περιοχών που καλύπτονται από υψηλής πυκνότητας βλάστηση, κυρίως στις ορεινές και ημί-ορεινές περιοχές. Ομοίως με άλλες μελέτες που διενεργήθηκαν στη Μεσόγειο, τα βιοφυσικά χαρακτηριστικά αυτών των περιοχών (δηλ. μεγάλο υψόμετρο, έντονο ανάγλυφο, υψηλά επίπεδα βροχόπτωσης, κλπ.) σε συνδυασμό με τη δύσκολη προσβασιμότητα (λόγω του αραιού οδικού δικτύου) ενισχύουν τη διαδικασία αύξησης των δασών (Florinsky and Kuryakova 1996; Felicísimo et al. 2002; Viedma 2008; Kefalas et al. 2019). Από την άλλη πλευρά, στο τρίτο σενάριο (υποβάθμιση της βλάστησης), η υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης αναμένεται να συμβεί κυρίως στις ορεινές περιοχές της Ζακύνθου. Η κύρια κινητήρια δύναμη για αυτή την πιθανή μεταβολή είναι τα φαινόμενα πυρκαγιάς,

τα οποία ήταν πιο συχνά στο τρίτο σενάριο (2005-2015), με τις περισσότερες από αυτές να συμβαίνουν στις ίδιες περιοχές (Kefalas et al., 2018). Ωστόσο, καθώς τα επόμενα χρόνια αναμένεται αυξημένη ένταση και συχνότητα των πυρκαγιών στη Μεσόγειο, κυρίως λόγω της κλιματικής αλλαγής και των αυξανόμενων ανθρωπογενών πιέσεων (Kontoes et al. 2013), η υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης μπορεί να είναι ακόμα μεγαλύτερη.

Σχετικά με τις μεταβολές στην αγροτική ζώνη, κάτω από το πρώτο και δεύτερο σενάριο δεν προβλέπεται να μεταβληθεί το μέγεθός τους το 2045, το οποίο είναι σε αντίθεση με ότι προβλέπεται να συμβεί σε άλλες Μεσογειακές περιοχές που αναμένεται σημαντική μείωση στις καλλιέργειες που στηρίζονται στο βρόχινο νερό (*rain-fed agricultures*) και αύξηση των αρδευόμενων καλλιεργειών (Al-sharif & Pradhan, 2014; Nainggolan et al., 2012). Ωστόσο, καθώς οι μεταβολές των αγροτικών περιοχών οδηγούνται κυρίως από την τεχνολογική εξέλιξη και την εφαρμοζόμενη πολιτική (van Vliet et al., 2015), η προσομοίωση των μελλοντικών μεταβολών είναι πολύ αμφίβολη. Για παράδειγμα, στα μικρά Μεσογειακά νησιά η εφαρμογή της προηγούμενης ΚΑΠ, μαζί με την αύξηση της απασχόλησης στον τουριστικό τομέα, οδήγησε στην εγκατάλειψη των αγρών (Petanidou et al., 2008a; Zomeni et al., 2008), αντίθετα με ότι συνέβη στα Ιόνια Νησιά όπου η εγκατάλειψη ήταν περιορισμένη (Kefalas et al., 2019). Όμως, με βάση το τρίτο σενάριο προβλέπεται μείωση των καλλιεργειών, κυρίως σε περιοχές κοντά σε τουριστικά θέρετρα στο νότιο και ανατολικό τμήμα της Λευκάδας και της Ζακύνθου, αντίστοιχα. Επιπλέον, επειδή αναμένεται αύξηση των τουριστικών ροών στα Μεσογειακά νησιά τα επόμενα χρόνια (Dascalaki & Balaras, 2004; Michalena et al., 2009), η διατήρηση τόσο της αγροτικής δραστηριότητας όσο και των δραστηριοτήτων στον τουριστικό τομέα θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική για τη βιωσιμότητα της τοπικής οικονομίας (Martinis et al., 2016; Pungetti et al., 2008).

Ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των σεναρίων είναι η προβλεπόμενη αύξηση των δομημένων περιοχών, η οποία προβλέπεται και σε άλλες Μεσογειακές περιοχές (Boavida-Portugal et al., 2016; Gounaridis et al., 2019; Lagarias, 2012; Petrov et al., 2009; Troupin & Carmel, 2016). Συγκεκριμένα, αύξηση των δομημένων εκτάσεων αναμένεται να πραγματοποιηθεί στις περιοχές με χαμηλό υψόμετρο και κοντά στις ακτές και στα τουριστικά θέρετρα. Ωστόσο, η αυξητική τάση των αστικών περιοχών στα Ιόνια Νησιά είναι πολύ μικρότερη απ' ότι σε άλλες περιοχές, ακολουθούμενη την τάση των τελευταίων τριάντα χρόνων όπου νέες οικίες και τουριστικές υποδομές δημιουργήθηκαν εντός της υπάρχουσας αστικής και περι-αστικής ζώνης (Kefalas et al., 2018)

Σχετικά με τη δομή του τοπίου των Ιονίων νήσων, τόσο σε επίπεδο τοπίου όσο και σε επίπεδο κλάσης, προβλέφθηκε ότι το τοπίο θα δομείται με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το κάθε σενάριο εφαρμογής.

Γενικότερα, η αναμενόμενη αύξηση των εκτάσεων με υψηλή πυκνότητα φυσική βλάστηση και η αύξηση των εγκαταλελειμμένων αγρών, υπό το πρώτο και το δεύτερο σενάριο, θα δημιουργήσει ένα περισσότερο ομοιογενές τοπίο. Αντίθετα, η μείωση των δασών και των θαμνώνων, κατά το τρίτο σενάριο, προβλέπεται να οδηγήσει σε αύξηση του βαθμού διάσπασης του τοπίου. Οι αρνητικές επιπτώσεις ενός διασπασμένου τοπίου στα φυσικά οικοσυστήματα έχει συζητηθεί από πολλούς ερευνητές (De Montis et al., 2017; Geri et al., 2010), και συμπεριλαμβάνουν τη μείωση της ποικιλότητας του τοπίου (τόσο πολιτισμικής όσο και οικολογικής), τη μείωση της αφθονίας των ειδών κ.α. (Fischer & Lindenmayer, 2007; Jongman, 2002; Lorilla et al., 2019; Nogués-Bravo, 2006). Παράλληλα, η ομογενοποίηση του αγροτικού τοπίου μπορεί να επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις τόσο στον οικονομικό τομέα όσο και στην οικολογική ακεραιότητα της περιοχής μελέτης. Ωστόσο, οι υπολογιζόμενοι δείκτες ποικιλότητας, δείχνουν ότι κάτω από οποιοδήποτε σενάριο, το τοπίο των Ιονίων Νήσων θα διατηρήσει υψηλό επίπεδο ποικιλότητας ευνοώντας τη μελλοντική παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών (Lorilla et al., 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Σύνοψη των μεθοδολογικών προσεγγίσεων

Η μεταβολή των χρήσεων/καλύψεων γης θεωρείται κρίσιμης σημασίας ζήτημα για την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα, καθώς επηρεάζει την ανθρώπινη ευημερία και την οικολογική ακεραιότητα των περιοχών. Η αλληλεπίδραση του ανθρώπου με το περιβάλλον, καθώς και τα φαινόμενα φυσικών καταστροφών είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση και την κατεύθυνση της μεταβολής της επιφάνειας της γης. Ειδικότερα, στην περιοχή της Μεσογείου, η αλληλεπίδραση μεταξύ του ανθρώπου και του περιβάλλοντος συμβαίνει για χιλιάδες χρόνια δημιουργώντας τοπία, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλή οικολογική και πολιτισμική αξία, αλλά και από υψηλή δυναμική. Παράλληλα, καθώς με το πέρασμα των χρόνων τα κοινωνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των Μεσογειακών περιοχών μεταβάλλονται, και οι εκδηλώσεις φυσικών καταστροφών είναι συχνότερες και εντονότερες ως απόρροια και της κλιματικής αλλαγής, τα ευαίσθητα τοπικά οικοσυστήματα μπορεί να υποστούν μη αναστρέψιμες βλάβες (π.χ. κατακερματισμός του τοπίου και απώλεια σημαντικών οικοτόπων, φαινόμενα ερημοποίησης με μείωση της παραγωγικότητας των εδαφών, κ.α.). Χαρακτηριστική περίπτωση, η οποία αντανακλά σε μεγάλο βαθμό τις πιέσεις που δέχεται το Μεσογειακό τοπίο, είναι τα Ιόνια Νησιά. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από υψηλή οικολογική και πολιτισμική αξία, καθώς και από αυξημένες ανθρωπογενείς πιέσεις όπως είναι ο μαζικός τουρισμός και οι εκτεταμένες καλλιέργειες. Παράλληλα, η υψηλή συχνότητα και σφοδρότητα των φαινομένων πυρκαγιάς επηρεάζει σημαντικά τα φυσικά οικοσυστήματα της περιοχής.

Έτσι, με βάση το παραπάνω πλαίσιο, γίνεται σαφές ότι η ολοκληρωμένη προσέγγιση και μελέτη των μεταβολών των χρήσεων/καλύψεων γης θεωρείται ως προαπαιτούμενο για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό βιώσιμων στρατηγικών διαχείρισης. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση μελέτης αποτελείται από τρεις βασικούς άξονες: α) την συστηματική παρακολούθηση των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης, β) την εύρεση των κύριων επεξηγηματικών παραγόντων των μεταβολών, και γ) την πρόβλεψη της μελλοντικής σύστασης και δομής του τοπίου. Οι παραπάνω τρεις άξονες μελέτης είναι και τα τρία βασικά ζητήματα της διδακτορικής διατριβής. Συγκεκριμένα, για τη συστηματική παρακολούθηση των χρήσεων καλύψεων γης αναπτύχθηκε σχήμα αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης εικόνας, το οποίο στηρίχθηκε αποκλειστικά σε κανόνες ορίων, επιτρέποντας τη χρήση του τόσο για την διαχρονική παρακολούθηση της περιοχής, όσο και στην εφαρμογή του σε άλλες περιοχές με όμοια σύσταση και δομή τοπίου. Από το σχήμα ταξινόμησης εξάγονται έως και δεκαεννέα κατηγορίες χρήσεων καλύψεων γης. Συγκεκριμένα, οι φυσικές/ημί-φυσικές περιοχές είναι δυνατόν να διαχωριστούν σε έως και επτά διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με την πυκνωση που παρουσιάζει η βλάστηση (από δάση έως ανοικτές εκτάσεις/βράχια). Η αγροτική ζώνη είναι δυνατό να διαχωριστεί

σε έως και οχτώ διαφορετικές κατηγορίες, όπου πέρα από τους αμπελώνες, τις ξηρικές και μόνιμες καλλιέργειες, μπορούν να αναγνωριστούν τρεις διαφορετικές κατηγορίες πυκνώσης ελαιώνων (δηλ. ανάλογα το καθεστώς διαχείρισής τους), και οι μικτές καλλιέργειες. Άλλες κατηγορίες χρήσεων/καλύψεων γης που είναι δυνατό να αναγνωριστούν, είναι οι αστικές/δομημένες περιοχές, οι καμένες εκτάσεις, καθώς και οι υδάτινες επιφάνειες. Η χρήση του σχήματος ταξινόμησης δεν απαιτεί κανένα επιπρόσθετο κόστος, καθώς αναπτύχθηκε σε εικόνες μέσης ανάλυσης που διατίθενται δωρεάν, ενώ παράλληλα δεν απαιτούνται δεδομένα πεδίου για την εκπαίδευσης κάποιου αλγορίθμου ταξινόμησης, καθώς οι κανόνες εφαρμόζονται σε επιλεγμένους δείκτες βλάστησης. Το σχήμα ταξινόμησης εφαρμόστηκε και ελέγχθηκε στα Ιόνια Νησιά για δύο χρονικές στιγμές (1985 και 2015), με τα χαρτογραφικά αποτελέσματα που εξήχθησαν να είναι υψηλής ακρίβειας, επιτρέποντας την εφαρμογή της μετά-ταξινομικής διαδικασίας ανίχνευσης αλλαγών.

Με σκοπό την εύρεση των κύριων επεξηγηματικών παραγόντων μεταβολής του τοπίου, εφαρμόστηκε η μετα-ταξινομική διαδικασία ανίχνευσης αλλαγών για το σύνολο των Ιονίων Νήσων, με τις παρατηρούμενες μεταβολές να χαρακτηρίζονται ανάλογα με τη διαδικασία μεταβολής σε πέντε κατηγορίες (δηλ. φυσική αναγέννηση, υποβάθμιση, εγκατάλειψη, εντατικοποίηση και αστικοποίηση). Ως ερμηνευτικοί παράγοντες επιλέχθησαν έντεκα κοινωνικό-περιβαλλοντικές μεταβλητές, οι οποίες συνδέθηκαν με τις διαδικασίες μεταβολής μέσω ολικών και τοπικών μοντέλων παλινδρόμησης. Αρχικά, μέσω των ολικών μοντέλων επιλέχθησαν οι κύριοι ερμηνευτικοί παράγοντες κάθε διαδικασίας μεταβολής και ελέγχθηκε ο τύπος και ο βαθμός της σχέσης τους. Σε επόμενη φάση, μέσω των τοπικών μοντέλων, ελέγχθηκε το πώς η σχέση ανάμεσα στις παρατηρούμενες μεταβολές του τοπίου και των επιλεγμένων κοινωνικό-περιβαλλοντικών παραγόντων μεταβάλλεται στο χώρο, αναγνωρίζοντας παράλληλα και περιοχές όπου οι σχέσεις παρουσιάζουν όμοια χαρακτηριστικά.

Τέλος, με γνώμονα τις παρατηρούμενες αλλαγές των χρήσεων/καλύψεων γης και των κύριων επεξηγηματικών παραγόντων, έγινε η πρόβλεψη της μελλοντικής σύστασης και δομής του τοπίου των Ιονίων Νήσων, για τρία διαφορετικά σενάρια εξέλιξης, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τις ιστορικές μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης. Για την πρόβλεψη εφαρμόστηκε ένας συνδυασμός δύο διαφορετικών μοντέλων α) των Μαρκοβιανών Αλυσίδων για τον υπολογισμό της μελλοντικής ζήτησης των χρήσεων/καλύψεων γης και β) του *Future Land Use Simulation Model* (FLUS), το οποίο στηρίζεται στα κυψελοειδή αυτόματα και εφαρμόστηκε για τη χωροθέτηση των μελλοντικών χρήσεων/καλύψεων.

6.2 Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο των μεθοδολογικών προσεγγίσεων που αναπτύχθηκαν και εφαρμοστήκαν για τη μελέτη και μοντελοποίηση των μεταβολών του Μεσογειακού τοπίου εξήχθησαν και διαπιστώθηκαν αποτελέσματα μέσα από τα οποία ήταν δυνατή η εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων:

6.2.1 Σύνοψη και συμπεράσματα για τη χαρτογράφηση των μεταβολών του τοπίου

Μέσω της ανάπτυξης του σχήματος αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης ήταν δυνατή η ακριβής χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης, καθώς και η ανίχνευση των αλλαγών του νησιωτικού Μεσογειακού τοπίου των Ιονίων Νήσων. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε, η οποία συνδυάζει δεδομένα τηλεπισκόπησης που διατίθενται δωρεάν, μαζί με τις καινοτόμες τεχνικές τηλεπισκόπησης, προσφέρει ένα χρήσιμο εργαλείο για την καθιέρωση ενός λειτουργικού σχήματος συστηματικής παρακολούθησης του τοπίου.

Από την εφαρμογή του σχήματος ταξινόμησης και την ανίχνευση των μεταβολών των χρήσεων/καλύψεων γης παρατηρήθηκαν μεγάλες μεταβολές στο τοπίο των Ιονίων Νήσων, οι οποίες διέφεραν τόσο εντός, όσο και μεταξύ των νησιών. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκαν τρία διαφορετικά πρότυπα μεταβολής. Το πρώτο αναφέρεται στην Κέρκυρα και στη Λευκάδα, όπου οι καθαρές μεταβολές των κατηγοριών κάλυψης γης ήταν περιορισμένες, διατηρώντας κατά τη διάρκεια των ετών τις εκτάσεις που καλύπτονται από υψηλής ποιότητας οικοσυστήματα (υψηλής πυκνότητας βλάστηση και αγροδασικά οικοσυστήματα). Το δεύτερο πρότυπο αναφέρεται στην Κεφαλονιά, όπου, οι μεταβολές του τοπίου είναι περισσότερο αυξημένες σε σχέση με την Κέρκυρα και τη Λευκάδα, αλλά σε αυτή την περίπτωση, παρατηρήθηκε υψηλή ανθεκτικότητα των πιο υποβαθμισμένων οικοσυστημάτων (φρύγανα, ανοικτές εκτάσεις/βράχια). Το τρίτο πρότυπο αναφέρεται στις μεταβολές της Ζάκυνθου, η οποία παρουσίασε τις εντονότερες αλλαγές, με την πιο αξιοσημείωτη να είναι η μεγάλη αύξηση της υψηλής πυκνότητας βλάστησης (δάση και θαμνώνες). Κοινό χαρακτηριστικό όλων των νησιών, είναι η μικρή αύξηση των αστικών/δομημένων περιοχών.

Η ερμηνεία των παραπάνω ευρημάτων, στο κεφάλαιο αυτό, έγινε με βάση κάποιους βασικούς κοινωνικό-περιβαλλοντικούς παράγοντες, απ' όπου διαπιστώθηκε ότι σε κάθε περίπτωση μελέτης οι παράγοντες επιδρούν με διαφορετικό τρόπο στο τοπίο, προκαλώντας διαφορετικής έντασης και κατεύθυνσης αλλαγές. Συγκεκριμένα, αντίθετα με άλλες παράκτιες και νησιωτικές Μεσογειακές περιοχές, η τουριστική ανάπτυξη των Ιονίων Νήσων δεν ώθησε σε υπέρμετρη αύξηση των δομημένων περιοχών, καθώς νέες οικίες και καταλύματα πιθανόν να δημιουργήθηκαν εντός της υπάρχουσας

αστικής/δομημένης ζώνης. Παράλληλα, η αύξηση των τουριστικών ροών στα νησιά του Ιονίου, δεν οδήγησε στην εγκατάλειψη των καλλιεργειών και στην υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης, όπως σε ορισμένα νησιά του Αιγαίου, αλλά αντίθετα συνέβαλε στην διατήρηση της πολιτισμικής και οικολογικής αξίας του τοπίου. Ο συνδυασμός των φαινομένων πυρκαγιάς, της βόσκησης και της προσβασιμότητας, διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στη μεταβολή και διαμόρφωση των χρήσεων/καλύψεων γης. Σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. βορειοανατολική Κέρκυρα και δυτική Ζάκυνθο), τα επαναλαμβανόμενα φαινόμενα πυρκαγιάς, σε συνδυασμό με την άσκηση κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων πιθανόν να οδήγησε στην πλήρη υποβάθμιση και ερημοποίηση των οικοσυστημάτων. Αντίθετα, σε άλλες περιπτώσεις (τμήματα της ορεινής Ζακύνθου), αν και υπήρξαν κατά τη διάρκεια των ετών έντονα φαινόμενα πυρκαγιάς, η μείωση των κτηνοτροφικών ζώων και η δύσκολη προσβασιμότητα σε εκείνες τις περιοχές, ώθησε στην γρήγορη ανάκαμψη της φυσικής βλάστησης.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, τα νησιά της Μεσογείου, όπως είναι τα Ιόνια, χαρακτηρίζονται από έντονα μεταβαλλόμενα τοπία, στα οποία οι διάφοροι κοινωνικό-περιβαλλοντικοί παράγοντες επιδρούν με διάφορους τρόπους. Η ανάπτυξη σύγχρονων και καινοτόμων εργαλείων που αποσκοπούν στη γρήγορη και αποτελεσματική συστηματική παρακολούθηση του τοπίου, είναι χρήσιμη για την λήψη κατάλληλων διαχειριστικών μέτρων. Στο πλαίσιο αυτό, από την παρούσα διδακτορική διατριβή αναπτύχθηκε κατάλληλο μεθοδολογικό πλαίσιο, αξιοποιώντας σύγχρονες τεχνικές και δεδομένα τηλεπισκόπισης. Από την εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου, αναγνωρίστηκε η υψηλή δυναμική του τοπίου, και διερευνήθηκε η επίδραση κάποιων βασικών κοινωνικό-περιβαλλοντικών παραγόντων. Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων, η σύνδεση των παραγόντων με τις παρατηρούμενες μεταβολές κρίνεται αναγκαία, ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός και ο τύπος των σχέσεων και να γίνουν κατανοητά τα συστήματα μεταβολής του τοπίου

6.2.2 Σύνοψη και συμπεράσματα για τους ερμηνευτικούς παράγοντες μεταβολής του τοπίου

Κύριο αντικείμενο του τέταρτου κεφαλαίου της διδακτορικής διατριβής ήταν η ερμηνεία των διαδικασιών μεταβολής του Μεσογειακού τοπίου των Ιονίων Νήσων, με τη χρήση διαφόρων κοινωνικό-περιβαλλοντικών παραγόντων. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αφού εφαρμόστηκε η μετα-ταξινομική διαδικασία ανίχνευσης αλλαγών, οι παρατηρούμενες αλλαγές των χρήσεων/καλύψεων γης χαρακτηρίστηκαν ως προς τη διαδικασία μεταβολής σε πέντε κατηγορίες. Επιπλέον, υπολογίστηκαν βασικές μετρικές του τοπίου (σε επίπεδο τοπίου και κλάσης) με στόχο την περαιτέρω κατανόηση των διαδικασιών μεταβολής, και την επίδραση τους στη σύσταση και στη δομή

του τοπίου. Η σύνδεση των διαδικασιών μεταβολής του τοπίου με τους κοινωνικό-περιβαλλοντικούς παράγοντες έγινε μέσω ολικών και τοπικών μοντέλων παλινδρόμησης. Τα κύρια ευρήματα των αναλύσεων έδειξαν, ότι η αναγέννηση και η υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης συνέβη κυρίως στις ορεινές/ημιορεινές περιοχές, ενώ η εντατικοποίηση των καλλιεργειών έλαβε χώρα στα πεδινά τμήματα των νησιών. Αντίθετα με ότι παρατηρείται σε άλλες Μεσογειακές περιοχές, στα Ιόνια Νησιά η εγκατάλειψη των αγρών ήταν περιορισμένη, και εντοπίστηκε κυρίως σε περιοχές κοντά στα τουριστικά θέρετρα της Ζακύνθου. Οι προαναφερθείσες μεταβολές και διαδικασίες, επηρέασαν σημαντικά και τη δομή του τοπίου των Ιονίων Νήσων, με τα επίπεδα διάσπασης και ετερογένειας να μεταβάλλονται. Συγκεκριμένα, το τοπίο παρουσιάστηκε περισσότερο ομοιογενές στις περιπτώσεις όπου αυξήθηκε η πυκνότητα της φυσικής βλάστησης, κάτω από τη διαδικασία της φυσικής αναγέννησης. Αντίθετα, σε περιπτώσεις όπου η διαδικασία της υποβάθμισης ήταν κυρίαρχη, το επίπεδο διάσπασης του τοπίου αυξήθηκε. Επίσης, τα διαφορετικά καθεστώτα διαχείρισης των καλλιεργειών, διαμόρφωσαν ανάλογα και το τοπίο των περιοχών. Στις περιπτώσεις των διαχειριζόμενων αγρών το τοπίο παρουσιάστηκε σταθερό, ενώ στις περιπτώσεις όπου οι αγροί εγκαταλείφθηκαν, το επίπεδο ετερογένειας του τοπίου αυξήθηκε.

Η χρήση στατιστικών αναλύσεων για την εύρεση των κινητήριων δυνάμεων μεταβολής του τοπίου, συχνά αμφισβητείται, καθώς η στατιστική συσχέτιση μεταξύ κάποιου παράγοντα με οποιαδήποτε μεταβολή, δεν δηλώνει αυτόματα κάποιου είδους σχέσης αιτίας - αιτιατού. Παράλληλα, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι σχέσεις ανάμεσα στις πιθανές κινητήριες δυνάμεις και στις μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης δεν είναι γραμμικές, όπως ορίζονται από τα μοντέλα που συνήθως εφαρμόζονται, αλλά αντίθετα είναι περισσότερο πολύπλοκες και σύνθετες. Κριτική ασκείται και για τους επιλεγόμενους, ως δυνητικές κινητήριες δυνάμεις, παράγοντες, κυρίως λόγω του περιορισμένου αριθμού που λαμβάνεται υπόψη, αλλά και της γενικευμένης κλίμακας ανάλυσης που αναφέρονται. Παρόλα αυτά, στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής, μέσω των στατιστικών αναλύσεων που εφαρμόστηκαν (ολικά και τοπικά μοντέλα παλινδρόμησης), ήταν δυνατή η εύρεση των κύριων κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που επηρεάζουν τις διαδικασίες μεταβολής του τοπίου. Αντίθετα, οι χρησιμοποιούμενοι περιβαλλοντικοί παράγοντες βοήθησαν στην κατανόηση των βιοφυσικών χαρακτηριστικών των περιοχών, όπου λαμβάνουν χώρα συγκεκριμένες μεταβολές. Επιπλέον, μέσω της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης, κατέστη εφικτή η διερεύνηση των χωρικών διαφοροποιήσεων των σχέσεων ανάμεσα στους κοινωνικό-περιβαλλοντικούς παράγοντες και στις διαδικασίες μεταβολής του τοπίου.

Τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων έδειξαν ότι, οι μεταβολές του τοπίου των Ιονίων Νήσων συνδέονται με σύνθετες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα, οι μεταβολές στη ζώνη φυσικής βλάστησης, συνδέονται κυρίως με γεωμορφολογικούς παράγοντες, ακολουθούμενοι από παράγοντες που αντιπροσωπεύουν την ανθρωπογενή όχληση. Παράλληλα, όπως φάνηκε και από τις αναλύσεις του τρίτου κεφαλαίου, διαπιστώθηκε ο θετικός ρόλος της τουριστικής ανάπτυξης στον περιορισμό των φαινομένων εγκατάλειψης των καλλιεργειών. Με αυτόν τον τρόπο, η συνύπαρξη των τουριστικών και αγροτικών δραστηριοτήτων, προστατεύοντας σε κάθε περίπτωση τα φυσικά οικοσυστήματα, αποτελεί τη βάση για την επίτευξη της βιωσιμότητας των νησιών. Ωστόσο, η αύξηση των τουριστικών ροών σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού, οδήγησε στην περαιτέρω επέκταση των δομημένων εκτάσεων στις παράκτιες και αγροτικές περιοχές, εντός όμως των υπαρχουσών δομημένων ζωνών.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, η σύσταση και δομή του τοπίου των Ιονίων Νήσων είναι αποτέλεσμα των σύνθετων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και των ιδιαίτερων βιοφυσικών χαρακτηριστικών τους. Η χρήση σύγχρονων τεχνικών γεωπληροφορικής (τηλεπισκόπησης, γεωγραφικών συστήματα πληροφοριών, και χωρική ανάλυση), για τη μελέτη των διαδικασιών μεταβολής του τοπίου, των επεξηγηματικών κοινωνικοοικονομικών παραγόντων και των βιοφυσικών χαρακτηριστικών, αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την κατανόηση πιθανών μεταβολών του τοπίου.

6.2.3 Σύνοψη και συμπεράσματα για την πρόβλεψη της σύστασης και δομής του τοπίου

Οι μεταβολές της σύστασης και δομής του τοπίου των Ιονίων Νήσων μπορεί να προκαλέσει σοβαρές, και σε πολλές περιπτώσεις μη αναστρέψιμες, βλάβες στα τοπικά οικοσυστήματα. Όπως σημειώνεται, οι παρατηρούμενες μεταβολές είναι αποτέλεσμα των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων σε συνδυασμό με τα βιοφυσικά χαρακτηριστικά και τα συχνά φαινόμενα πυρκαγιάς. Τα επόμενα χρόνια στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές της Μεσογείου αναμένεται αύξηση των ανθρωπογενών πιέσεων, λόγω της τουριστικής ανάπτυξης, και της αύξησης των φαινομένων φυσικών καταστροφών ως απόρροια και της κλιματικής αλλαγής. Έτσι, με γνώμονα τα παραπάνω, η πρόβλεψη/προσομοίωση της μελλοντικής σύστασης και δομής του τοπίου, κρίνεται ως προαπαιτούμενο για τη διασφάλιση ευαίσθητων οικοσυστημάτων, όπως αυτά των Μεσογειακών νησιών.

Αν και στη διεθνή βιβλιογραφία έχει αναπτυχθεί πληθώρα μοντέλων πρόβλεψης/προσομοίωση των χρήσεων/καλύψεων γης, τα εξαγόμενα αποτελέσματα συχνά αμφισβητούνται. Στην περίπτωση όμως

της παρούσας διδακτορικής διατριβής, εφαρμόστηκε το μοντέλο FLUS σε συνδυασμό με το Μαρκοβιανό μοντέλο, τα αποτελέσματα των οποίων, συνυπολογίζοντας τις ιδιαιτερότητες των δεδομένων και της περιοχής μελέτης, παρουσίασαν υψηλή ακρίβεια. Με στόχο τη μείωση της αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων πρόβλεψης, αλλά και την παρουσίαση μίας πιο ολοκληρωμένης εικόνας ως προς την πιθανή σύσταση και δομή του τοπίου, η διαδικασία της μοντελοποίησης έγινε για τρία διαφορετικά σενάρια, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τις ιστορικές τάσεις μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι το τοπίο των Ιονίων Νήσων, μπορεί να διαμορφωθεί κάτω από δύο διαφορετικά πρότυπα. Το πρώτο, αναφέρεται στην αναμενόμενη αύξηση των υψηλής ποιότητας οικοσυστημάτων (δάση και θαμνώνες), καθώς οι ανθρωπογενείς πιέσεις και τα φαινόμενα πυρκαγιάς είναι μειωμένα. Αντίθετα, το δεύτερο πρότυπο αναφέρεται στην περίπτωση έντονων ανθρωπογενών πιέσεων, καθώς η συχνότητα και σφοδρότητα πυρκαγιών, οδήγησαν στην υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης. Και στις δύο περιπτώσεις, η δομή του τοπίου αναμένεται να διαταραχθεί, είτε δημιουργώντας ομοιογενή είτε έντονα διασπασμένα τοπία. Με αυτό τον τρόπο, τίθενται σε κίνδυνο η πολιτιστική και οικολογική ποικιλότητα των τοπίων, ενώ παράλληλα μπορεί να προκληθεί μείωση στην αφθονία των ειδών. Στις καλλιέργειες δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές μελλοντικές μεταβολές, ωστόσο υπό το τρίτο σενάριο αναμένεται μείωση των καλλιεργειών, σε περιοχές κοντά σε τουριστικά θέρετρα. Κοινό, επίσης, χαρακτηριστικό των δύο προτύπων είναι η αναμενόμενη αύξηση των δομημένων εκτάσεων, κοντά στις παράκτιες και αγροτικές περιοχές.

Συμπερασματικά, το μεθοδολογικό πλαίσιο που ακολουθήθηκε προσέφερε σημαντικές πληροφορίες για τη μελλοντική σύσταση και δομή του τοπίου των Ιονίων Νήσων. Η χρήση μοντέλων πρόβλεψης/προσομοίωσης αποτελεί προαπαιτούμενο για το σχεδιασμό αποτελεσματικών βιώσιμων στρατηγικών διαχείρισης, ιδιαίτερα στο Μεσογειακό τοπίο που παρουσιάζει υψηλή δυναμική. Έτσι, οι στρατηγικές αυτές θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τα ευαίσθητα οικοσυστήματα της περιοχής και την αυξανόμενη ζήτηση του ανθρώπου για φυσικούς πόρους, με γνώμονα πάντα τη διασφάλιση της μεταξύ τους ισορροπίας.

6.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Όπως ήταν αναμενόμενο, η αναλυτική μελέτη της μεταβολής του Μεσογειακού τοπίου άφησε αναπάντητα ερευνητικά ερωτήματα, ενώ παράλληλα, δημιουργήθηκαν νέες προκλήσεις για μελλοντική έρευνα. Έτσι, οι προκλήσεις, οι οποίες μελλοντικά θα πρέπει να απαντηθούν είναι:

- Η περαιτέρω εξέλιξη του σχήματος αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης, που προτείνεται στο τρίτο κεφάλαιο, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ταξινόμηση της φυσικής βλάστησης και σε επίπεδο ειδών. Ιδανικά, ο προτεινόμενος διαχωρισμός θα πρέπει να βασίζεται αποκλειστικά σε φασματικά δεδομένα και δείκτες βλάστησης, αποφεύγοντας την ενσωμάτωση δεδομένων πεδίου. Στην κατεύθυνση αυτή, η εφαρμογή και εξέλιξη του σχήματος ταξινόμησης σε εικόνες *Sentinel 2* ή και καλύτερης χωρικής και φασματικής ανάλυσης θα ήταν ιδιαίτερος χρήσιμη.
- Η χαρτογράφηση και της κάθετης δομής των φυσικών οικοσυστημάτων, η οποία προσφέρει σημαντικές πληροφορίες που αξιοποιούνται τόσο στη διαχείριση της βιοποικιλότητας και των φυσικών πόρων, όσο και σε μελέτες που σχετίζονται με τα φαινόμενα πυρκαγιάς.
- Αν και στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής, οι μεταβολές των χρήσεων/καλύψεων γης μελετώνται από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 και μετά, στην περιοχή της Μεσογείου σημαντικές μεταβολές παρατηρήθηκαν και κατά την περίοδο 1940 – 1980. Έτσι, σε μελλοντική έρευνα, σκόπιμη κρίνεται η διερεύνηση και ερμηνεία των μεταβολών του τοπίου εκείνης της εποχής, αξιοποιώντας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις διαθέσιμες αεροφωτογραφίες και τα απογραφικά δεδομένα.
- Η κλίμακα ανάλυσης για τη διερεύνηση των πιθανών κινητήριων δυνάμεων, λόγω του περιορισμού των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων, έγινε σε επίπεδο δημοτικού διαμερίσματος/τοπικής ενότητας. Καθώς οι παρατηρούμενες μεταβολές συμβαίνουν σε ακόμη μικρότερη κλίμακα ανάλυσης, η τοπικά εστιασμένη έρευνα για τους λόγους που οδήγησαν στις αλλαγές του τοπίου (άμεσες και βαθύτερες αιτίες), θα μπορούσε να δώσει επιπλέον συμπεράσματα για τις σχέσεις αιτίας - αιτιατού.
- Αν και στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής η πρόβλεψη της σύνθεσης του τοπίου ήταν ακριβής, σε μελλοντική έρευνα η εφαρμογή και σύγκριση παραπάνω μοντέλων θα ήταν χρήσιμη ώστε να διερευνηθούν τυχόν διαφοροποιήσεις. Επιπλέον, σε μελλοντικές εφαρμογές, η ενσωμάτωση των συνεπειών που προβλέπονται από την κλιματική αλλαγή καθώς και διάφορων διαχειριστικών σχεδίων, θα ενίσχυε σημαντικά τη χρησιμότητα των ευρημάτων, ειδικότερα σε παράκτια και νησιωτικά οικοσυστήματα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abu Hammad, A., & Tumeizi, A. (2012). Land degradation: Socioeconomic and environmental causes and consequences in the eastern mediterranean. *Land Degradation and Development*. <https://doi.org/10.1002/ldr.1069>
- Abuelaish, B., & Olmedo, M. T. C. (2016). Scenario of land use and land cover change in the Gaza Strip using remote sensing and GIS models. *Arabian Journal of Geosciences*. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2292-7>
- Aburas, M. M., Ho, Y. M., Ramli, M. F., & Ash'aari, Z. H. (2016). The simulation and prediction of spatio-temporal urban growth trends using cellular automata models: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.007>
- Acevedo, P., Farfán, M. Á., Márquez, A. L., Delibes-Mateos, M., Real, R., & Vargas, J. M. (2011). Past, present and future of wild ungulates in relation to changes in land use. *Landscape Ecology*, 26(1), 19–31. <https://doi.org/10.1007/s10980-010-9538-2>
- Adam, E., Mutanga, O., Odindi, J., & Abdel-Rahman, E. M. (2014). Land-use/cover classification in a heterogeneous coastal landscape using RapidEye imagery: evaluating the performance of random forest and support vector machines classifiers. *International Journal of Remote Sensing*, 35(10), 3440–3458. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.903435>
- Adams, A. B., Pontius, J., Galford, G., & Gudex-Cross, D. (2019). Simulating forest cover change in the northeastern U.S.: decreasing forest area and increasing fragmentation. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00896-7>
- Addink, E. A., De Jong, S. M., & Pebesma, E. J. (2007). The importance of scale in object-based mapping of vegetation parameters with hyperspectral imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.14358/PERS.73.8.905>
- Agarwal, C., Green, G. M., Grove, J. M., Evans, T. P., & Schweik, C. M. (2002). A Review and Assessment of Land-Use Change Models: Dynamics of Space, Time, and Human Choice. *Apollo The International Magazine Of Art And Antiques*. <https://doi.org/10.1289/ehp.6514>
- Ahlqvist, O. (2008). Extending post-classification change detection using semantic similarity metrics to overcome class heterogeneity: A study of 1992 and 2001 U.S. National Land Cover Database changes. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.08.012>
- Ajaz Ahmed, M. A., Abd-Elrahman, A., Escobedo, F. J., Cropper, W. P., Martin, T. A., & Timilsina, N. (2017). Spatially-explicit modeling of multi-scale drivers of aboveground forest biomass and water yield in watersheds of the Southeastern United States. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.013>
- Akar, Ö., & Güngör, O. (2012). Classification of multispectral images using Random Forest algorithm. *Journal of Geodesy and Geoinformation*. <https://doi.org/10.9733/jgg.241212.1>
- Alados, C. L., Pueyo, Y., Barrantes, O., Escós, J., Giner, L., & Robles, A. B. (2004). Variations in landscape patterns and vegetation cover between 1957 and 1994 in a semiarid Mediterranean ecosystem. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1023/B:LAND.0000036149.96664.9a>

- Alig, R. J., & Healy, R. G. (1987). Urban and built-up land area changes in the United States: An empirical investigation of determinants. *Land Economics*, 63(3), 215–226. <https://doi.org/10.2307/3146831>
- Almeida, C. M., Gleriani, J. M., Castejon, E. F., & Soares-Filho, B. S. (2008). Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics. *International Journal of Geographical Information Science*. <https://doi.org/10.1080/13658810701731168>
- Alphan, H. (2013). Bi-temporal analysis of landscape changes in the easternmost mediterranean deltas using binary and classified change information. *Environmental Management*. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-0001-9>
- Alphan, H. (2017). Analysis of landscape changes as an indicator for environmental monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(1). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5748-7>
- Al-sharif, A. A. A., & Pradhan, B. (2014). Monitoring and predicting land use change in Tripoli Metropolitan City using an integrated Markov chain and cellular automata models in GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(10), 4291–4301. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1119-7>
- Alvarez Martinez, J. M., Suarez-Seoane, S., & De Luis Calabuig, E. (2011). Modelling the risk of land cover change from environmental and socio-economic drivers in heterogeneous and changing landscapes: The role of uncertainty. *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.01.009>
- Anav, A., Ruti, P. M., Artale, V., & Valentini, R. (2010). Modelling the effects of land-cover changes on surface climate in the Mediterranean region. *Climate Research*. <https://doi.org/10.3354/cr00841>
- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., Witmer, R. E., & Peck, D. L. (1976). A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data. A Revision of the Land Use Classification System as Presented in U.S. Geological Survey Circular 671, 964, 41.
- Andrade, L. (2015). QGIS Python Plugins "OSMDDownloader". <https://github.com/icoandrade/OSMDDownloader>.
- Anselin, L. (2002). Under the hood issues in the specification and interpretation of spatial regression models. In *Agricultural Economics*. [https://doi.org/10.1016/S0169-5150\(02\)00077-4](https://doi.org/10.1016/S0169-5150(02)00077-4)
- Aretano, R., Petrosillo, I., Zaccarelli, N., Semeraro, T., & Zurlini, G. (2013). People perception of landscape change effects on ecosystem services in small Mediterranean islands: A combination of subjective and objective assessments. *Landscape and Urban Planning*, 112(1), 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.12.010>
- Arianoutsou, M. (2001). Landscape changes in Mediterranean ecosystems of Greece: implications for fire and biodiversity issues. *Journal of Mediterranean Ecology*, 2, 165–178.
- Attorre, F., Bruno, M., Francesconi, F., Valenti, R., & Bruno, F. (2000). Landscape changes of Rome through tree-lined roads. *Landscape and Urban Planning*. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(00\)00069-4](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00069-4)
- Awange, J. L., & Kyalo Kiema, J. B. (2013). Fundamentals of remote sensing. In *Environmental Science and Engineering (Subseries: Environmental Science)*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34085-7_7
- Baatz, M. (2000). Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58(3–4), 12–23.

- Baatz, M., & Schäpe, A. (2000). Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000*, Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag (pp. 12–23). <https://doi.org/Export> Date 6 May 2013
- Baessler, C., & Klotz, S. (2006). Effects of changes in agricultural land-use on landscape structure and arable weed vegetation over the last 50 years. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.12.007>
- Bajocco, S., Ceccarelli, T., Smiraglia, D., Salvati, L., & Ricotta, C. (2016). Modeling the ecological niche of long-term land use changes: The role of biophysical factors. *Ecological Indicators*, 60, 231–236. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.034>
- Bajocco, S., De Angelis, A., Perini, L., Ferrara, A., & Salvati, L. (2012). The impact of Land Use/Land Cover Changes on land degradation dynamics: A Mediterranean case study. *Environmental Management*, 49(5), 980–989. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9831-8>
- Baker, W. L. (1989). A review of models of landscape change. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/BF00137155>
- Bakker, M. M., Govers, G., Kosmas, C., Vanacker, V., Oost, K. Van, & Rounsevell, M. (2005). Soil erosion as a driver of land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.07.009>
- Batistella, M., & Valladares, G. S. (2009). Farming expansion and land degradation in Western Bahia, Brazil. *Biota Neotropica*. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000300005>
- Batty, M., & Xie, Y. (1994). From cells to cities. *Environment & Planning B: Planning & Design*. <https://doi.org/10.1068/b21s031>
- Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., & Heynen, M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58(3–4), 239–258. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2003.10.002>
- Berberoglu, S., Akin, A., & Clarke, K. C. (2016). Cellular automata modeling approaches to forecast urban growth for adana, Turkey: A comparative approach. *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.04.017>
- Berberoglu, S., Lloyd, C. D., Atkinson, P. M., & Curran, P. J. (2000). The integration of spectral and textural information using neural networks for land cover mapping in the Mediterranean. *Computers and Geosciences*. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(99\)00119-3](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(99)00119-3)
- Berling-Wolff, S., & Wu, J. (2004). Modeling urban landscape dynamics: A review. In *Ecological Research*. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1703.2003.00611.x>
- Bezák, P., & Mitchley, J. (2014). Drivers of change in mountain farming in Slovakia: From socialist collectivisation to the Common Agricultural Policy. *Regional Environmental Change*. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0580-x>

- Bholowalia, P., & Kumar, A. (2014). EBK - means: A clustering technique based on elbow method and K means in WSN. *International Journal of Computer Applications*. <https://doi.org/10.5120/18405-9674>
- Bieling, C., Plieninger, T., & Schaich, H. (2013). Patterns and causes of land change: Empirical results and conceptual considerations derived from a case study in the Swabian Alb, Germany. *Land Use Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.05.012>
- Binbin, A., Harris, P., Charlton, M., Bruns-, C., Nakaya, T., & Gollini, I. (2018). Package 'GWmodel'. <http://gwr.nuim.ie/>
- Biró, M., Czúcz, B., Horváth, F., Révész, A., Csátri, B., & Molnár, Z. (2013). Drivers of grassland loss in Hungary during the post-socialist transformation (1987-1999). *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9818-0>
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>
- Blaschke, T., & Strobl, J. (2001). What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *Geo-Information-Systeme*.
- Blaschke, T., Burnett, C., & Pekkarinen, A. (2004). Image Segmentation Methods for Object-based Analysis and Classification. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2560-0_12
- Blondel, J. (2008). On humans and wildlife in Mediterranean islands. *Journal of Biogeography*, 35(3), 509–518. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01819.x>
- Blondel, J., Aronson, J., Bodiou, J.-Y., & Boeuf, G. (2010). The Mediterranean Region- Biological Diversity in Space and Time, 384.
- Boavida-Portugal, I., Rocha, J., & Ferreira, C. C. (2016). Exploring the impacts of future tourism development on land use/cover changes. *Applied Geography*, 77, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.10.009>
- Bock, M., Rossner, G., Lang, S., & Klug, H. (2003). Spatial Indicators for European Nature Conservation.
- Bock, M., Xofis, P., Mitchley, J., Rossner, G., & Wissen, M. (2005). Object-oriented methods for habitat mapping at multiple scales - Case studies from Northern Germany and Wye Downs, UK. *Journal for Nature Conservation*, 13(2–3), 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2004.12.002>
- Bodesmo, M., Pacicco, L., Romano, B., & Ranfa, A. (2012). The role of environmental and socio-demographic indicators in the analysis of land use changes in a protected area of the Natura 2000 Network: The case study of Lake Trasimeno, Umbria, Central Italy. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2004-z>
- Böhner, J., Selige, T., & Ringeler, A. (2006). Image segmentation using representativeness analysis and region growing. In *SAGA - Analyses and modelling applications*.
- Bonet, A., Pena, J., Bellot, J., Cremades, M., & Sanchez, J. R. (2001). Changing vegetation and landscape patterns in semi-arid Spain. In *Ecosystems and Sustainable Development Iii*.

- Bontemps, S., Langner, A., & Defourny, P. (2012). Monitoring forest changes in Borneo on a yearly basis by an object-based change detection algorithm using SPOT-VEGETATION time series. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.638336>
- Bovolo, F., & Bruzzone, L. (2007). A theoretical framework for unsupervised change detection based on change vector analysis in the polar domain. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(1), 218–236. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.885408>
- Bovolo, F., Marchesi, S., & Bruzzone, L. (2012). A framework for automatic and unsupervised detection of multiple changes in Multitemporal Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2171493>
- Boyd, D. S., & Danson, F. M. (2005). Satellite remote sensing of forest resources: Three decades of research development. *Progress in Physical Geography*. <https://doi.org/10.1191/0309133305pp432ra>
- Brandt, P. (1999). Rural land-use and landscape dynamics - analysis of “driving forces” in space and time. *Land-Use Changes and Their Environmental Impact in Rural Areas in Europe*.
- Burgi, M., Hersperger, A. M., & Schneeberger, N. (2005). Driving forces of landscape change - current and new directions. *Landscape Ecology*, 19(8), 857–868. <https://doi.org/10.1007/s10980-005-0245-3>
- Browder, J. O., Pedlowski, M. A., Walker, R., Wynne, R. H., Summers, P. M., Abad, A., ... Mil-Homens, J. (2008). Revisiting Theories of Frontier Expansion in the Brazilian Amazon: A Survey of the Colonist Farming Population in Rondônia's Post-Frontier, 1992-2002. *World Development*. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2007.08.008>
- Brown, D. G., Verburg, P. H., Pontius, R. G., & Lange, M. D. (2013). Opportunities to improve impact, integration, and evaluation of land change models. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.07.012>
- Brunori, E., Salvati, L., Mancinelli, R., Smiraglia, D., & Biasi, R. (2017). Multi-temporal land use and cover changing analysis: the environmental impact in Mediterranean area. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 24, 276-288. <https://doi.org/10.1080/13504509.2016.1205156>
- Bruzzone, L., & Bovolo, F. (2013). A novel framework for the design of change-detection systems for very-high-resolution remote sensing images. *Proceedings of the IEEE*. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2197169>
- Bucala-Hrabia, A. (2017). Long-term impact of socio-economic changes on agricultural land use in the Polish Carpathians. *Land Use Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.03.013>
- Buhalis, D. (1998). Tourism in the Mediterranean: Challenges and opportunities. *Tourism Recreation Research*, 23, 90-91. <https://doi.org/10.1080/02508281.1998.11014827>
- Bullard, J. (2004). *Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses*. The Geographical Journal.
- Bürgi, M., Bieling, C., von Hackwitz, K., Kizos, T., Lieskovský, J., Martín, M. G., ... Printsmann, A. (2017). Processes and driving forces in changing cultural landscapes across Europe. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0513-z>

- Burgi, M., Hersperger, A. M., & Schneeberger, N. (2005). Driving forces of landscape change - current and new directions. *Landscape Ecology*, 19(8), 857–868. <https://doi.org/10.1007/s10980-005-0245-3>
- Bürgi, M., Straub, A., Gimmi, U., & Salzmann, D. (2010). The recent landscape history of Limpach valley, Switzerland: Considering three empirical hypotheses on driving forces of landscape change. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9412-2>
- Burnham, B. O. (1973). Markov Intertemporal Land Use Simulation Model. *Journal of Agricultural and Applied Economics*. <https://doi.org/10.1017/s0081305200011110>
- Busck, A. G., & Kristensen, S. B. P. (2014). From agriculture to nature - a study of drivers of land use change in a peri-urban landscape. *Geografisk Tidsskrift*. <https://doi.org/10.1080/00167223.2014.889575>
- Buyantuyev, A., & Wu, J. (2010). Urban heat islands and landscape heterogeneity: Linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape Ecology*, 25, 17–33. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9402-4>
- Cabello, A., Velasco, M., Barredo, J. I., Hurkmans, R. T. W. L., Barrera-Escoda, A., Sempere-Torres, D., & Velasco, D. (2011). Assessment of future scenarios of climate and land-use changes in the IMPRINTS test-bed areas. *Environmental Science and Policy*, 14(7), 884–897. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.03.003>
- Calcagno, V. (2015). Package “glmulti”. <https://cran.r-project.org/web/packages/glmulti/glmulti.pdf>
- Calcagno, V., & de Mazancourt, C. (2010). glmulti: An R package for easy automated model selection with (Generalized) Linear Models. *Journal of Statistical Software*, 34(12). <https://doi.org/10.18637/jss.v034.i12>
- Calvo-Iglesias, M. S., Fra-Paleo, U., & Diaz-Varela, R. A. (2009). Changes in farming system and population as drivers of land cover and landscape dynamics: The case of enclosed and semi-openfield systems in Northern Galicia (Spain). *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.025>
- Cánovas-García, F., & Alonso-Sarriá, F. (2015). Optimal combination of classification algorithms and feature ranking methods for object-based classification of submeter resolution Z/I-Imaging DMC imagery. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs70404651>
- Celio, E., Koellner, T., & Grêt-Regamey, A. (2014). Modeling land use decisions with Bayesian networks: Spatially explicit analysis of driving forces on land use change. *Environmental Modelling and Software*. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.10.014>
- Charlton, M., & A Stewart Fotheringham. (2002). Introduction to Geographically Weighted Regression. Science Foundation Ireland under the National Development Plan. <https://doi.org/10.1186/s12957-017-1283-4>
- Chehata, N., Orny, C., Boukir, S., & Guyon, D. (2013). Object-based forest change detection using high resolution images. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xxxviii-3-w22-49-2011>
- Chen, X., Chen, J., Shi, Y., & Yamaguchi, Y. (2012). An automated approach for updating land cover maps based on integrated change detection and classification methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.05.006>

- Cheng, J., & Masser, I. (2003). Urban growth pattern modeling: A case study of Wuhan City, PR China. *Landscape and Urban Planning*, 62(4), 199–217. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00150-0](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00150-0)
- Chou, T. Y., Lei, T. C., Wan, S., & Yang, L. S. (2005). Spatial knowledge databases as applied to the detection of changes in urban land use. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160500057889>
- Chust, G., Ducrot, D., Riera, J. L., & Pretus, J. L. (1999). Characterizing human-modelled landscapes at a stationary state: A case study of Minorca, Spain. *Environmental Conservation*. <https://doi.org/10.1017/S0376892999000430>
- Clarke, K. C., & Gaydos, L. J. (1998). Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: Long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International Journal of Geographical Information Science*. <https://doi.org/10.1080/136588198241617>
- Clarke, K. C., Hoppen, S., & Gaydos, L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*. <https://doi.org/10.1068/b240247>
- Clement, F., Orange, D., Williams, M., Mulley, C., & Epprecht, M. (2009). Drivers of afforestation in Northern Vietnam: Assessing local variations using geographically weighted regression. *Applied Geography*. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.01.003>
- Cocca, G., Sturaro, E., Gallo, L., & Ramanzin, M. (2012). Is the abandonment of traditional livestock farming systems the main driver of mountain landscape change in Alpine areas? *Land Use Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.01.005>
- Cocke, A. E., Fulé, P. Z., & Crouse, J. E. (2005). Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data. *International Journal of Wildland Fire*, 14(2), 189. <https://doi.org/10.1071/WF04010>
- Cohen, M., Varga, D., Vila, J., & Barrassaud, E. (2011). A multi-scale and multi-disciplinary approach to monitor landscape dynamics: A case study in the Catalan pre-Pyrenees (Spain). *Geographical Journal*. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2010.00368.x>
- Comber, A., Fisher, P., & Wadsworth, R. (2004). Assessment of a semantic statistical approach to detecting land cover change using inconsistent data sets. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.14358/PERS.70.8.931>
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1565–1596. <https://doi.org/10.1080/0143116031000101675>
- Couclelis, H. (1997). From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation. *Environment and Planning B: Planning and Design*. <https://doi.org/10.1068/b240165>
- Courtis, P., & Mylonakis, J. (2008). A holistic approach of assessing and improving competitiveness in tourism: The case of Ionian Islands (Greece). *Problems and Perspectives in Management*, 6(3), 31–37.

- Cowling, R. M., Rundel, P. W., Lamont, B. B., Arroyo, M. K., & Arianoutsou, M. (1996). Plant diversity in mediterranean-climate regions. *Trends in Ecology and Evolution*. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(96\)10044-6](https://doi.org/10.1016/0169-5347(96)10044-6)
- Darwiche, A. (2009). Modeling and reasoning with Bayesian networks. *Modeling and Reasoning with Bayesian Networks*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811357>
- Dascalaki, E., & Balaras, C. A. (2004). XENIOS - A methodology for assessing refurbishment scenarios and the potential of application of RES and RUE in hotels. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.03.007>
- Dawson, T., Sandoval, J. S., Sagan, V., & Crawford, T. (2018). A spatial analysis of the relationship between vegetation and poverty. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7, 83. <https://doi.org/10.3390/ijgi7030083>
- De Aranzabal, I., Schmitz, M. F., Aguilera, P., & Pineda, F. D. (2008). Modelling of landscape changes derived from the dynamics of socio-ecological systems. A case of study in a semiarid Mediterranean landscape. *Ecological Indicators*, 8(5), 672–685. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.11.003>
- De Carvalho Júnior, O. A., Guimarães, R. F., Silva, N. C., Gillespie, A. R., Gomes, R. A. T., Silva, C. R., & De Carvalho, A. P. F. (2013). Radiometric normalization of temporal images combining automatic detection of pseudo-invariant features from the distance and similarity spectral measures, density scatterplot analysis, and robust regression. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs5062763>
- De Montis, A., Martín, B., Ortega, E., Ledda, A., & Serra, V. (2017). Landscape fragmentation in Mediterranean Europe: A comparative approach. *Land Use Policy*, 64, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.028>
- Deng, J. S., Wang, K., Deng, Y. H., & Qi, G. J. (2008). PCA-based land-use change detection and analysis using multitemporal and multisensor satellite data. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160801950162>
- Detsis, V., Ntasiopoulou, G., Chalkias, C., & Efthimiou, G. (2010). Recent insular mediterranean landscape evolution: A case study on Syros, Greece. *Landscape Research*. <https://doi.org/10.1080/01426391003746549>
- Di Traglia, M., Attorre, F., Francesconi, F., Valenti, R., & Vitale, M. (2011). Is cellular automata algorithm able to predict the future dynamical shifts of tree species in Italy under climate change scenarios? A methodological approach. *Ecological Modelling*, 222(4), 925–934. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.12.009>
- Dietzel, C., & Clarke, K. (2006). The effect of disaggregating land use categories in cellular automata during model calibration and forecasting. *Computers, Environment and Urban Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2005.04.001>
- Dorren, L. K. A., Maier, B., & Seijmonsbergen, A. C. (2003). Improved Landsat-based forest mapping in steep mountainous terrain using object-based classification. *Forest Ecology and Management*. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00113-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00113-0)

- Doxani, G., Karantzalos, K., & Tsakiri-Strati, M. (2012). Monitoring urban changes based on scale-space filtering and object-oriented classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.07.002>
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- Du, L., Zhou, T., Zou, Z., Zhao, X., Huang, K., & Wu, H. (2014). Mapping forest biomass using remote sensing and national forest inventory in China. *Forests*, 5(6), 1267–1283. <https://doi.org/10.3390/f5061267>
- Du, P., Liu, S., Gamba, P., Tan, K., & Xia, J. (2012). Fusion of difference images for change detection over urban areas. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2012.2200879>
- Du, S., Zhang, F., & Zhang, X. (2015). Semantic classification of urban buildings combining VHR image and GIS data: An improved random forest approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.03.011>
- Duro, D. C., Franklin, S. E., & Dubé, M. G. (2012). A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.020>
- Duro, D. C., Franklin, S. E., & Dubé, M. G. (2012). Multi-scale object-based image analysis and feature selection of multi-sensor earth observation imagery using random forests. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.649864>
- Ehlers, M., Gähler, M., & Janowsky, R. (2003). Automated analysis of ultra high resolution remote sensing data for biotope type mapping: New possibilities and challenges. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(5–6), 315–326. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(02\)00161-2](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(02)00161-2)
- Eiter, S., & Potthoff, K. (2016). Landscape changes in Norwegian mountains: Increased and decreased accessibility, and their driving forces. *Land Use Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.02.017>
- Estel, S., Kuemmerle, T., Alcántara, C., Levers, C., Prishchepov, A., & Hostert, P. (2015). Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.03.028>
- European Environment Agency. (2012). Streamlining European biodiversity indicators 2020: Building a future on lessons learnt from the SEBI 2010 process. <https://doi.org/10.2800/55751>
- Falco, N., Mura, M. D., Bovolo, F., Benediktsson, J. A., & Bruzzone, L. (2013). Change detection in VHR images based on morphological attribute profiles. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2012.2222340>
- Farina, A. (1998). Principles and Methods in Landscape Ecology. Libro (Vol. 3). <https://doi.org/10.1007/1-4020-3329-X>

- Feliciísimo, A. M., Francés, E., Fernández, J. M., González-Díez, A., & Varas, J. (2002). Modeling the potential distribution of forests with a GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 14, 709–726. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2010.01229.x>
- Feng, Y., Liu, Y., & Tong, X. (2018). Spatiotemporal variation of landscape patterns and their spatial determinants in Shanghai, China. *Ecological Indicators*, 87, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.034>
- Fick, S. E. & Hijmans, R. J. (2017). Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37, 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fischer, J., & Lindenmayer, D. B. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: A synthesis. *Global Ecology and Biogeography*. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x>
- Flanders, D., Hall-Beyer, M., & Pereverzoff, J. (2003). Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction. *Canadian Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.5589/m03-006>
- Florinsky, I. V., & Kuryakova, G. A. (1996). Influence of topography on some vegetation cover properties. *Catena*, 27, 123–141 [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(96\)00005-7](https://doi.org/10.1016/0341-8162(96)00005-7)
- Frohn, R. C., Autrey, B. C., Lane, C. R., & Reif, M. (2011). Segmentation and object-oriented classification of wetlands in a karst Florida landscape using multi-season Landsat-7 ETM+ imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 32(5), 1471–1489. <https://doi.org/10.1080/01431160903559762>
- Galidaki, G., & Gitas, I. (2014). Mediterranean forest species mapping using classification of Hyperion imagery. *Geocarto International*, (February), 37–41. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.883439>
- Gamanya, R., De Maeyer, P., & De Dapper, M. (2009). Object-oriented change detection for the city of Harare, Zimbabwe. *Expert Systems with Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.09.067>
- Gao, F., de Colstoun, E. B., Ma, R., Weng, Q., Masek, J. G., Chen, J., & Song, C. (2012). Mapping impervious surface expansion using medium-resolution satellite image time series: A case study in the Yangtze River Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.700424>
- Garbarino, M., Lingua, E., Weisberg, P. J., Bottero, A., Meloni, F., & Motta, R. (2013). Land-use history and topographic gradients as driving factors of subalpine *Larix decidua* forests. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9792-6>
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2006). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:pcaudf\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:pcaudf]2.0.co;2)
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2004). Dynamic Causal Patterns of Desertification. *BioScience*. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0817:dcpod\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0817:dcpod]2.0.co;2)
- Georganos, S., Grippa, T., Vanhuysse, S., Lennert, M., Shimoni, M., Kalogirou, S., & Wolff, E. (2017). Less is more: optimizing classification performance through feature selection in a very-high-resolution remote sensing object-based urban application. *GIScience and Remote Sensing*, pp. 1–22. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1408892>

- Gergel, S. E., Stange, Y., Coops, N. C., Johansen, K., & Kirby, K. R. (2007). What is the value of a good map? An example using high spatial resolution imagery to aid riparian restoration. *Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9040-0>
- Geri, F., Amici, V., & Rocchini, D. (2010). Human activity impact on the heterogeneity of a Mediterranean landscape. *Applied Geography*, 30(3), 370–379. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.10.006>
- Ghosh, A., & Joshi, P. K. (2014). A comparison of selected classification algorithms for mapping bamboo patches in lower Gangetic plains using very high resolution WorldView 2 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.08.011>
- Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., ... Hazra, S. (2017). Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling- A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.01.005>
- Gilbertson, J. K., Kemp, J., & van Niekerk, A. (2017). Effect of pan-sharpening multi-temporal Landsat 8 imagery for crop type differentiation using different classification techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.12.006>
- Gillespie, T. W., Foody, G. M., Rocchini, D., Giorgi, A. P., & Saatchi, S. (2008). Measuring and modelling biodiversity from space. *Progress in Physical Geography*. <https://doi.org/10.1177/0309133308093606>
- Gitas, I. Z., Mitri, G. H., & Ventura, G. (2004). Object-based image classification for burned area mapping of Creus Cape, Spain, using NOAA-AVHRR imagery. In *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.06.006>
- Gounaridis, D., Chorianopoulos, I., Symeonakis, E., & Koukoulas, S. (2019). A Random Forest-Cellular Automata modelling approach to explore future land use/cover change in Attica (Greece), under different socio-economic realities and scales. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.302>
- Gounaridis, D., Symeonakis, E., Chorianopoulos, I., & Koukoulas, S. (2018). Incorporating density in spatiotemporal land use/cover change patterns: The case of Attica, Greece. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs10071034>
- Green, K., Kempka, D., & Lackey, L. (1994). Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*.
- Greeuw, S., Asselt, M. van, & Grosskurth, J. (2000). Cloudy crystal balls: An assessment of recent European and Global scenario studies and models. *Environmental issue report*. European Environment Agency.
- Grömping, U. (2006). Relative Importance for Linear Regression in R: The Package relaimpo. *Journal of Statistical Software*, 17, 1–27. <https://doi.org/10.18637/jss.v017.i01>
- Guan, H., Li, J., Chapman, M., Deng, F., Ji, Z., & Yang, X. (2013). Integration of orthoimagery and lidar data for object-based urban thematic mapping using random forests. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.788261>
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)

- Gustafson, E. J., Shifley, S. R., Mladenoff, D. J., Nimerfro, K. K., & He, H. S. (2000). Spatial simulation of forest succession and timber harvesting using LANDIS. *Canadian Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1139/x99-188>
- Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. *Sustainability (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/su10103421>
- Hame, T., Heiler, I., & San Miguel-Ayanz, J. (1998). An unsupervised change detection and recognition system for forestry. *International Journal of Remote Sensing*, 19(6), 1079–1099. <https://doi.org/10.1080/014311698215612>
- Hamel, M. A., & Andréfouët, S. (2010). Using very high resolution remote sensing for the management of coral reef fisheries: Review and perspectives. *Marine Pollution Bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.07.002>
- Hansen, M. C., Roy, D. P., Lindquist, E., Adusei, B., Justice, C. O., & Altstatt, A. (2008). A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.11.012>
- Hay, G. J., Castilla, G., Wulder, M. A., & Ruiz, J. R. (2005). An automated object-based approach for the multiscale image segmentation of forest scenes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7(4), 339–359. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2005.06.005>
- Hayes, D. J., & Sader, S. A. (2001). Comparison of change-detection techniques for monitoring tropical forest clearing and vegetation regrowth in a time series. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*.
- He, C., Okada, N., Zhang, Q., Shi, P., & Li, J. (2008). Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata. *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.12.010>
- He, C., Shi, P., Chen, J., Li, X., Pan, Y., Li, J., ... Li, J. (2005). Developing land use scenario dynamics model by the integration of system dynamics model and cellular automata model. *Science in China, Series D: Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1360/04yd0248>
- Hellenic Statistical Authority, Demographic Characteristics. Available online: <https://www.statistics.gr> (Accessed on August 2019)
- Hellenic Statistical Authority. Demographic Characteristics. Available online: <http://www.statistics.gr/en/statistics> (accessed on November 2018).
- Hernández-Morcillo, M., Plieninger, T., & Bieling, C. (2013). An empirical review of cultural ecosystem service indicators. *Ecological Indicators*, 29, 434–444. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.013>
- Hersperger, A. M., Gennaio, M. P., Verburg, P. H., & Bürgi, M. (2010). Linking land change with driving forces and actors: Four conceptual models. *Ecology and Society*. <https://doi.org/10.5751/ES-03562-150401>
- Hester, D. B., Nelson, S. A. C., Cakir, H. I., Khorram, S., & Cheshire, H. (2010). High-resolution land cover change detection based on fuzzy uncertainty analysis and change reasoning. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160902893493>

- Hietel, E., Waldhardt, R., & Otte, A. (2005). Linking socio-economic factors, environment and land cover in the German Highlands, 1945-1999. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.11.022>
- Hietel, E., Waldhardt, R., & Otte, A. (2007). Statistical modeling of land-cover changes based on key socio-economic indicators. *Ecological Economics*, 62(3–4), 496–507. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.07.011>
- Hölbling, D., & Neubert, M. (2008). ENVI feature extraction 4.5. GIS-Business.
- Hu, X., Tao, C. V., & Prenzel, B. (2005). Automatic segmentation of high-resolution satellite imagery by integrating texture, intensity, and color features. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.14358/PERS.71.12.1399>
- Islam, K., Rahman, M. F., & Jashimuddin, M. (2018). Modeling land use change using Cellular Automata and Artificial Neural Network: The case of Chunati Wildlife Sanctuary, Bangladesh. *Ecological Indicators*, 88, 439–453. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.047>
- Ispikoudis, I., Lyrantzis, G., & Kyriakakis, S. (1993). Impact of human activities on Mediterranean landscapes in western Crete. *Landscape and Urban Planning*. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(93\)90105-M](https://doi.org/10.1016/0169-2046(93)90105-M)
- Jaafari, S., Sakieh, Y., Shabani, A. A., Daneshkar, A., & Nazarisamani, A. akbar. (2016). Landscape change assessment of reservation areas using remote sensing and landscape metrics (case study: Jajroud reservation, Iran). *Environment, Development and Sustainability*, 18(6), 1701–1717. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9712-4>
- Jaimes, N. B. P., Sendra, J. B., Delgado, M. G., & Plata, R. F. (2010). Exploring the driving forces behind deforestation in the State of Mexico (Mexico) using geographically weighted regression. *Applied Geography*, 30, 576–591. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.05.004>
- Jensen, J. R., & Lulla, K. (1987). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. Geocarto International. <https://doi.org/10.1080/10106048709354084>
- Jensen, J. R., Im, J., Hardin, P., & Jensen, R. R. (2008). Image Classification. In *The SAGE Handbook of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.4135/9780857021052.n19>
- Jin, S., Yang, L., Danielson, P., Homer, C., Fry, J., & Xian, G. (2013). A comprehensive change detection method for updating the National Land Cover Database to circa 2011. *Remote Sensing of Environment*, 132, 159–175. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.01.012>
- Jin, S., Yang, L., Zhu, Z., & Homer, C. (2017). A land cover change detection and classification protocol for updating Alaska NLCD 2001 to 2011. *Remote Sensing of Environment*, 195, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.021>
- Johnson, R. D., & Kasischke, E. S. (1998). Change vector analysis: A technique for the multispectral monitoring of land cover and condition. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/014311698216062>

- Jongman, R. H. G. (2002). Homogenisation and fragmentation of the European landscape: Ecological consequences and solutions. *Landscape and Urban Planning*. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00222-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00222-5)
- Kalogirou, S. (2003). *The Statistical Analysis and Modelling of Internal Migration Flows within England and Wales*, Newcastle University eTheses. <http://theses.ncl.ac.uk>.
- Kalogirou, S. (2015). *Spatial Analysis* [ebook in Greek]. Hellenic Academic Libraries. <http://hdl.handle.net/11419/5029>.
- Kalogirou, S., & Kalogirou, M.S., 2015. Package “lctools”. <http://lctools.science/>
- Karamesouti, M., Detsis, V., Kounalaki, A., Vasiliou, P., Salvati, L., & Kosmas, C. (2015). Land-use and land degradation processes affecting soil resources: Evidence from a traditional Mediterranean cropland (Greece). *Catena*, 132, 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.04.010>
- Kartikayan, B., Sarkar, A., & Majumder, K. L. (1998). A segmentation approach to classification of remote sensing imagery. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/014311698215199>
- Karydas, C. G., & Gitas, I. Z. (2011). Development of an IKONOS image classification rule-set for multi-scale mapping of Mediterranean rural landscapes. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.551549>
- Kassambara, A., & Mundt, F. (2017). Package “factoextra” Type Package Title Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R Package Version, 1(3). <https://doi.org/https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Katsafados, P., Kalogirou, S., Papadopoulos, A., & Korres, G. (2012). Mapping long-term atmospheric variables over Greece. *Journal of Maps*, 8(2), 181–184. <https://doi.org/10.1080/17445647.2012.694273>
- Kefalas, G., Kalogirou, S., Poirazidis, K., & Lorilla, R. S. (2019). Landscape transition in Mediterranean islands: The case of Ionian islands, Greece 1985–2015. *Landscape and Urban Planning*, 191, 103641. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103641>
- Kefalas, G., Lattas, P., Xofis, P., Lorilla, R.S., Martinis, A., & Poirazidis, K. (2018). The use of vegetation indices and change detection techniques as a tool for monitoring ecosystem and biodiversity integrity. *Int. J. Sustainable Agricultural Management and Informatics*, 4(1).
- Kefalas, G., Poirazidis, K., Xofis, P., & Kalogirou, S. (2018). Mapping and Understanding the Dynamics of Landscape Changes on Heterogeneous Mediterranean Islands with the Use of OBIA: The Case of Ionian Region, Greece. *Sustainability (Switzerland)*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/su10092986>
- Keken, Z., Panagiotidis, D., & Skaloš, J. (2015). The influence of damming on landscape structure change in the vicinity of flooded areas: Case studies in Greece and the Czech Republic. *Ecological Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.002>
- Keleş, S., Sivrikaya, F., Çakir, G., & Köe, S. (2008). Urbanization and forest cover change in regional directorate of Trabzon forestry from 1975 to 2000 using landsat data. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9845-5>

- Kennedy, R. E., Townsend, P. A., Gross, J. E., Cohen, W. B., Bolstad, P., Wang, Y. Q., & Adams, P. (2009). Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects. *Remote Sensing of Environment*, 113(7), 1382–1396. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.07.018>
- Kettig, R. L., & Landgrebe, D. A. (1976). Classification of Multispectral Image Data by Extraction and Classification of Homogeneous Objects. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*. <https://doi.org/10.1109/TGE.1976.294460>
- Kilic, S., Evrendilek, F., Berberoglu, S., & Demirkesen, A. C. (2006). Environmental monitoring of land-use and land-cover changes in a Mediterranean Region of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 114(1–3), 157–168. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-2525-z>
- Kilic, S., Senol, S., & Evrendilek, F. (2003). Evaluation of Land Use Potential and Suitability of Ecosystems in Antakya for Reforestation, Recreation, Arable Farming and Residence Antakya Ekosistemlerinin Agaclandirma, Rekreasyon, Tarim ve Konut icin Arazi Kullanım Potansiyeli ve Uygunluginun Degerle. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27(1), 15–22.
- Kindu, M., Schneider, T., Teketay, D., & Knoke, T. (2013). Land use/land cover change analysis using object-based classification approach in Munessa-Shashemene landscape of the ethiopian highlands. *Remote Sensing*, 5(5), 2411–2435. <https://doi.org/10.3390/rs5052411>
- Kizos, T., Verburg, P. H., Bürgi, M., Gounaridis, D., Plieninger, T., Bieling, C., & Balatsos, T. (2018). From concepts to practice: combining different approaches to understand drivers of landscape change. *Ecology and Society*. <https://doi.org/10.5751/ES-09910-230125>
- Klapka, P., Křemenová, G., & Martinát, S. (2005). Selected socio-economic factors affecting landscape structure in the Vrchlabí and Vimperk regions: Analysis, consequences, sustainability. *Moravian Geographical Reports*.
- Kok, K., & Winograd, M. (2002). Modelling land-use change for Central America, with special reference to the impact of hurricane Mitch. In *Ecological Modelling*. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00514-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00514-2)
- Kolios, S., & Stylios, C. D. (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>
- Kontoes, C., Keramitsoglou, I., Papoutsis, I., Sifakis, N. I., & Xofis, P. (2013). National scale operational mapping of burnt areas as a tool for the better understanding of contemporary wildfire patterns and regimes. *Sensors (Switzerland)*, 13(8), 11146–11166. <https://doi.org/10.3390/s130811146>
- Kosmas, C., Tsara, M., Moustakas, N., Kosma, D., & Yassoglou, N. (2006). Environmentally sensitive areas and indicators of desertification. In *Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue*. https://doi.org/10.1007/1-4020-3760-0_25
- Krausmann, F., Haberl, H., Schulz, N. B., Erb, K. H., Darge, E., & Gaube, V. (2003). Land-use change and socio-economic metabolism in Austria - Part I: Driving forces of land-use change: 1950-1995. *Land Use Policy*, 20(1), 1–20. [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(02\)00048-0](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(02)00048-0)

- Kristensen, L. S., Thenail, C., & Kristensen, S. P. (2004). Landscape changes in agrarian landscapes in the 1990s: The interaction between farmers and the farmed landscape. A case study from Jutland, Denmark. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.03.003>
- Ku, C.-A. (2016). Incorporating spatial regression model into cellular automata for simulating land use change. *Applied Geography*, 69, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.02.005>
- Lacitignola, D., Petrosillo, I., Cataldi, M., & Zurlini, G. (2007). Modelling socio-ecological tourism-based systems for sustainability. *Ecological Modelling*, 206, 191–204. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.034>
- Lackner, M., & Conway, T. M. (2008). Determining land-use information from land cover through an object-oriented classification of IKONOS imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.5589/m08-016>
- Lagarias, A. (2012). Urban sprawl simulation linking macro-scale processes to micro-dynamics through cellular automata, an application in Thessaloniki, Greece. *Applied Geography*. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.10.018>
- Lambin, E. F., Rounsevell, M. D. A., & Geist, H. J. (2000). Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? *Agriculture, Ecosystems and Environment*. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00235-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00235-8)
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., & Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261–269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Lamine, S., Petropoulos, G. P., Singh, S. K., Szabó, S., Bachari, N. E. I., Srivastava, P. K., & Suman, S. (2017). Quantifying land use/land cover spatio-temporal landscape pattern dynamics from Hyperion using SVMs classifier and FRAGSTATS®. *Geocarto International*, pp. 1–17. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1307460>
- Lang, S., & Langanke, T. (2006). Object-based mapping and object-relationship modeling for land use classes and habitats. *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, 1/2006.
- Leung, Y., Mei, C. L., & Zhang, W. X. (2000). Testing for spatial autocorrelation among the residuals of the geographically weighted regression. *Environment and Planning A*, 32, 871–890. <https://doi.org/10.1068/a32117>
- Li, F., Zhang, S., Bu, K., Yang, J., Wang, Q., & Chang, L. (2015). The relationships between land use change and demographic dynamics in western Jilin province. *Journal of Geographical Sciences*, 25(5), 617–636. <https://doi.org/10.1007/s11442-015-1191-x>
- Li, H., & Reynolds, J. F. (1995). On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos*, 73(2), 280–284. <https://doi.org/10.2307/3545921>
- Li, M., Ma, L., Blaschke, T., Cheng, L., & Tiede, D. (2016). A systematic comparison of different object-based classification techniques using high spatial resolution imagery in agricultural environments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.01.011>

- Li, X., & Yeh, A. G. O. (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*. <https://doi.org/10.1080/13658810210137004>
- Li, X., Chen, G., Liu, X., Liang, X., Wang, S., Chen, Y., ... Xu, X. (2017). A New Global Land-Use and Land-Cover Change Product at a 1-km Resolution for 2010 to 2100 Based on Human–Environment Interactions. *Annals of the American Association of Geographers*. <https://doi.org/10.1080/24694452.2017.130335>
- Λιαρίκος Κ., Μαραγκού Π., Παπαγιάννης Θ., 2012. Η Ελλάδα τότε και τώρα: Διαχρονική Χαρτογράφηση των Καλύψεων γης, 1987 -2007. WWF Έλλάς, Αθήνα.
- Liang, X., Liu, X., Li, D., Zhao, H., & Chen, G. (2018). Urban growth simulation by incorporating planning policies into a CA-based future land-use simulation model. *International Journal of Geographical Information Science*. <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1502441>
- Liang, X., Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tian, H., & Yao, Y. (2018). Delineating multi-scenario urban growth boundaries with a CA-based FLUS model and morphological method. *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.04.016>
- Lillesand, R. W., & Kiefer, T. M. (1994). *Remote sensing and image interpretation -- 3rd ed.* John Wiley and Sons, Inc., New York, 524–647.
- Liping, C., Yujun, S., & Saeed, S. (2018). Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques—A case study of a hilly area, Jiangle, China. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200493>
- Lipský, Z., Kopecký, M., & Kvapil, D. (1999). Present land use changes in the Czech cultural landscape. *Ekologia Bratislava*.
- Listner, C., & Niemeyer, I. (2011). Object-based change detection. *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*. <https://doi.org/10.1127/1432-8364/2011/0085>
- Liu, J. G., & Mason, P. J. (2013). Essential image processing and GIS for remote sensing. *Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1002/9781118687963>
- Liu, Q., Buyantuev, A., Wu, J., Niu, J., Yu, D., & Zhang, Q. (2018). Intensive land-use drives regional-scale homogenization of plant communities. *Science of the Total Environment*, 644, 806–814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.019>
- Liu, T., Abd-Elrahman, A., Jon, M., & Wilhelm, V. L. (2018). Comparing Fully Convolutional Networks, Random Forest, Support Vector Machine, and Patch-based Deep Convolutional Neural Networks for Object-based Wetland Mapping using Images from small Unmanned Aircraft System. *GIScience & Remote Sensing*, 55(2), 15481603.2018.1426091. <https://doi.org/10.1080/15481603.2018.1426091>
- Liu, X., Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y., & Pei, F. (2017). A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.09.019>

- Liu, Y., Zhou, G., Liu, D., Yu, H., Zhu, L., & Zhang, J. (2018). The Interaction of Population, Industry and Land in Process of Urbanization in China: A Case Study in Jilin Province. *Chinese Geographical Science*. <https://doi.org/10.1007/s11769-018-0964-4>
- Liverman, D. M., & Cuesta, R. M. R. (2008). Human interactions with the earth system: People and pixels revisited. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33, 1458–1471. <https://doi.org/10.1002/esp.1715>
- Lorilla, R. S., Kalogirou, S., Poirazidis, K., & Kefalas, G. (2019). Identifying spatial mismatches between the supply and demand of ecosystem services to achieve a sustainable management regime in the Ionian Islands (Western Greece). *Land Use Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104171>
- Lorilla, R. S., Poirazidis, K., Kalogirou, S., Detsis, V., & Martinis, A. (2018). Assessment of the spatial dynamics and interactions among multiple ecosystem services to promote effective policy making across Mediterranean island landscapes. *Sustainability (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/su10093285>
- Louca, M., Vogiatzakis, I. N., & Moustakas, A. (2015). Modelling the combined effects of land use and climatic changes: Coupling bioclimatic modelling with Markov-chain Cellular Automata in a case study in Cyprus. *Ecological Informatics*, 30, 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.05.008>
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>
- Lu, Dengsheng, Li, G., & Moran, E. (2014). Current situation and needs of change detection techniques. *International Journal of Image and Data Fusion*. <https://doi.org/10.1080/19479832.2013.868372>
- Lunetta, R. S., Knight, J. F., Ediriwickrema, J., Lyon, J. G., & Worthy, L. D. (2006). Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment*, 105(2), 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.06.018>
- Luo, Y., Liao, M., Yan, J., & ZHANG, C. (2012). A multi-features fusion support vector machine method (MF-SVM) for classification of mangrove remote sensing image. *Journal of Computational Information Systems*, 1(January), 323–334. Retrieved from http://www.jofcis.com/publishedpapers/2012_8_1_323_334.pdf
- Lv, Z. Y., Shi, W. Z., Zhou, X. C., & Benediktsson, J. A. (2017). Semi-automatic system for land cover change detection using Bi-temporal remote sensing images. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs9111112>
- Ma, L., Li, M., Ma, X., Cheng, L., Du, P., & Liu, Y. (2017). A review of supervised object-based land-cover image classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.001>
- Maimaitijiang, M., Ghulam, A., Sandoval, J. S. O., & Maimaitiyiming, M. (2015). Drivers of land cover and land use changes in St. Louis metropolitan area over the past 40 years characterized by remote sensing and census population data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35, 161–174. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.08.020>

- Malek, Ž., & Verburg, P. (2017). Mediterranean land systems: Representing diversity and intensity of complex land systems in a dynamic region. *Landscape and Urban Planning*, 165, 102–116. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.05.012>
- Malila, W. A. (1980). Change vector analysis: an approach for detecting forest changes with Landsat. In *Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*.
- Mallinis, G., Koutsias, N., & Arianoutsou, M. (2014). Monitoring land use/land cover transformations from 1945 to 2007 in two peri-urban mountainous areas of Athens metropolitan area, Greece. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.129>
- Mallinis, G. Koutsias, N., Tsakiri-Strati, M., & Karteris, M. (2008). Object-based classification using Quickbird imagery for delineating forest vegetation polygons in a Mediterranean test site. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.08.007>
- Mallinis, G., Koutsias, N., & Arianoutsou, M. (2014). Monitoring land use/land cover transformations from 1945 to 2007 in two peri-urban mountainous areas of Athens metropolitan area, Greece. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.129>
- Manakos, I., Schneider, T., & Ammer, U. (2000). a Comparison Between the Isodata and the Ecognition Classification Methods on Basis of Field Data. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII, 133–139.
- Markogianni, V., Dimitriou, E., & Kalivas, D. P. (2013). Land-use and vegetation change detection in Plastira artificial lake catchment (Greece) by using remote-sensing and GIS techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 34, 1265–1281. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.718454>
- Martellozzo, F., Amato, F., Murgante, B., & Clarke, K. C. (2018). Modelling the impact of urban growth on agriculture and natural land in Italy to 2030. *Applied Geography*, 91, 156–167. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.12.004>
- Martens, D., Baesens, B., Van Gestel, T., & Vanthienen, J. (2007). Comprehensible credit scoring models using rule extraction from support vector machines. *European Journal of Operational Research*, 183(3), 1466–1476. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.04.051>
- Martinez, F. J. (1992). The bid-choice land-use model: an integrated economic framework. *Environment & Planning A*. <https://doi.org/10.1068/a240871>
- Martinis, A., Minotou, C., & Poirazidis, K. (2016). Alternative tourism at Natura 2000 areas, as a proposal for ecological restoration, protection, conservation, and sustainable development. The case study of Zakynthos and Strofades. In *IISA 2015 - 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications*. <https://doi.org/10.1109/IISA.2015.7387974>
- Marull, J., Pino, J., Tello, E., & Cordobilla, M. J. (2010). Social metabolism, landscape change and land-use planning in the Barcelona Metropolitan Region. *Land Use Policy*, 27(2), 497–510. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.07.004>

- Matthews, R. B., Gilbert, N. G., Roach, A., Polhill, J. G., & Gotts, N. M. (2007). Agent-based land-use models: A review of applications. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-007-9135-1>
- Maulik, U., & Saha, I. (2009). Modified differential evolution based fuzzy clustering for pixel classification in remote sensing imagery. *Pattern Recognition*, 42(9), 2135–2149. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2009.01.011>
- Mayer, R. C., Davis, J. H., & Schoorman, F. D. (1995). an Integrative Model of Organizational Trust. *Academy of Management Review*, 20(3), 709–734. <https://doi.org/10.5465/AMR.1995.9508080335>
- McGarial, K., & Marks, B. J. (1995). FRAGSTAT: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. United States Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station.
- Médail, F. (2017). The specific vulnerability of plant biodiversity and vegetation on Mediterranean islands in the face of global change. *Regional Environmental Change*. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1123-7>
- Mei, A., Manzo, C., Fontinovo, G., Bassani, C., Allegrini, A., & Petracchini, F. (2016). Assessment of land cover changes in Lampedusa Island (Italy) using Landsat TM and OLI data. *Journal of African Earth Sciences*, 122, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.05.014>
- Metzger, M. J., Rounsevell, M. D. A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R., & Schröter, D. (2006). The vulnerability of ecosystem services to land use change. In *Agriculture, Ecosystems and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.025>
- Michalena, E., Hills, J., & Amat, J. P. (2009). Developing sustainable tourism, using a multicriteria analysis on renewable energy in Mediterranean Islands. *Energy for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2009.06.001>
- Mildrexler, D. J., Zhao, M., Heinsch, F. A., & Running, S. W. (2007). A new satellite-based methodology for continental-scale disturbance detection. *Ecological Applications*. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2007\)017\[0235:ANSMFC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2007)017[0235:ANSMFC]2.0.CO;2)
- Millington, J. D. A., Perry, G. L. W., & Romero-Calcerrada, R. (2007). Regression techniques for examining land use/cover change: A case study of a mediterranean landscape. *Ecosystems*, 10(4), 562–578. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9020-4>
- Millington, J. D. A., Wainwright, J., Perry, G. L. W., Romero-Calcerrada, R., & Malamud, B. D. (2009). Modelling Mediterranean landscape succession-disturbance dynamics: A landscape fire-succession model. *Environmental Modelling and Software*, 24(10), 1196–1208. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.03.013>
- Mishra, N. B., & Crews, K. A. (2014). Mapping vegetation morphology types in a dry savanna ecosystem: Integrating hierarchical object-based image analysis with Random Forest. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.876120>
- Mo, D. K., Lin, H., Li, J., Sun, H., & Xiong, Y. M. (2007). Design and implementation of a high spatial resolution remote sensing image intelligent interpretation system. *Data Science Journal*. <https://doi.org/10.2481/dsj.6.S445>

- Monteiro, A. T., Fava, F., Hiltbrunner, E., Della Marianna, G., & Bocchi, S. (2011). Assessment of land cover changes and spatial drivers behind loss of permanent meadows in the lowlands of Italian Alps. *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.12.015>
- Moran, P. A. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*. <https://doi.org/10.1093/biomet/37.1-2.17>
- Morán-Ordóñez, A., Suárez-Seoane, S., Calvo, L., & de Luis, E. (2011). Using predictive models as a spatially explicit support tool for managing cultural landscapes. *Applied Geography*. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.09.002>
- Moser, S. C. (1996). A Partial Instructional Module on Global and Regional Land Use/Cover Change: Assessing the Data and Searching for General Relationships. *Geojournal*, 39(3), 241–283. <https://doi.org/10.2307/41146942>
- Mottet, A., Ladet, S., Coqué, N., & Gibon, A. (2006). Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.017>
- Munyati, C. (2000). Wetland change detection on the Kafue Flats, Zambia, by classification of a multitemporal remote sensing image dataset. *International Journal of Remote Sensing*, 21(9), 1787–1806. <https://doi.org/10.1080/014311600209742>
- Nagendra, H., Lucas, R., Honrado, J. P., Jongman, R. H. G., Tarantino, C., Adamo, M., & Mairota, P. (2013). Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecological Indicators*, 33, 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.09.014>
- Nainggolan, D., Termansen, M., Fleskens, L., Hubacek, K., Reed, M. S., de Vente, J., & Boix-Fayos, C. (2012). What does the future hold for semi-arid Mediterranean agro-ecosystems? - Exploring cellular automata and agent-based trajectories of future land-use change. *Applied Geography*. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.09.007>
- National Aeronautics and Space Administration. Earthdata Search. [Http://earthdata.nasa.gov](http://earthdata.nasa.gov) (Accessed on November 2018)
- Neter, J., Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J. and Wasserman, W. (1996) *Applied Linear Statistical Models*. 4, 318. Irwin, Chicago
- Newland, C. P., Zecchin, A. C., Maier, H. R., Newman, J. P., & van Delden, H. (2018). Empirically derived method and software for semi-automatic calibration of Cellular Automata land-use models. *Environmental Modelling and Software*, 108(April), 208–239. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.07.013>
- Nikodemus, O., Bell, S., Grine, I., & Liepiņš, I. (2005). The impact of economic, social and political factors on the landscape structure of the Vidzeme Uplands in Latvia. In *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.005>
- Nogués-Bravo, D. (2006). Assessing the effect of environmental and anthropogenic factors on land-cover diversity in a Mediterranean mountain environment. *Area*. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2006.00709.x>

- OECD. (1999). Environmental Indicators for Agriculture. Concepts and Framework. Environmental Indicators for Agriculture.
- Opitz, D., & Blundell, S. (2008). Object recognition and image segmentation: The feature analyst® approach. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77058-9_8
- Otukei, J. R., & Blaschke, T. (2010). Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.11.002>
- Overmars, K. P., Verburg, P. H., & Veldkamp, T. (A.). (2007). Comparison of a deductive and an inductive approach to specify land suitability in a spatially explicit land use model. *Land Use Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2005.09.008>
- Parcerisas, L., Marull, J., Pino, J., Tello, E., Coll, F., & Basnou, C. (2012). Land use changes, landscape ecology and their socioeconomic driving forces in the Spanish Mediterranean coast (El Maresme County, 1850-2005). *Environmental Science and Policy*, 23, 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.08.002>
- Parker, K. C., & Bendix, J. (1996). Landscape-scale geomorphic influences on vegetation patterns in four environments. *Physical Geography*, 17(2), 113–141.
- Pascual, C., García-Abril, A., García-Montero, L. G., Martín-Fernández, S., & Cohen, W. B. (2008). Object-based semi-automatic approach for forest structure characterization using lidar data in heterogeneous *Pinus sylvestris* stands. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.055>
- Pebesma, E., & Bivand, R. S. (2005). Classes and Methods for Spatial Data: the sp Package. R CRAN Project. <https://doi.org/10.1.1.160.9361>
- Pebesma, E., Rowlingson, B., & Rogerbivandnhhno, M. R. B. (2012). Package ‘rgdal’ R-CRAN. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9037-x>
- Peña, J., Bonet, A., Bellot, J., Sánchez, J. R., Eisenhuth, D., Hallett, S., & Aledo, A. (2007). Driving Forces of Land-Use Change in a Cultural Landscape of Spain. In *Modelling Land-Use Change: Progress and Applications*. https://doi.org/10.1007/1-4020-5648-6_6
- Pert, P. L., Hill, R., Maclean, K., Dale, A., Rist, P., Schmider, J., ... Tawake, L. (2015). Mapping cultural ecosystem services with rainforest aboriginal peoples: Integrating biocultural diversity, governance and social variation. *Ecosystem Services*, 13, 41–56. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.10.012>
- Petanidou, T., Kizos, T., & Soulakellis, N. (2008). Socioeconomic dimensions of changes in the agricultural landscape of the Mediterranean basin: A case study of the abandonment of cultivation terraces on Nisyros Island, Greece. *Environmental Management*, 41(2), 250–266. <https://doi.org/10.1007/s00267-007-9054-6>
- Petrov, L. O., Lavalle, C., & Kasanko, M. (2009). Urban land use scenarios for a tourist region in Europe: Applying the MOLAND model to Algarve, Portugal. *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.01.011>
- Phiri, D., & Morgenroth, J. (2017). Developments in Landsat land cover classification methods: A review. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs9090967>

- Pielke, R. A., Marland, G., Betts, R. A., Chase, T. N., Eastman, J. L., Niles, J. O., ... Running, S. W. (2013). The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: Relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. In *Capturing Carbon and Conserving Biodiversity: The Market Approach* (pp. 157–172). <https://doi.org/10.4324/9781849770682>
- Pijanowski, B. C., Alexandridis, K. T., & Müller, D. (2006). Modelling urbanization patterns in two diverse regions of the world. *Journal of Land Use Science*. <https://doi.org/10.1080/17474230601058310>
- Pinto-Correia, T., & Kristensen, L. (2013). Linking research to practice: The landscape as the basis for integrating social and ecological perspectives of the rural. *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.07.005>
- Plieninger, T., & Bieling, C. (2010). Resilience and the cultural landscape: Understanding and managing change in human-shaped environments. *Resilience and the Cultural Landscape: Understanding and Managing Change in Human-Shaped Environments*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139107778>
- Plieninger, T., Draux, H., Fagerholm, N., Bieling, C., Bürgi, M., Kizos, T., ... Verburg, P. H. (2016). The driving forces of landscape change in Europe: A systematic review of the evidence. *Land Use Policy*, 57, 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.040>
- Poirazidis, K., Chaideftou, E., Martinis, A., Botnzorlos, V., Palyxeni, G., & Kalivas, D. (2018). Temporal shifts in floristic and avian diversity in Mediterranean pine forest ecosystems under different fire pressures: The island of Zakynthos as a case study. *Annals of Forest Science*. <https://doi.org/10.15287/afr.2017.917>
- Poudevigne, I., Van Rooij, S., Morin, P., & Alard, D. (1997). Dynamics of rural landscapes and their main driving factors: A case study in the Seine Valley, Normandy, France. *Landscape and Urban Planning*. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(97\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(97)00025-X)
- Poursanidis, D., & Chrysoulakis, N. (2017). Remote Sensing, natural hazards and the contribution of ESA Sentinels missions. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.02.001>
- Poursanidis, D., Chrysoulakis, N., & Mitraka, Z. (2015). Landsat 8 vs. Landsat 5: A comparison based on urban and peri-urbanland cover mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.09.010>
- Poyatos, R., Latron, J., & Llorens, P. (2006). Land Use and Land Cover Change After Agricultural Abandonment. *Mountain Research and Development*. [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2003\)023\[0362:lualcc\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2003)023[0362:lualcc]2.0.co;2)
- Propastin, P. A. (2009). Spatial non-stationarity and scale-dependency of prediction accuracy in the remote estimation of LAI over a tropical rainforest in Sulawesi, Indonesia. *Remote Sensing of Environment*, 113, 2234–2242. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.06.007>
- Puissant, A., Rougier, S., & Stumpf, A. (2014). Object-oriented mapping of urban trees using Random Forest classifiers. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.07.002>

- Pungetti, G., Marini, A. and Vogiatzakis, I. (2008). *Sardinia. Mediterranean Island Landscapes: Natural and Cultural Approaches*. Springer.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 119–126. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90134-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90134-1)
- Qian, Y., Zhou, W., Yan, J., Li, W., & Han, L. (2015). Comparing machine learning classifiers for object-based land cover classification using very high resolution imagery. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs70100153>
- Qiang, Y., & Lam, N. S. N. (2015). Modeling land use and land cover changes in a vulnerable coastal region using artificial neural networks and cellular automata. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4298-8>
- Quintana-Ascencio, P. F., Caballero, I., Olano, J. M., Escudero, A., & Albert, M. J. (2009). Does habitat structure matter? Spatially explicit population modelling of an Iberian gypsum endemic. *Population Ecology*, 51(2), 317–328. <https://doi.org/10.1007/s10144-008-0135-z>
- Radoux, J., & Defourny, P. (2007). A quantitative assessment of boundaries in automated forest stand delineation using very high resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.02.031>
- Reed, B. C., Brown, J. F., VanderZee, D., Loveland, T. R., Merchant, J. W., & Ohlen, D. O. (1994). Measuring phenological variability from satellite imagery. *Journal of Vegetation Science*, 5(5), 703–714. <https://doi.org/10.2307/3235884>
- Regos, A., Ninyerola, M., Moré, G., & Pons, X. (2015). Linking land cover dynamics with driving forces in mountain landscape of the Northwestern Iberian Peninsula. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.11.010>
- Reiche, J., Souza, C. M., Hoekman, D. H., Verbesselt, J., Persaud, H., & Herold, M. (2013). Feature level fusion of multi-temporal ALOS PALSAR and Landsat data for mapping and monitoring of tropical deforestation and forest degradation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2013.2245101>
- Rienow, A., & Goetzke, R. (2015). Supporting SLEUTH - Enhancing a cellular automaton with support vector machines for urban growth modeling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 49, 66–81. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.05.001>
- Riitters, K. H., Wickham, J. D., O'Neill, R. V., Jones, K. B., Smith, E. R., Coulston, J. W., ... Smith, J. H. (2002). Fragmentation of continental United States forests. *Ecosystems*, 5(8), 815–822. <https://doi.org/10.1007/s10021-002-0209-2>
- Rindfuss, R. R., Walsh, S. J., Turner, B. L., Fox, J., & Mishra, V. (2004). Developing a science of land change: Challenges and methodological issues. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.0401545101>
- Ripley, B., Venables, B., Bates, D. M., Hornik, K., Gebhardt, A., & Firth, D. (2018). Package “MASS.” <https://doi.org/ISBN 0-387-95457-0>

- Robertson, L. D., & King, D. J. (2011). Comparison of pixel-and object-based classification in land cover change mapping. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160903571791>
- Rockham, O. (2008). Holocene History of Mediterranean Island Landscapes. In *Mediterranean Island Landscapes: Natural and Cultural Approaches*. Springer: Dordrecht, The Netherlands, 9, 36-60. ISBN 1402050631.
- Romano, G., Abdelwahab, O. M. M., & Gentile, F. (2018). Modeling land use changes and their impact on sediment load in a Mediterranean watershed. *Catena*, 163(September 2017), 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.039>
- Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., Studer, M., Roudier, P., & Gonzalez, J. (2018). Package “cluster”. <https://cran.r-project.org/web/packages/cluster/cluster.pdf>
- Sayer, J., Sunderland, T., Ghazoul, J., Pfund, J.-L., Sheil, D., Meijaard, E., ... Buck, L. E. (2013). Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210595110>
- Schaldach, R., & Priess, J. A. (2008). Integrated Models of the Land System: A Review of Modelling Approaches on the Regional to Global Scale. *Living Reviews in Landscape Research*. <https://doi.org/10.12942/lrlr-2008-1>
- Schmitz, M. F., De Aranzabal, I., Aguilera, P., Rescia, A., & Pineda, F. D. (2003). Relationship between landscape typology and socioeconomic structure: Scenarios of change in Spanish cultural landscapes. *Ecological Modelling*, 168(3), 343–356. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(03\)00145-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00145-5)
- Schneeberger, N., Bürgi, M., Hersperger, A. M., & Ewald, K. C. (2007). Driving forces and rates of landscape change as a promising combination for landscape change research-An application on the northern fringe of the Swiss Alps. *Land Use Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2006.04.003>
- 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 Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.06.006>
- Schowengerdt, R. a. (2007). Remote Sensing. *Remote Sensing*, (1980), 45–XIII. <https://doi.org/10.1016/B978-012369407-2/50005-X>
- Serra, P., Pons, X., & Saurí, D. (2008). Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography*, 28(3), 189–209. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.02.001>
- Setiawan, Y., & Yoshino, K. (2014). Detecting land-use change from seasonal vegetation dynamics on regional scale with MODIS EVI 250-m time-series imagery. *Journal of Land Use Science*, 9(3), 304–330. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2013.786151>
- Seto, K. C., Woodcock, C. E., Song, C., Huang, X., Lu, J., & Kaufmann, R. K. (2002). Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160110075532>

- Shao, J. A., Wei, C. F., & Xie, D. T. (2006). An insight on drivers of land use change at regional scale. *Chinese Geographical Science*. <https://doi.org/10.1007/s11769-006-0014-5>
- Shiba, M., & Itaya, A. (2006). Using eCognition for improved forest management and monitoring systems in precision forestry. *Proceedings of the International Precision Forestry Symposium*, Stellenbosch University, South Africa.
- Sidiropoulou, A., Karatassiou, M., Galidaki, G., & Sklavou, P. (2015). Landscape pattern changes in response to transhumance abandonment on mountain vermic (North Greece). *Sustainability (Switzerland)*, 7(11), 15652–15673. <https://doi.org/10.3390/su71115652>
- Sluis, T. Van Der, Kizos, T., & Pedrolì, B. (2014). Landscape change in Mediterranean farmlands: Impacts of land abandonment on cultivation terraces in Portofino (Italy) and Lesbos (Greece). *Journal of Landscape Ecology*, 7, 22. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2014-0008>
- Sohl, T. L., Sayler, K. L., Drummond, M. A., & Loveland, T. R. (2007). The fore-sce model: A practical approach for projecting land cover change using scenario-based modeling. *Journal of Land Use Science*. <https://doi.org/10.1080/17474230701218202>
- Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P., & Macomber, S. A. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, 75(2), 230–244. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00169-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00169-3)
- Spruce, J. P., Sader, S., Ryan, R. E., Smoot, J., Kuper, P., Ross, K., ... Hargrove, W. (2011). Assessment of MODIS NDVI time series data products for detecting forest defoliation by gypsy moth outbreaks. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.09.013>
- Stumpf, A., & Kerle, N. (2011). Object-oriented mapping of landslides using Random Forests. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.013>
- Subedi, P., Subedi, K., & Thapa, B. (2013). Application of a Hybrid Cellular Automaton – Markov (CA-Markov) Model in Land-Use Change Prediction: A Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.12691/aees-1-6-5>
- Symeonakis, E., Caccetta, P., Koukoulas, S., Furby, S., & Karathanasis, N. (2012). Multi-temporal land-cover classification and change analysis with conditional probability networks: The case of Lesbos Island (Greece). *International Journal of Remote Sensing*, 33(13), 4075–4093. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.640961>
- Szabó, P. (2010). Driving forces of stability and change in woodland structure: A case-study from the Czech lowlands. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.11.026>
- Szostak, M., Węyk, P., Hawryło, P., & Puchała, M. (2016). Monitoring the Secondary Forest Succession and Land Cover/Use Changes of the Błędów Desert (Poland) Using Geospatial Analyses. *Quaestiones Geographicae*, 35(3), 5–13. <https://doi.org/10.1515/quageo-2016-0022>
- Tang, J., Wang, L., & Yao, Z. (2007). Spatio-temporal urban landscape change analysis using the Markov chain model and a modified genetic algorithm. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160600962749>

- Teixeira, Z., Teixeira, H., & Marques, J. C. (2014). Systematic processes of land use/land cover change to identify relevant driving forces: Implications on water quality. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.098>
- Tewkesbury, A. P., Comber, A. J., Tate, N. J., Lamb, A., & Fisher, P. F. (2015). A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.006>
- Tewolde, M. G., & Cabral, P. (2011). Urban sprawl analysis and modeling in Asmara, Eritrea. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs3102148>
- Thomlinson, J. R., Bolstad, P. V., & Cohen, W. B. (1999). Coordinating methodologies for scaling landcover classifications from site-specific to global: Steps toward validating global map products. *Remote Sensing of Environment*, 70(1), 16–28. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00055-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00055-3)
- Tompoulidou, M., Gitas, I. Z., Polychronaki, A., & Mallinis, G. (2016). A GEOBIA framework for the implementation of national and international forest definitions using very high spatial resolution optical satellite data. *Geocarto International*, 31(3), 342–354. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1047470>
- Torres, R., Gasparri, N. I., Blendinger, P. G., & Grau, H. R. (2014). Land-use and land-cover effects on regional biodiversity distribution in a subtropical dry forest: A hierarchical integrative multi-taxa study. *Regional Environmental Change*, 14(4), 1549–1561. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0604-1>
- Torres-Vera, M. A., Prol-Ledesma, R. M., & Garcia-Lopez, D. (2008). Three decades of land use variations in Mexico City. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160802261163>
- Troupin, D., & Carmel, Y. (2016). Landscape patterns of development under two alternative scenarios: Implications for conservation. *Land Use Policy*, 54, 221–234. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.02.008>
- Troupin, D., & Carmel, Y. (2018). Conservation planning under uncertainty in urban development and vegetation dynamics. *PLoS ONE*, 13(4), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195429>
- Turner, B., Skole, D., & Sanderson, S. (1995). Land-use and land-cover change. Science/Research Plan. Global Change Report. [https://doi.org/Cited By \(since 1996\) 270rExport Date 3 February 2012](https://doi.org/Cited%20By%20(since%201996)%20rExport%20Date%203%20February%202012)
- Tzanopoulos, J., & Vogiatzakis, I. N. (2011). Processes and patterns of landscape change on a small Aegean island: The case of Sifnos, Greece. *Landscape and Urban Planning*, 99(1), 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.08.014>
- Tzanopoulos, J., Mitchley, J., & Pantis, J. (2005). Modelling the effects of human activity on the vegetation of a northeast Mediterranean island. *Applied Vegetation Science*, 8, 27–38. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2005.tb00626.x>
- Uitamo, E. (1999). Modelling deforestation caused by the expansion of subsistence farming in the philippines. *Journal of Forest Economics*, 5, 99–122.
- Van Asselen, S., & Verburg, P. H. (2013). Land cover change or land-use intensification: Simulating land system change with a global-scale land change model. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.12331>

- Van der Sluis, T., Pedroli, B., Frederiksen, P., Kristensen, S. B. P., Busck, A. G., Pavlis, V., & Cosor, G. L. (2019). The impact of European landscape transitions on the provision of landscape services: an explorative study using six cases of rural land change. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0765-2>
- Van Eetvelde, V., & Antrop, M. (2009). Indicators for assessing changing landscape character of cultural landscapes in Flanders (Belgium). *Land Use Policy*, 26(4), 901–910. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.11.001>
- van Schrojenstein Lantman, J., Verburg, P. H., Bregt, A., & Geertman, S. (2011). Core Principles and Concepts in Land-Use Modelling: A Literature Review. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1822-7_3
- van Vliet, J., de Groot, H. L. F., Rietveld, P., & Verburg, P. H. (2015). Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe. *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.001>
- Vanwey, L. K., Ostrom, E., & Meretsky, V. (2005). Theories Underlying the Study of Human-Environment Interactions. In *Seeing the Forest and the Trees: Human-Environment Interactions in Forest Ecosystems*.
- Veldkamp, A., & Lambin, E. . (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1–3), 1–6. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00199-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00199-2)
- Verburg, P. H., & Chen, Y. (2000). Multiscale characterization of land-use patterns in China. *Ecosystems*, 3(4), 369–385. <https://doi.org/10.1007/s100210000033>
- Verburg, P. H., & Overmars, K. P. (2009). Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: Exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9355-7>
- Verburg, P. H., Chen, Y., & Veldkamp, T. A. (2000). Spatial explorations of land use change and grain production in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00236-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00236-X)
- Verburg, P. H., Crossman, N., Ellis, E. C., Heinimann, A., Hostert, P., Mertz, O., & Zhen, L. (2015). Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective. *Anthropocene*. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2015.09.004>
- Verburg, P. H., Dearing, J. A., Dyke, J. G., Leeuw, S. van der, Seitzinger, S., Steffen, W., & Syvitski, J. (2016). Methods and approaches to modelling the Anthropocene. *Global Environmental Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.08.007>
- Verburg, P. H., Schot, P. P., Dijst, M. J., & Veldkamp, A. (2004). Land use change modelling: Current practice and research priorities. *GeoJournal*. <https://doi.org/10.1007/s10708-004-4946-y>
- Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., & Mastura, S. S. A. (2002). Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model. *Environmental Management*. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2630-x>
- Abuelaish, B., & Olmedo, M. T. C. (2016). Scenario of land use and land cover change in the Gaza Strip using remote sensing and GIS models. *Arabian Journal of Geosciences*. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2292-7>

- Verburg, P. H., van de Steeg, J., Veldkamp, A., & Willemen, L. (2009). From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management*, 90(3), 1327–1335. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.08.005>
- Veroustraete, F. (2015). The Rise of the Drones in Agriculture. *EC Agriculture*.
- Vilar, L., Camia, A., San-Miguel-Ayanz, J., & Martín, M. P. (2016). Modeling temporal changes in human-caused wildfires in Mediterranean Europe based on Land Use-Land Cover interfaces. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.020>
- Vittek, M., Brink, A., Donnay, F., Simonetti, D., & Desclée, B. (2013). Land cover change monitoring using landsat MSS/TM satellite image data over west Africa between 1975 and 1990. *Remote Sensing*, 6(1), 658–676. <https://doi.org/10.3390/rs6010658>
- Vogiatzakis, I. N., & Griffiths, G. H. (2008). Island Biogeography and Landscape Ecology. In *Mediterranean Island Landscapes: Natural and Cultural Approaches* (pp. 61–81).
- Volpi, M., Tuia, D., Bovolo, F., Kanevski, M., & Bruzzone, L. (2012). Supervised change detection in VHR images using contextual information and support vector machines. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.10.013>
- Wang, C., Qi, J., & Cochrane, M. (2005). Assessment of tropical forest degradation with canopy fractional cover from Landsat ETM+ and IKONOS imagery. *Earth Interactions*, 9(22). <https://doi.org/10.1175/EI133.1>
- Wang, L., Sousa, W. P., & Gong, P. (2004). Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/014311602331291215>
- Ward, D. P., Murray, A. T., & Phinn, S. R. (2000). A stochastically constrained cellular model of urban growth. *Computers, Environment and Urban Systems*. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(00\)00008-9](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(00)00008-9)
- Warner, T. A., Nellis, M. D., & Foody, G. M. (2008). *The SAGE Handbook of Remote Sensing*. The SAGE Handbook of Remote Sensing. <https://doi.org/10.4135/9780857021052>
- Weiers, S., Bock, M., Wissen, M., & Rossner, G. (2004). Mapping and indicator approaches for the assessment of habitats at different scales using remote sensing and GIS methods. *Landscape and Urban Planning*, 67(1–4), 43–65. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(03\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00028-8)
- Wellausen, M., & Freitas, D. De. (2013). Land-use and land-cover change processes in the Upper Uruguay Basin : linking environmental and socioeconomic variables, 311–327. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9838-9>
- Wheeler, D. C., & Calder, C. A. (2007). An assessment of coefficient accuracy in linear regression models with spatially varying coefficients. *Journal of Geographical Systems*, 9, 145–166. <https://doi.org/10.1007/s10109-006-0040-y>
- White, R., & Engelen, G. (1994). Cellular dynamics and GIS: modelling spatial complexity. *Geographical Systems*.

- White, R., & Engelen, G. (2000). High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. In *Computers, Environment and Urban Systems*. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(00\)00012-0](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(00)00012-0)
- Wickham, H. (2017). Package “tidyverse,” 1–5. <https://cran.r-project.org/web/packages/tidyverse/tidyverse.pdf>
- Wieland, M., & Pittore, M. (2014). Performance evaluation of machine learning algorithms for urban pattern recognition from multi-spectral satellite images. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs6042912>
- Wilson, E. H., & Sader, S. A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80(3), 385–396. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00318-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00318-2)
- Wolfram, S. (1986). Cellular automaton fluids 1: Basic theory. *Journal of Statistical Physics*. <https://doi.org/10.1007/BF01021083>
- Wood, R., & Handley, J. (2001). Landscape Dynamics and the Management of Change. *Landscape Research*, 26(1), 45–54. <https://doi.org/10.1080/01426390120024475>
- Wu, F., & Webster, C. J. (1998). Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation. *Environment and Planning B: Planning and Design*. <https://doi.org/10.1068/b250103>
- Wu, F., & Martin, D. (2002). Urban expansion simulation of Southeast England using population surface modelling and cellular automata. *Environment and Planning A*. <https://doi.org/10.1068/a3520>
- Wu, F.. (1999). GIS-based simulation as an exploratory analysis for space-time processes. *Journal of Geographical Systems*. <https://doi.org/10.1007/s101090050012>
- Wuest, B., & Zhang, Y. (2009). Region based segmentation of QuickBird multispectral imagery through band ratios and fuzzy comparison. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.06.005>
- Wulder, M. A., Butson, C. R., & White, J. C. (2008). Cross-sensor change detection over a forested landscape: Options to enable continuity of medium spatial resolution measures. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.06.013>
- Xian, G., Homer, C., & Fry, J. (2009). Updating the 2001 National Land Cover Database land cover classification to 2006 by using Landsat imagery change detection methods. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.02.004>
- Xofis, P., & Poirazidis, K. (2018). Combining different spatio-temporal resolution images to depict landscape dynamics and guide wildlife management. *Biological Conservation*, 218, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.12.003>
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Yang, Q., Li, X., & Shi, X. (2008). Cellular automata for simulating land use changes based on support vector machines. *Computers and Geosciences*. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.08.003>

- Yang, X., & Lo, C. P. (2000). Relative radiometric normalization performance for change detection from multi-date satellite images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(August), 967–980.
- Yiannakou, A., Eppas, D., & Zeka, D. (2017). Spatial interactions between the settlement network, natural landscape and zones of economic activities: Case study in a Greek Region. *Sustainability (Switzerland)*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/su9101715>
- Yu, Q., Gong, P., Clinton, N., Biging, G., Kelly, M., & Schirokauer, D. (2006). Object-based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.7.799>
- Zerrouki, N., & Bouchaffra, D. (2014). Pixel-based or object-based: Which approach is more appropriate for remote sensing image classification? *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2014-Janua(January)*, 864–869. <https://doi.org/10.1109/SMC.2014.6974020>
- Zhang, C., Xie, Z., & Selch, D. (2013). Fusing lidar and digital aerial photography for object-based forest mapping in the Florida Everglades. *GIScience and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/15481603.2013.836807>
- Zhao, Z., Gao, J., Wang, Y., Liu, J., & Li, S. (2015). Exploring spatially variable relationships between NDVI and climatic factors in a transition zone using geographically weighted regression. *Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1188-x>
- Zhou, W., Troy, A., & Grove, M. (2008). Object-based land cover classification and change analysis in the baltimore metropolitan area using multitemporal high resolution remote sensing data. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s8031613>
- Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 144, 152–171. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011>
- Zomeni, M., Tzanopoulos, J., & Pantis, J. D. (2008). Historical analysis of landscape change using remote sensing techniques: An explanatory tool for agricultural transformation in Greek rural areas. *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.12.006>
- Ξενοδοχειακό Επιμελητήριο Ελλάδος. www.hgg.gr. Ημερομηνία λήψης 10/2016.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Πίνακας Παραρτήματος 1. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 1985 στην ΠΕ Κέρκυρας.

Κατηγορία	Ξ.Κ.	ΔΑ	ΦΡ.	ΛΙ.	Μ.Κ.	Μ.Π.Ε	Υ.Π.Ε.	Χ.Π.Ε	Α.Β.	Α.Κ.	Μ.Κ.	ΘΑ.	Α.Φ.	Μ.Β.	ΑΜΠ.	Συν.	U.A.
Ξ.Κ.	29	0	0	2	2	0	0	0	1	4	0	0	0	0	2	40	0,73
ΔΑ	0	43	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	49	0,88
ΦΡ.	0	0	43	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	49	0,88
ΛΙ.	0	0	0	34	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	36	0,94
Μ.Κ.	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	35	0,94
Μ.Π.Ε	0	1	0	0	0	36	3	5	0	0	0	0	0	0	2	45	0,80
Υ.Π.Ε.	0	3	0	0	0	3	44	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0,85
Χ.Π.Ε	0	0	0	0	0	1	0	28	0	0	0	0	0	0	0	29	0,97
Α.Β.	0	0	2	3	0	0	0	2	31	0	0	0	0	0	0	42	0,74
Α.Κ.	3	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	04	0	0	35	0,91
Μ.Κ.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	35	1,00
ΘΑ.	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	2	0	51	0,90
Α.Φ.	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	35	0	0	41	0,85
Μ.Β.	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	44	0	47	0,94
ΑΜΠ.	3	0	0	0	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	34	47	0,77
Συν.	35	50	50	40	40	40	50	35	35	40	35	50	40	50	40	Ο,Α,	0,87
P.A.	0,83	0,86	0,86	0,85	0,83	0,90	0,88	0,80	0,89	0,80	1,00	0,92	0,88	0,88	0,85	Κ,	0,86

**Ξ.Κ.: Ξερικές Καλλιέργειες. ΔΑ: Δάσος. ΦΡ.: Φρύγανα. ΛΙ.: Λιβάδια. Μ.Κ.: Μικτές Καλλιέργειες. Μ.Π.Ε.: Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες. Υ.Π.Ε.: Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Χ.Π.Ε.: Χαμηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Α.Β.: Ανοικτές Εκτάσεις/Βράχια. Α.Κ.: Άλλες Καλλιέργειες. Μ.Κ.: Μόνιμες Καλλιέργειες. ΘΑ.: Θαμνώνες. Α.Φ: Αραιά Φρύγανα. Μ.Β.: Μεταβατική Βλάστηση. ΑΜΠ.: Αμπελώνες. Συν.: Σύνολο Δειγμάτων. P.A.: Producer's Accuracy. U.A.: User's Accuracy. OA.: Overall Accuracy. K: Kappa Statistic

Πίνακας Παραρτήματος 2. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2015 στην ΠΕ Κέρκυρας.

Κατηγορία	Ξ.Κ.	ΔΑ	ΦΡ.	ΛΙ.	Μ.Κ.	Μ.Π.Ε	Υ.Π.Ε.	Χ.Π.Ε	Α.Β.	Α.Κ.	Μ.Κ.	ΘΑ.	Α.Φ.	Μ.Β.	ΑΜΠ.	Συν.	U.A.
Ξ.Κ.	28	0	0	1	1	0	0	0	1	5	0	0	0	0	2	38	0,74
ΔΑ	0	42	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	47	0,89
ΦΡ.	0	0	41	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	46	0,89
ΛΙ.	0	0	0	36	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	39	0,92
Μ.Κ.	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	35	0,94
Μ.Π.Ε	0	1	0	0	0	34	4	6	0	0	0	0	0	0	0	45	0,76
Υ.Π.Ε.	0	3	0	0	0	3	44	0	0	0	0	0	0	0	2	52	0,85
Χ.Π.Ε	0	0	0	0	0	2	0	26	0	0	0	0	0	0	0	28	0,93
Α.Β.	0	0	3	2	0	0	0	3	29	0	0	0	3	0	0	40	0,73
Α.Κ.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	32	0,94
Μ.Κ.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	35	1,00
ΘΑ.	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	44	0	1	0	50	0,88
Α.Φ.	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	37	0	0	45	0,82
Μ.Β.	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	46	0	51	0,90
ΑΜΠ.	5	0	0	0	6	0	0	0	0	2	0	0	0	0	34	47	0,72
Συν.	35	50	50	40	40	40	50	35	35	40	35	50	40	50	40	ΟΑ	0,86
P.A.	0,80	0,84	0,82	0,90	0,83	0,85	0,88	0,74	0,83	0,75	1,00	0,88	0,93	0,92	0,85	K	0,85

**Ξ.Κ.: Ξερικές Καλλιέργειες. ΔΑ: Δάσος. ΦΡ.: Φρύγανα. ΛΙ.: Λιβάδια. Μ.Κ.: Μικτές Καλλιέργειες. Μ.Π.Ε.: Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες. Υ.Π.Ε.: Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Χ.Π.Ε.: Χαμηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Α.Β.: Ανοικτές Εκτάσεις/Βράχια. Α.Κ.: Άλλες Καλλιέργειες. Μ.Κ.: Μόνιμες Καλλιέργειες. ΘΑ.: Θαμνώνες. Α.Φ: Αραιά Φρύγανα. Μ.Β.: Μεταβατική Βλάστηση. ΑΜΠ.: Αμπελώνες. Συν.: Σύνολο Δειγμάτων. P.A.: Producer's Accuracy. U.A.: User's Accuracy. ΟΑ.: Overall Accuracy. K: Kappa Statistic

Πίνακας Παραρτήματος 3. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 1985 στην ΠΕ Λευκάδας.

Κατηγορία	Ξ.Κ.	ΔΑ	ΦΡ.	ΛΙ.	Μ.Κ.	Μ.Π.Ε	Υ.Π.Ε.	Χ.Π.Ε	Α.Β.	Α.Κ.	ΘΑ.	Α.Φ.	Μ.Β.	ΑΜΠ.	Συν.	U.A.
Ξ.Κ.	21	0	0	1	3	0	0	0	0	2	0	1	0	0	28	0,75
ΔΑ	0	40	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	45	0,89
ΦΡ.	0	0	38	1	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0	45	0,84
ΛΙ.	0	0	1	31	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	34	0,91
Μ.Κ.	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	5	29	0,83
Μ.Π.Ε	0	0	0	0	0	30	2	0	0	2	0	0	0	0	34	0,88
Υ.Π.Ε.	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	39	1,00
Χ.Π.Ε	0	0	0	0	0	2	0	19	0	0	0	0	0	0	21	0,90
Α.Β.	0	0	0	1	0	0	0	2	22	0	0	0	0	0	25	0,88
Α.Κ.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	25	0,92
ΘΑ.	0	4	0	0	0	3	0	0	0	0	37	0	4	0	48	0,77
Α.Φ.	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	30	0	0	34	0,88
Μ.Β.	1	0	3	1	0	0	0	3	1	3	3	0	38	1	54	0,70
ΑΜΠ.	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	29	32	0,91
Συν.	2	44	44	35	31	35	44	25	25	30	42	35	44	35	OA	0,85
P.A.	0,88	0,91	0,86	0,89	0,77	0,86	0,89	0,76	0,88	0,77	0,88	0,86	0,86	0,83	K	0,84

**Ξ.Κ.: Ξερικές Καλλιέργειες. ΔΑ: Δάσος. ΦΡ.: Φρύγανα. ΛΙ.: Λιβάδια. Μ.Κ.: Μικτές Καλλιέργειες. Μ.Π.Ε.: Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες. Υ.Π.Ε.: Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Χ.Π.Ε.: Χαμηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Α.Β.: Ανοικτές Εκτάσεις/Βράχια. Α.Κ.: Άλλες Καλλιέργειες. Μ.Κ.: Μόνιμες Καλλιέργειες. ΘΑ.: Θαμνώνες. Α.Φ: Αραιά Φρύγανα. Μ.Β.: Μεταβατική Βλάστηση. ΑΜΠ.: Αμπελώνες. Συν.: Σύνολο Δειγμάτων. P.A.: Producer's Accuracy. U.A.: User's Accuracy. OA.: Overall Accuracy. K: Kappa Statistic

Πίνακας Παραρτήματος 4. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2015 στην ΠΕ Λευκάδας.

Κατηγορία	Ξ.Κ.	ΔΑ	ΦΡ.	ΛΙ.	Μ.Κ.	Μ.Π.Ε	Υ.Π.Ε.	Χ.Π.Ε	Α.Β.	Α.Κ.	ΘΑ.	Α.Φ.	Μ.Β.	ΑΜΠ.	Συν.	U.A.
Ξ.Κ.	21	0	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	1	26	0,81
ΔΑ	0	41	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	45	0,91
ΦΡ.	0	0	38	2	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	44	0,86
ΛΙ.	0	0	1	30	3	0	0	0	0	1	0	1	0	0	36	0,83
Μ.Κ.	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	2	29	0,93
Μ.Π.Ε	1	0	1	0	0	32	3	2	0	0	0	0	0	3	42	0,76
Υ.Π.Ε.	0	0	0	0	0	2	40	0	0	0	0	0	0	0	42	0,95
Χ.Π.Ε	0	0	0	0	2	1	0	21	0	0	0	0	0	1	25	0,84
Α.Β.	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	21	1,00
Α.Κ.	2	0	0	0	1	0	0	0	0	30	0	0	0	0	33	0,91
ΘΑ.	0	3	0	1	0	0	0	0	0	2	38	0	2	3	49	0,78
Α.Φ.	0	0	2	0	0	0	0	0	3	0	0	31	0	0	36	0,86
Μ.Β.	0	0	2	2	0	0	0	0	0	1	2	1	42	2	52	0,81
ΑΜΠ.	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	23	25	0,92
Συν.	25	44	44	35	35	35	44	25	25	35	44	35	44	35	ΟΑ	0,86
P.A.	0,84	0,93	0,86	0,86	0,77	0,91	0,91	0,84	0,84	0,86	0,86	0,89	0,95	0,99	Κ	0,85

**Ξ.Κ.: Ξερικές Καλλιέργειες. ΔΑ: Δάσος. ΦΡ.: Φρύγανα. ΛΙ.: Λιβάδια. Μ.Κ.: Μικτές Καλλιέργειες. Μ.Π.Ε.: Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες. Υ.Π.Ε.: Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Χ.Π.Ε.: Χαμηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Α.Β.: Ανοικτές Εκτάσεις/Βράχια. Α.Κ.: Άλλες Καλλιέργειες. Μ.Κ.: Μόνιμες Καλλιέργειες. ΘΑ.: Θαμνώνες. Α.Φ.: Αραιά Φρύγανα. Μ.Β.: Μεταβατική Βλάστηση. ΑΜΠ.: Αμπελώνες. Συν.: Σύνολο Δειγμάτων. P.A.: Producer's Accuracy. U.A.: User's Accuracy. ΟΑ.: Overall Accuracy. Κ: Kappa Statistic

Πίνακας Παραρτήματος 5. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 1985 στην ΠΕ Κεφαλονιάς.

Κατηγορία	Ξ.Κ.	ΔΑ	ΦΡ.	ΛΙ.	Μ.Κ.	Μ.Π.Ε	Υ.Π.Ε.	Χ.Π.Ε	Α.Β.	Α.Κ.	ΘΑ.	Α.Φ.	Μ.Β.	ΑΜΠ.	Συν.	U.A.
Ξ.Κ.	25	0	0	1	6	0	1	0	0	5	0	0	0	3	41	0,61
ΔΑ	0	56	0	0	0	0	4	0	0	0	5	0	0	0	65	0,86
ΦΡ.	0	0	52	3	0	0	0	1	2	0	0	3	4	0	65	0,80
ΛΙ.	0	0	1	37	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0,95
Μ.Κ.	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	4	38	0,89
Μ.Π.Ε	0	0	0	0	0	36	4	1	0	0	1	0	0	0	42	0,86
Υ.Π.Ε.	0	0	0	0	0	2	49	0	0	0	0	0	0	0	51	0,96
Χ.Π.Ε	1	0	0	0	0	5	0	27	0	2	0	0	2	0	34	0,71
Α.Β.	0	0	2	3	0	0	0	4	26	0	0	4	0	0	39	0,67
Α.Κ.	3	0	0	0	2	0	0	0	0	38	0	0	0	0	43	0,88
ΘΑ.	0	3	00	0	0	2	2	0	0	0	48	0	3	0	58	0,83
Α.Φ.	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	38	0	0	42	0,90
Μ.Β.	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	6	0	51	0	62	0,82
ΑΜΠ.	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	38	41	0,93
Συν.	30	60	60	45	45	45	60	30	30	45	60	45	60	45	OA	0,84
P.A.	0,83	0,93	0,87	0,82	0,76	0,80	0,82	0,80	0,87	0,84	0,80	0,84	0,85	0,84	K	0,82

**Ξ.Κ.: Ξερικές Καλλιέργειες. ΔΑ: Δάσος. ΦΡ.: Φρύγανα. ΛΙ.: Λιβάδια. Μ.Κ.: Μικτές Καλλιέργειες. Μ.Π.Ε.: Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες. Υ.Π.Ε.: Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Χ.Π.Ε.: Χαμηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Α.Β.: Ανοικτές Εκτάσεις/Βράχια. Α.Κ.: Άλλες Καλλιέργειες. Μ.Κ.: Μόνιμες Καλλιέργειες. ΘΑ.: Θαμνώνες. Α.Φ: Αραιά Φρύγανα. Μ.Β.: Μεταβατική Βλάστηση. ΑΜΠ.: Αμπελώνες. Συν.: Σύνολο Δειγμάτων. P.A.: Producer's Accuracy. U.A.: User's Accuracy. OA.: Overall Accuracy. K: Kappa Statistic

Πίνακας Παραρτήματος 6. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2015 στην ΠΕ Κεφαλονιάς.

Κατηγορία	Ξ.Κ.	ΔΑ	ΦΡ.	ΛΙ.	Μ.Κ.	Μ.Π.Ε	Υ.Π.Ε.	Χ.Π.Ε	Α.Β.	Α.Κ.	ΘΑ.	Α.Φ.	Μ.Β.	ΑΜΠ.	Συν.	U.A.
Ξ.Κ.	24	0	0	2	7	0	0	0	0	7	0	0	0	3	43	0,56
ΔΑ	0	55	0	0	0	0	2	0	0	0	05	0	0	0	62	0,89
ΦΡ.	0	0	53	3	0	0	0	1	2	0	0	3	4	0	66	0,80
ΛΙ.	0	0	1	36	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0,92
Μ.Κ.	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	4	36	0,89
Μ.Π.Ε	0	0	0	0	0	37	3	2	0	0	1	0	0	0	43	0,86
Υ.Π.Ε.	0	1	0	0	0	1	54	0	0	0	0	0	0	0	56	0,96
Χ.Π.Ε	0	0	0	0	0	5	0	23	0	2	0	0	2	0	32	0,72
Α.Β.	0	0	2	3	0	0	0	4	26	0	0	3	0	0	38	0,68
Α.Κ.	4	0	0	1	2	0	0	0	0	36	0	0	0	0	43	0,84
ΘΑ.	0	3	0	0	0	2	1	0	0	0	48	0	3	0	57	0,84
Α.Φ.	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	39	0	0	43	0,91
Μ.Β.	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	6	0	51	0	60	0,85
ΑΜΠ.	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	38	42	0,90
Συν.	30	60	60	45	45	45	60	30	30	45	60	45	60	45	ΟΑ	0,84
P.A.	0,80	0,92	0,88	0,80	0,71	0,82	0,90	0,77	0,87	0,80	0,80	0,87	0,85	0,84	K	0,82

**Ξ.Κ.: Ξερικές Καλλιέργειες. ΔΑ: Δάσος. ΦΡ.: Φρύγανα. ΛΙ.: Λιβάδια. Μ.Κ.: Μικτές Καλλιέργειες. Μ.Π.Ε.: Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες. Υ.Π.Ε.: Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Χ.Π.Ε.: Χαμηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Α.Β.: Ανοικτές Εκτάσεις/Βράχια. Α.Κ.: Άλλες Καλλιέργειες. Μ.Κ.: Μόνιμες Καλλιέργειες. ΘΑ.: Θαμνώνες. Α.Φ.: Αραιά Φρύγανα. Μ.Β.: Μεταβατική Βλάστηση. ΑΜΠ.: Αμπελώνες. Συν.: Σύνολο Δειγμάτων. P.A.: Producer's Accuracy. U.A.: User's Accuracy. ΟΑ.: Overall Accuracy. K: Kappa Statistic

Πίνακας Παραρτήματος 7. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 1985 στην ΠΕ Ζακύνθου..

Κατηγορία	Ξ.Κ.	ΔΑ	ΦΡ.	ΛΙ.	Μ.Κ.	Μ.Π.Ε	Υ.Π.Ε.	Χ.Π.Ε	Α.Β.	Α.Κ.	Μ.Κ.	ΘΑ.	Α.Φ.	Μ.Β.	ΑΜΠ.	Συν.	U.A.
Ξ.Κ.	27	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	30	0,90
ΔΑ	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1	0	52	0,88
ΦΡ.	1	0	45	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	52	0,87
ΛΙ.	2	0	1	32	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3	0	41	0,78
Μ.Κ.	2	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	40	0,80
Μ.Π.Ε	1	2	0	0	0	36	3	1	0	0	0	0	0	0	0	43	0,84
Υ.Π.Ε.	0	1	0	0	0	3	46	0	0	0	0	0	0	0	2	52	0,88
Χ.Π.Ε	2	0	0	0	0	1	0	25	2	0	0	0	0	0	0	30	0,83
Α.Β.	0	0	2	1	0	0	0	0	24	0	0	2	2	1	0	32	0,75
Α.Κ.	3	0	0	0	0	0	0	2	0	32	0	1	0	0	2	40	0,80
Μ.Κ.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	7	1,00
ΘΑ.	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	3	0	52	0,85
Α.Φ.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	38	1,00
Μ.Β.	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	45	0	52	0,87
ΑΜΠ.	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	35	40	0,88
Συν.	38	55	50	36	36	41	49	30	28	35	7	55	40	58	43	ΟΑ	0,86
P.A.	0,71	0,84	0,90	0,89	0,89	0,88	0,94	0,83	0,86	0,91	1,00	0,80	0,95	0,78	0,81	Κ	0,84

**Ξ.Κ.: Ξερικές Καλλιέργειες. ΔΑ: Δάσος. ΦΡ.: Φρύγανα. ΛΙ.: Λιβάδια. Μ.Κ.: Μικτές Καλλιέργειες. Μ.Π.Ε.: Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες. Υ.Π.Ε.: Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Χ.Π.Ε.: Χαμηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Α.Β.: Ανοικτές Εκτάσεις/Βράχια. Α.Κ.: Άλλες Καλλιέργειες. Μ.Κ.: Μόνιμες Καλλιέργειες. ΘΑ.: Θαμνώνες. Α.Φ: Αραιά Φρύγανα. Μ.Β.: Μεταβατική Βλάστηση. ΑΜΠ.: Αμπελώνες. Συν.: Σύνολο Δειγμάτων. P.A.: Producer's Accuracy. U.A.: User's Accuracy. ΟΑ.: Overall Accuracy. Κ: Kappa Statistic

Πίνακας Παραρτήματος 8. Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2015 στην ΠΕ Ζακύνθου.

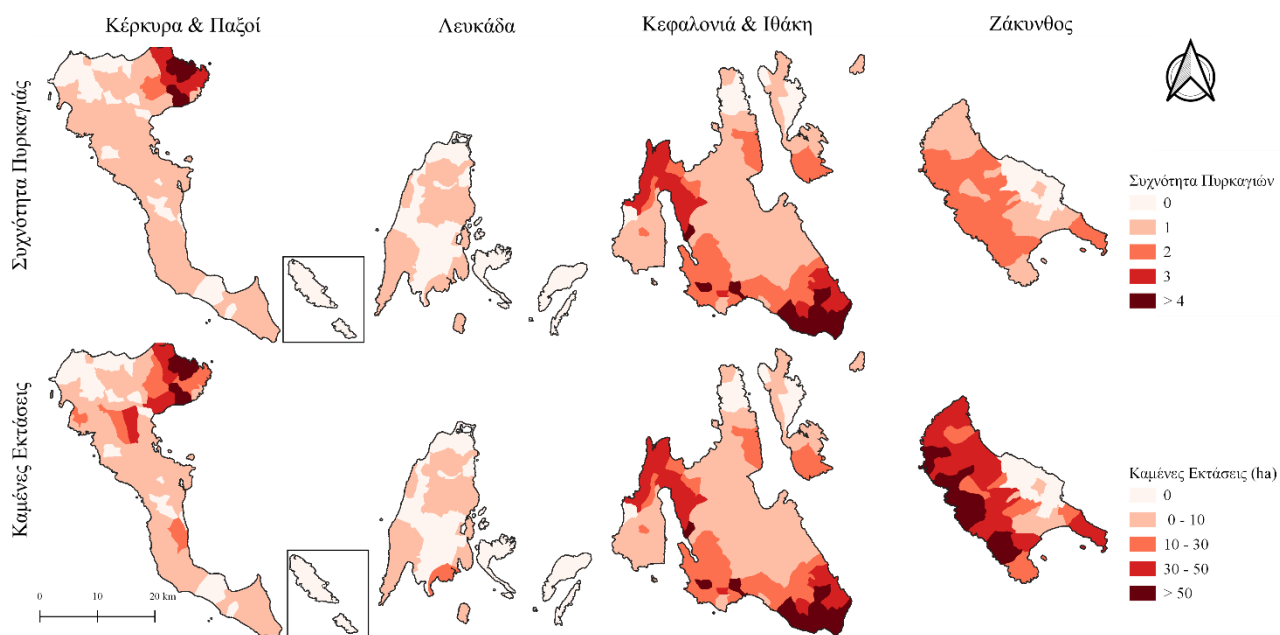
Κατηγορία	Ξ.Κ.	ΔΑ	ΦΡ.	ΛΙ.	Μ.Κ.	Μ.Π.Ε	Υ.Π.Ε.	Χ.Π.Ε	Α.Β.	Α.Κ.	Μ.Κ.	ΘΑ.	Α.Φ.	Μ.Β.	ΑΜΠ.	Συν.	U.A.
Ξ.Κ.	23	1	0	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	30	0,77
ΔΑ	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	52	0,92
ΦΡ.	0	2	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	52	0,87
ΛΙ.	1	0	3	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	40	0,88
Μ.Κ.	0	0	0	5	31	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	39	0,79
Μ.Π.Ε	0	1	0	0	1	35	0	3	0	0	0	0	0	0	0	40	0,88
Υ.Π.Ε.	0	0	0	0	0	8	44	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0,85
Χ.Π.Ε	0	0	0	1	1	0	0	24	0	0	0	0	0	1	0	27	0,89
Α.Β.	0	0	3	0	0	0	0	0	26	0	0	0	3	0	0	32	0,81
Α.Κ.	2	1	0	1	2	1	0	0	0	33	0	0	0	0	0	40	0,83
Μ.Κ.	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	7	0,14
ΘΑ.	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	52	0,81
Α.Φ.	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	35	1	0	40	0,88
Μ.Β.	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	45	0	51	0,88
ΑΜΠ.	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	36	40	0,90
Συν.	26	66	54	45	39	51	44	27	27	35	1	49	40	51	39	ΟΑ	0,85
P.A.	0,88	0,73	0,83	0,78	0,79	0,69	1	0,89	0,96	0,94	1	0,86	0,86	0,88	0,92	Κ	0,83

**Ξ.Κ.: Ξερικές Καλλιέργειες. ΔΑ: Δάσος. ΦΡ.: Φρύγανα. ΛΙ.: Λιβάδια. Μ.Κ.: Μικτές Καλλιέργειες. Μ.Π.Ε.: Μέσης Πυκνότητας Ελαιώνες. Υ.Π.Ε.: Υψηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Χ.Π.Ε.: Χαμηλής Πυκνότητας Ελαιώνες. Α.Β.: Ανοικτές Εκτάσεις/Βράχια. Α.Κ.: Άλλες Καλλιέργειες. Μ.Κ.: Μόνιμες Καλλιέργειες. ΘΑ.: Θαμνώνες. Α.Φ: Αραιά Φρύγανα. Μ.Β.: Μεταβατική Βλάστηση. ΑΜΠ.: Αμπελώνες. Συν.: Σύνολο Δειγμάτων. P.A.: Producer's Accuracy. U.A.: User's Accuracy. ΟΑ.: Overall Accuracy. Κ: Kappa Statistic

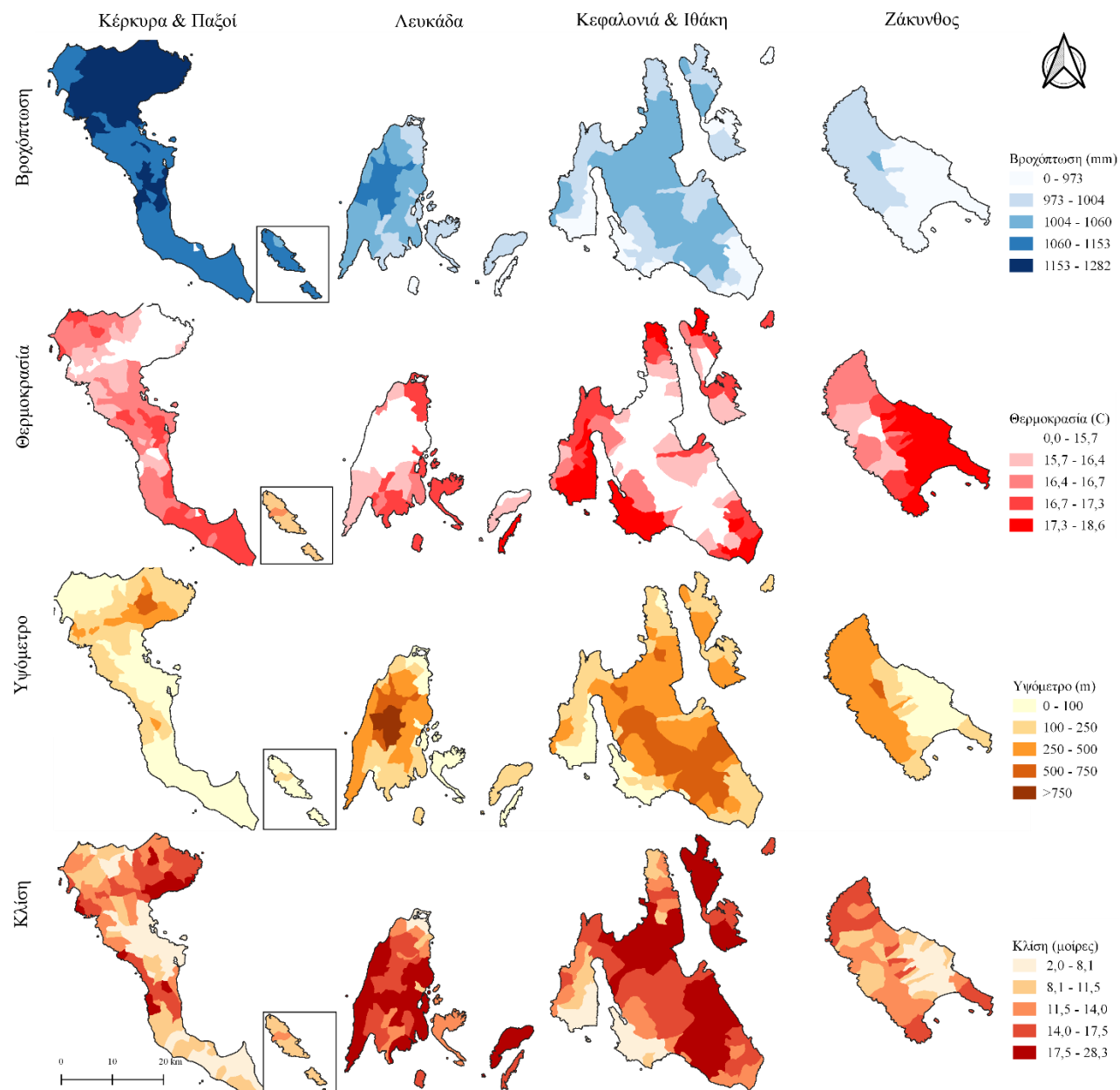
Πίνακας Παραρτήματος 9. Περιγραφικά στατιστικά ερμηνευτικών παραγόντων

Μεταβλητή		Min	Max	Mean	StDev	Sum
Βροχόπτωση		926	1281	1045	143	-
Θερμοκρασία		12.2	18.6	16.3	2.1	-
Υψόμετρο		6.5	849.8	193.2	166.1	-
Κλίσεις		2	28.3	13.1	5.2	-
Οδικό Δίκτυο		0.6	250	36	33	-
Συχνότητα Πυρκαγιάς		0	13	1	0.5	-
Καμένες Εκτάσεις		0	97	12	19	-
Πληθυσμός	1991	26	35560	692	2336	193734
	2011	15	32095	766	2232	207855
Εργαζόμενοι	1991	8	12170	252	803	68218
	2011	10	10319	299	780	80691
Κτηνοτροφία	1991	0	18617	2829	2857	764043
	2011	0	38566	2444	3243	606025
Ξενοδοχεία	1991	0	113	5	13	1175
	2011	0	292	17	36	4632

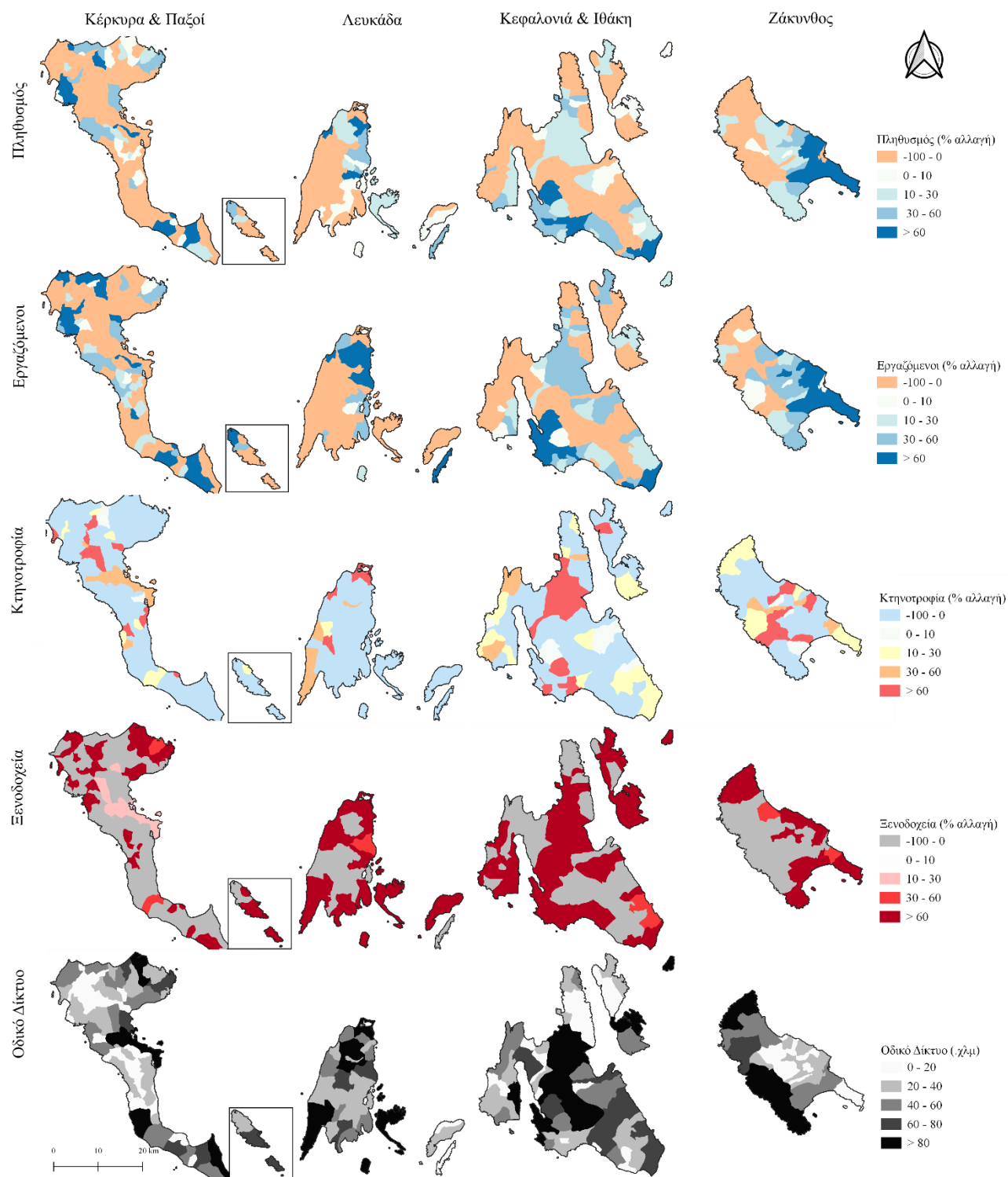
*Μέση τιμή σε επίπεδο Δημοτικού Διαμερίσματος/Τοπικής Κοινότητας



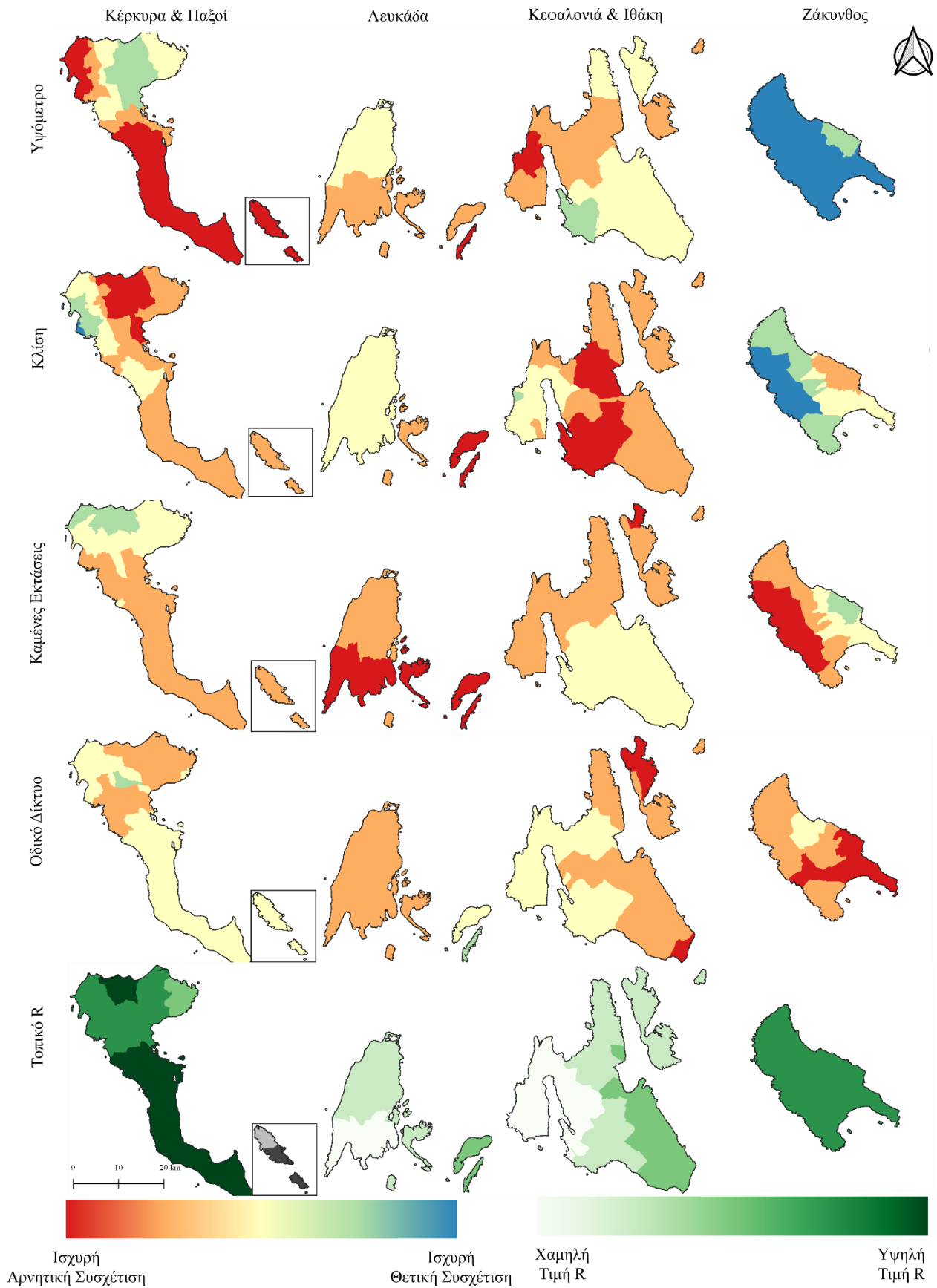
Εικόνα Παραρτήματος 1. Μεταβλητές Φυσικών Καταστροφών (Κεφάλαιο 4).



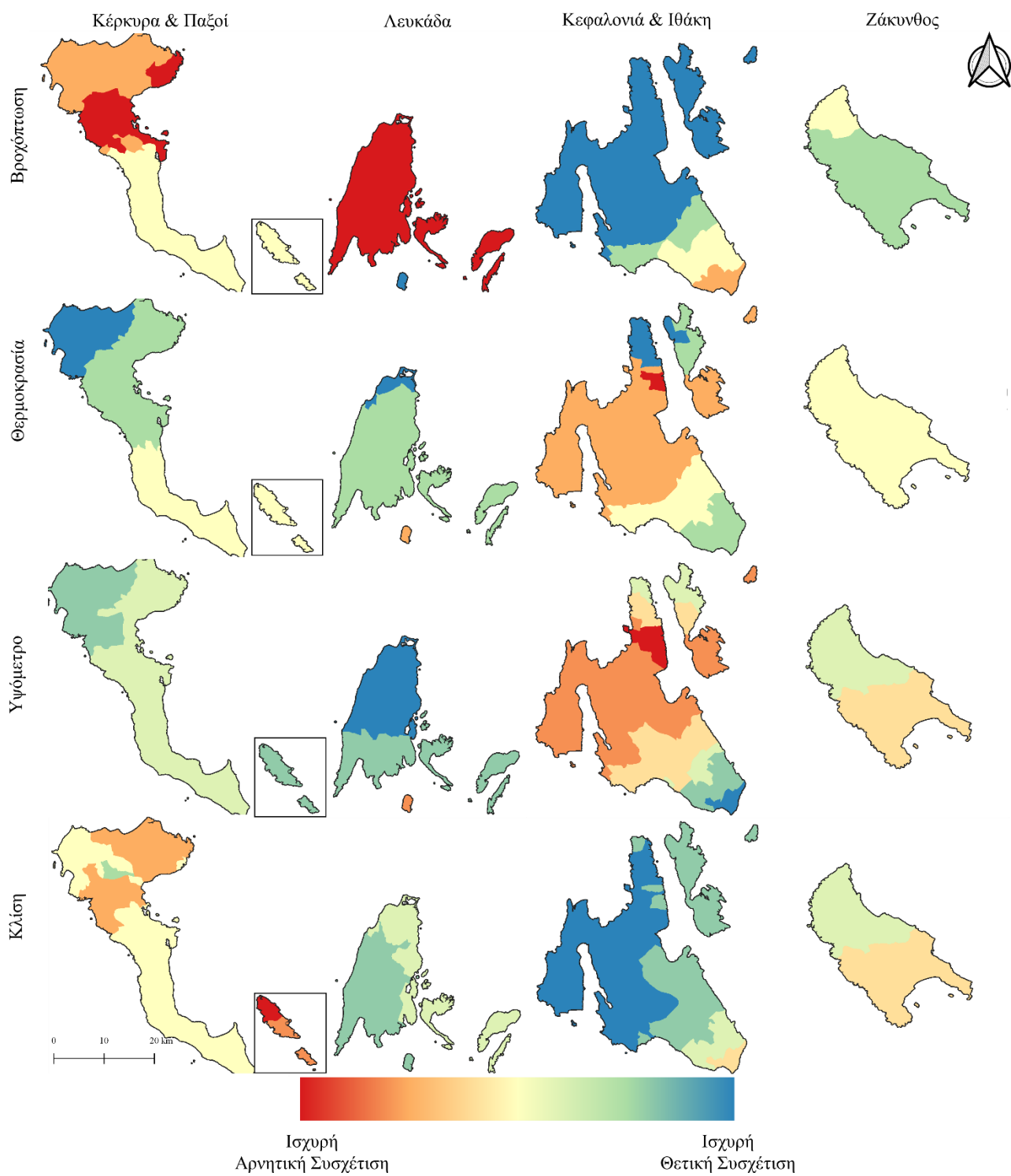
Εικόνα Παραρτήματος 2. Περιβαλλοντικές Μεταβλητές (Κεφάλαιο 4).



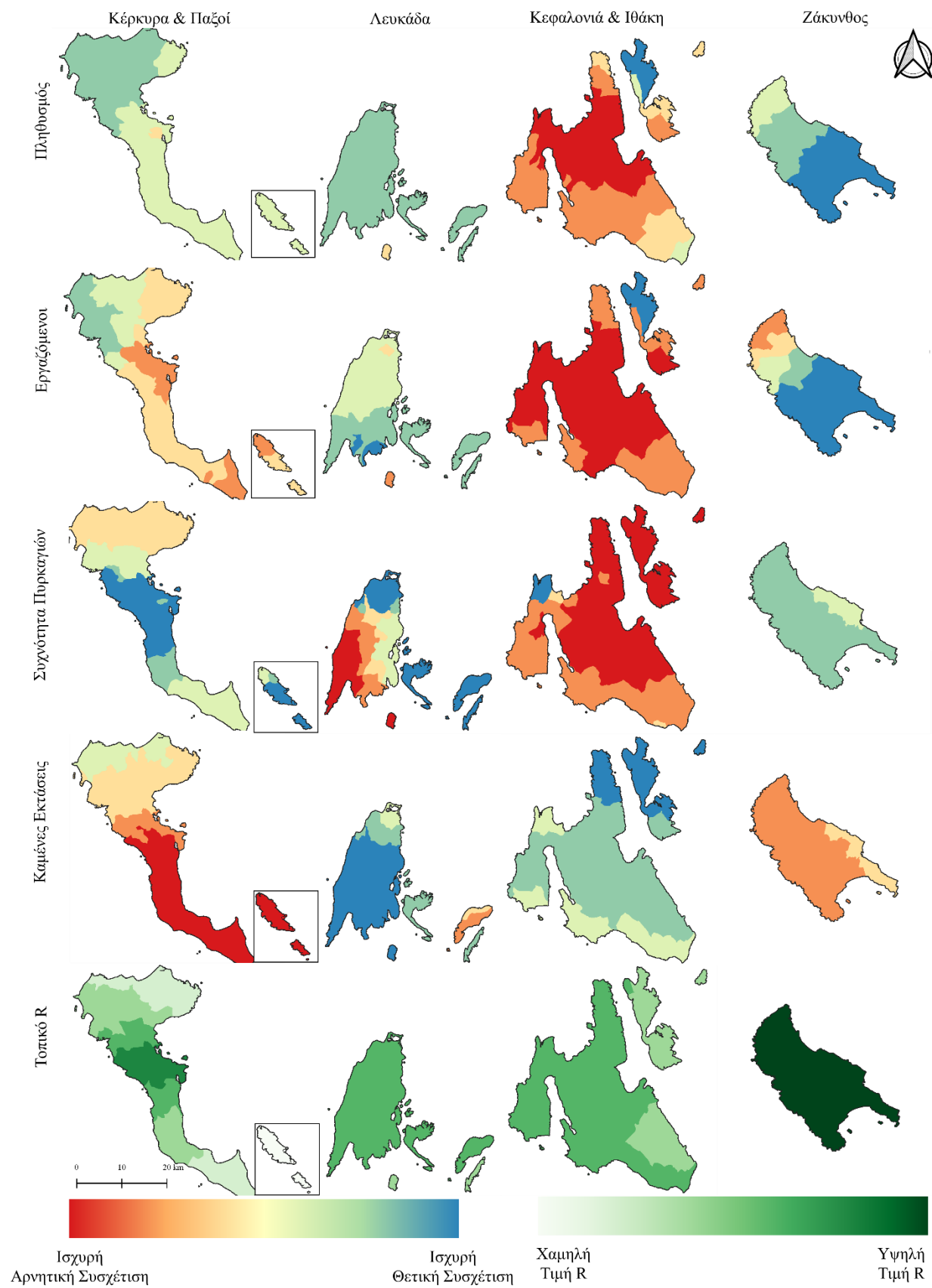
Εικόνα Παραρτήματος 3. Κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές (Κεφάλαιο 4).



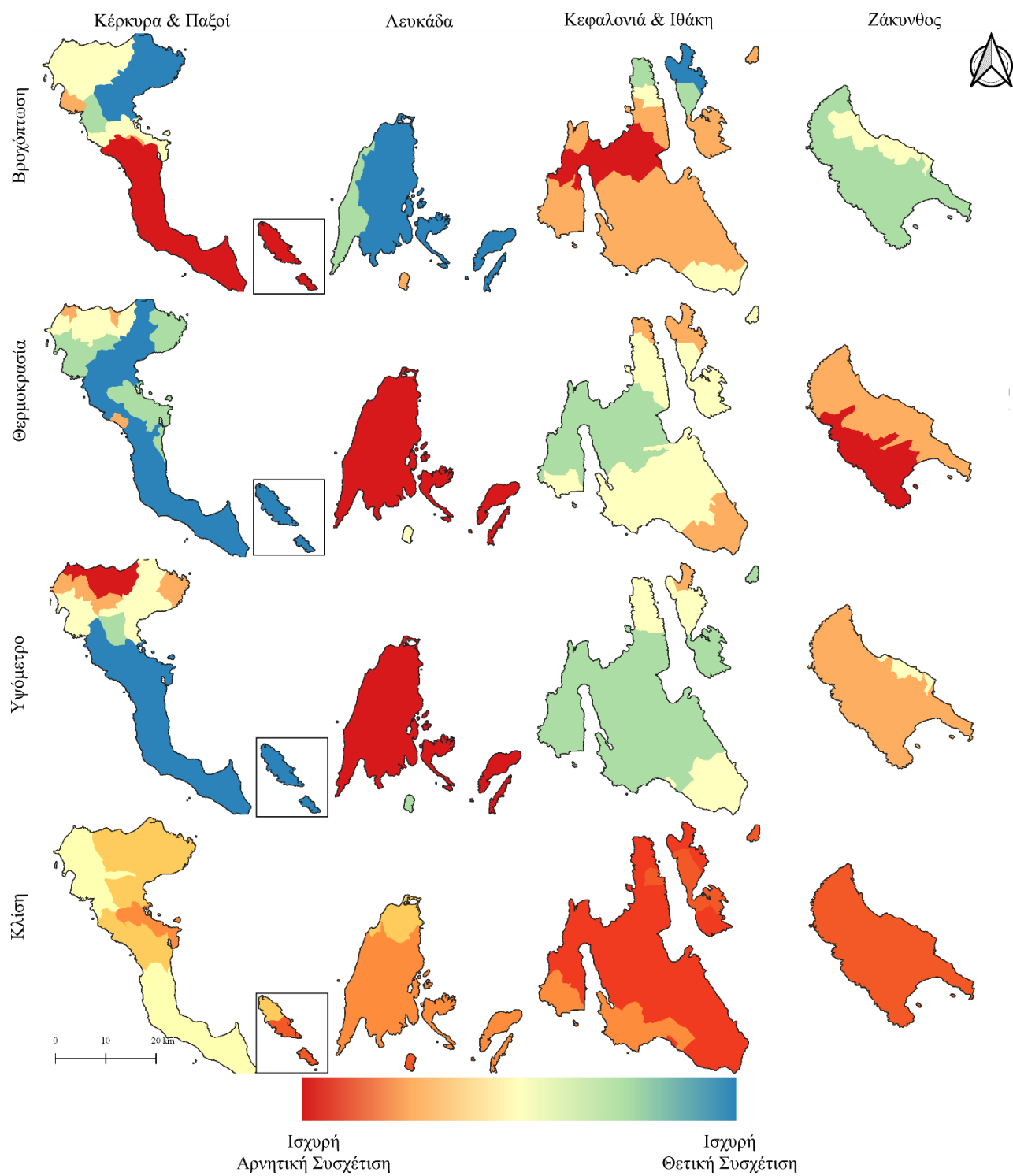
Εικόνα Παραρτήματος 4. Αποτέλεσμα μοντέλου GWR για τη φυσικής αναγέννηση.



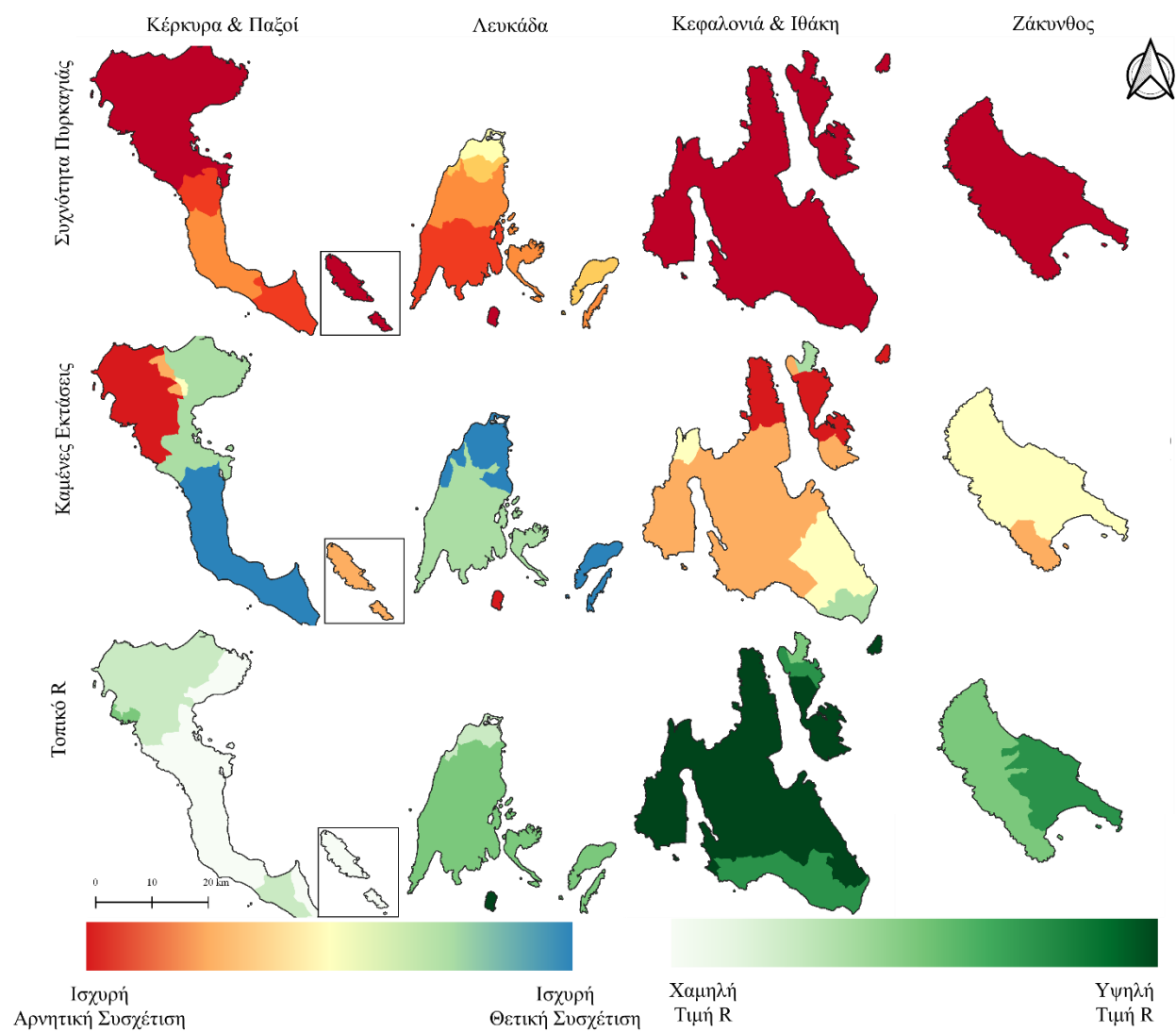
Εικόνα Παραρτήματος 5. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την υποβάθμιση (1/2).



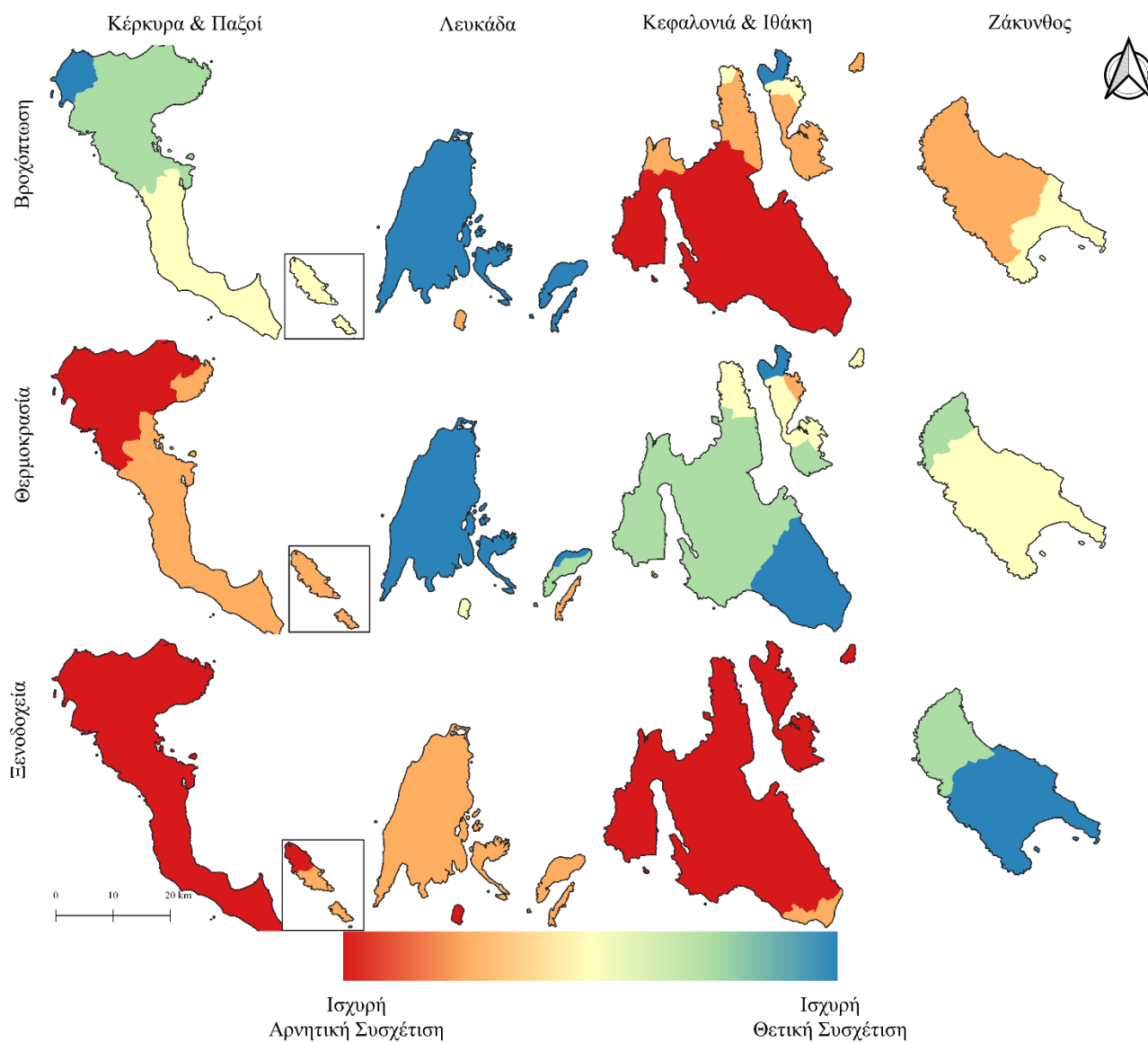
Εικόνα Παραρτήματος 6. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την υποβάθμιση (2/2).



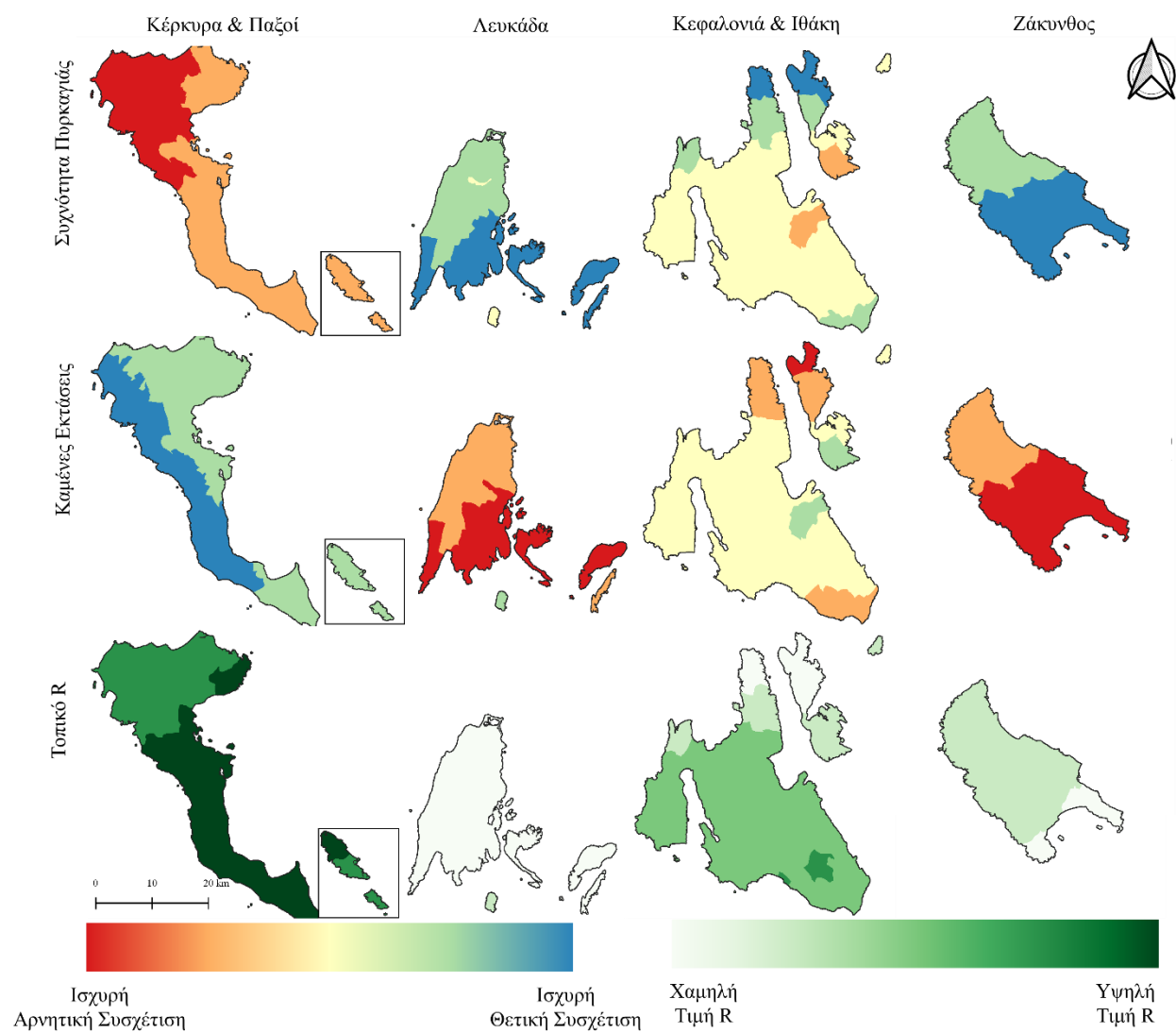
Εικόνα Παραρτήματος 7. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την εντατικοποίηση (1/2).



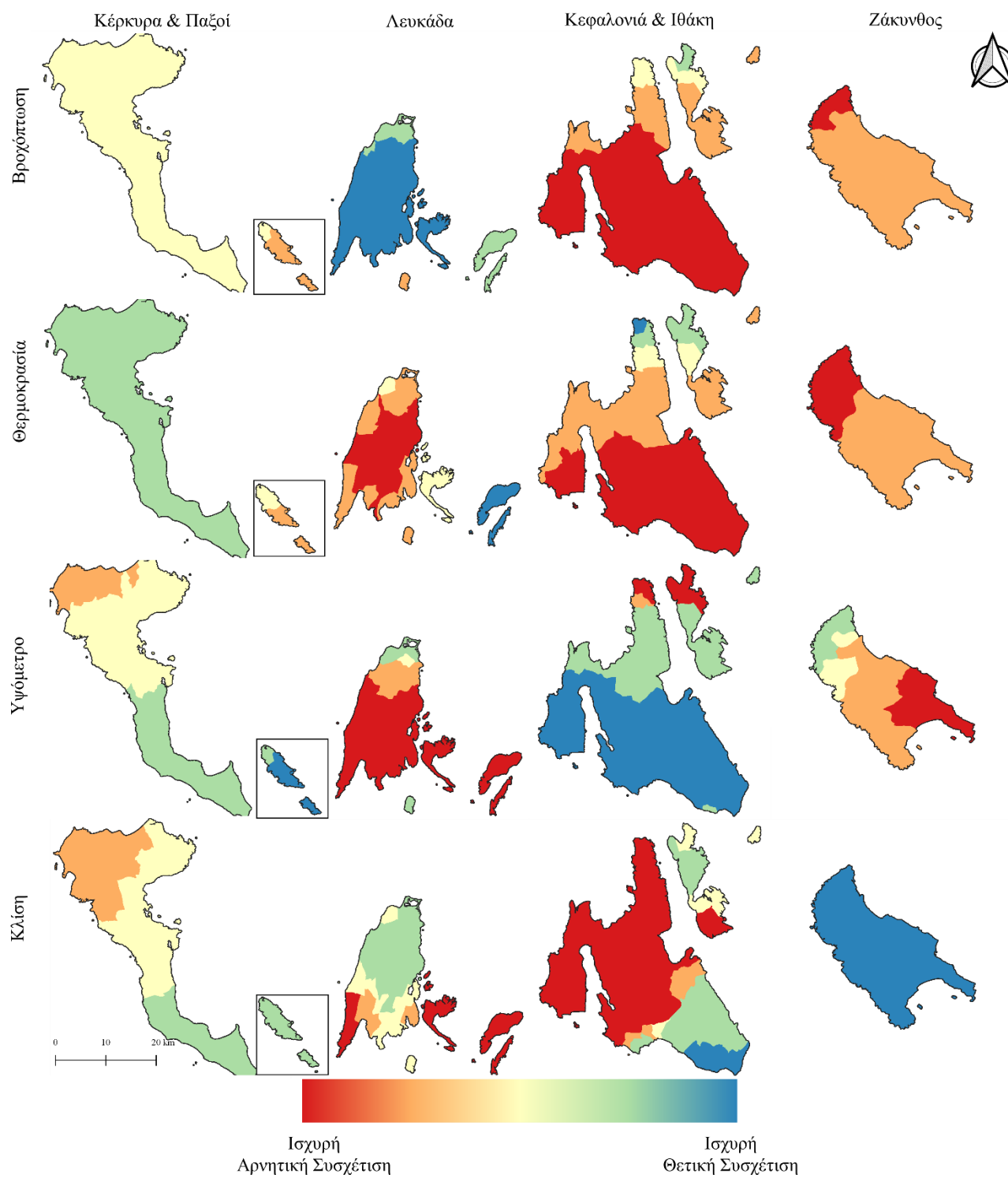
Εικόνα Παραρτήματος 8. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την εντατικοποίηση (2/2).



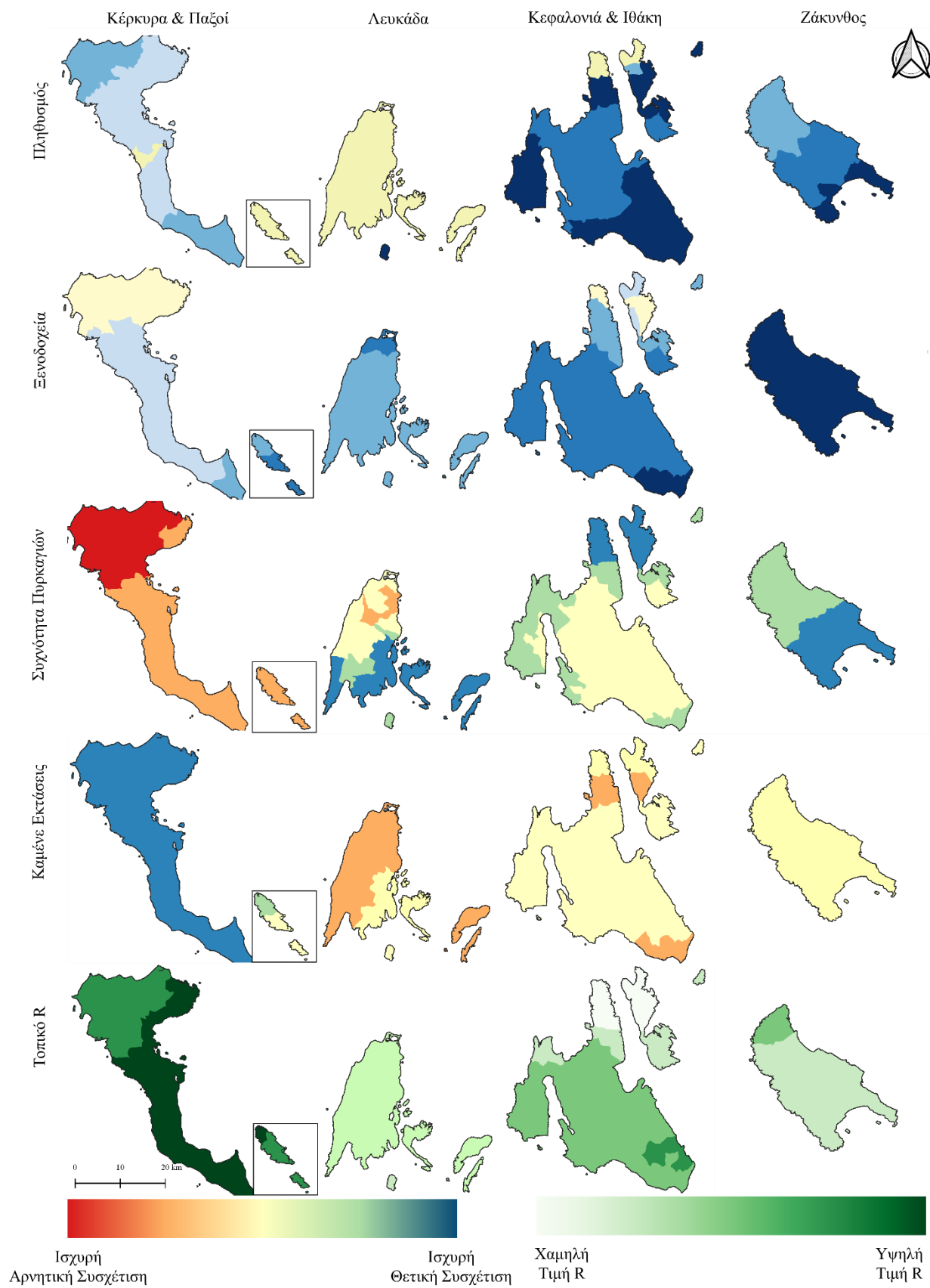
Εικόνα Παραρτήματος 9. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την εγκατάλειψη (1/2).



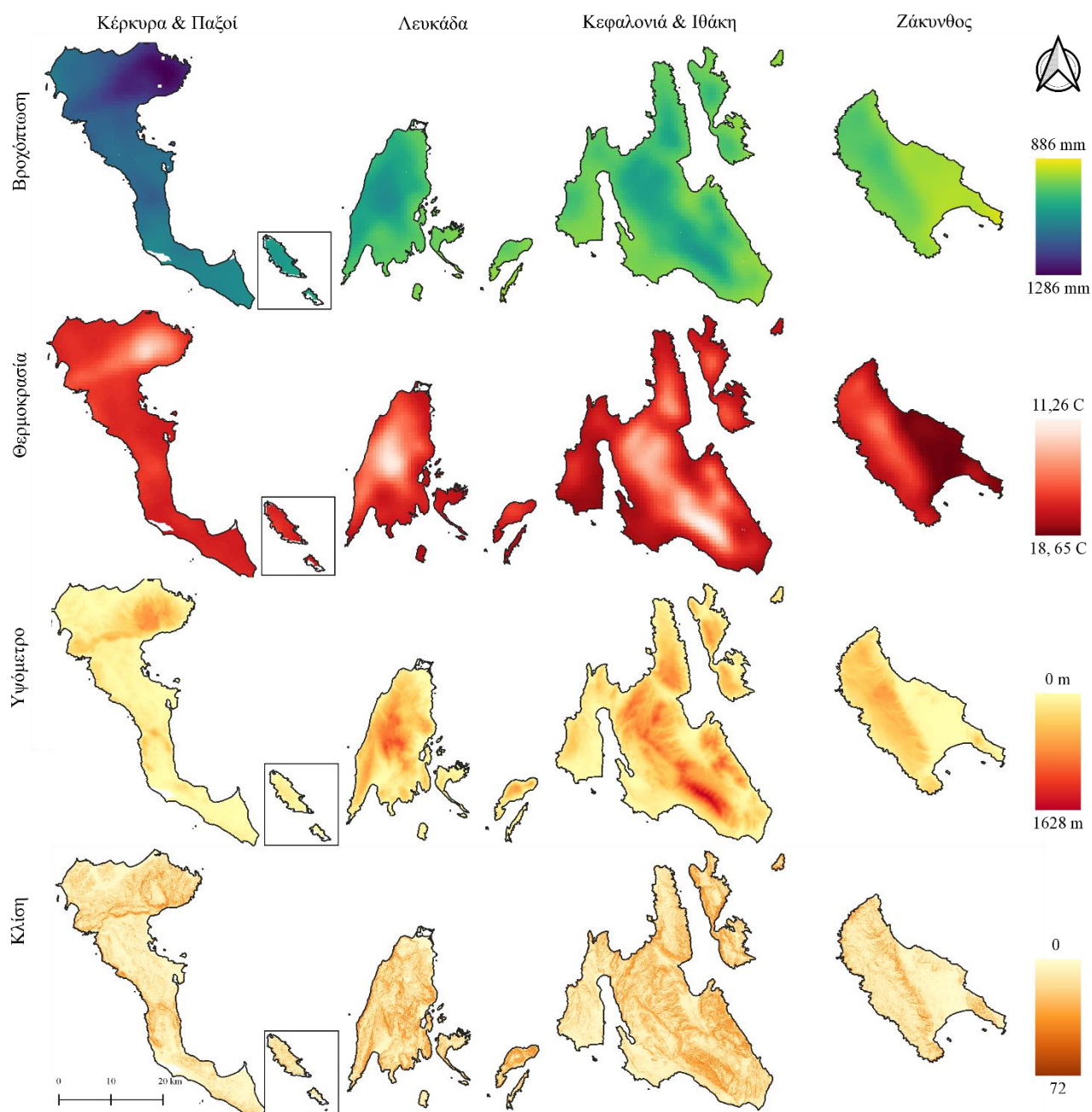
Εικόνα Παραρτήματος 10. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την εγκατάλειψη (2/2).



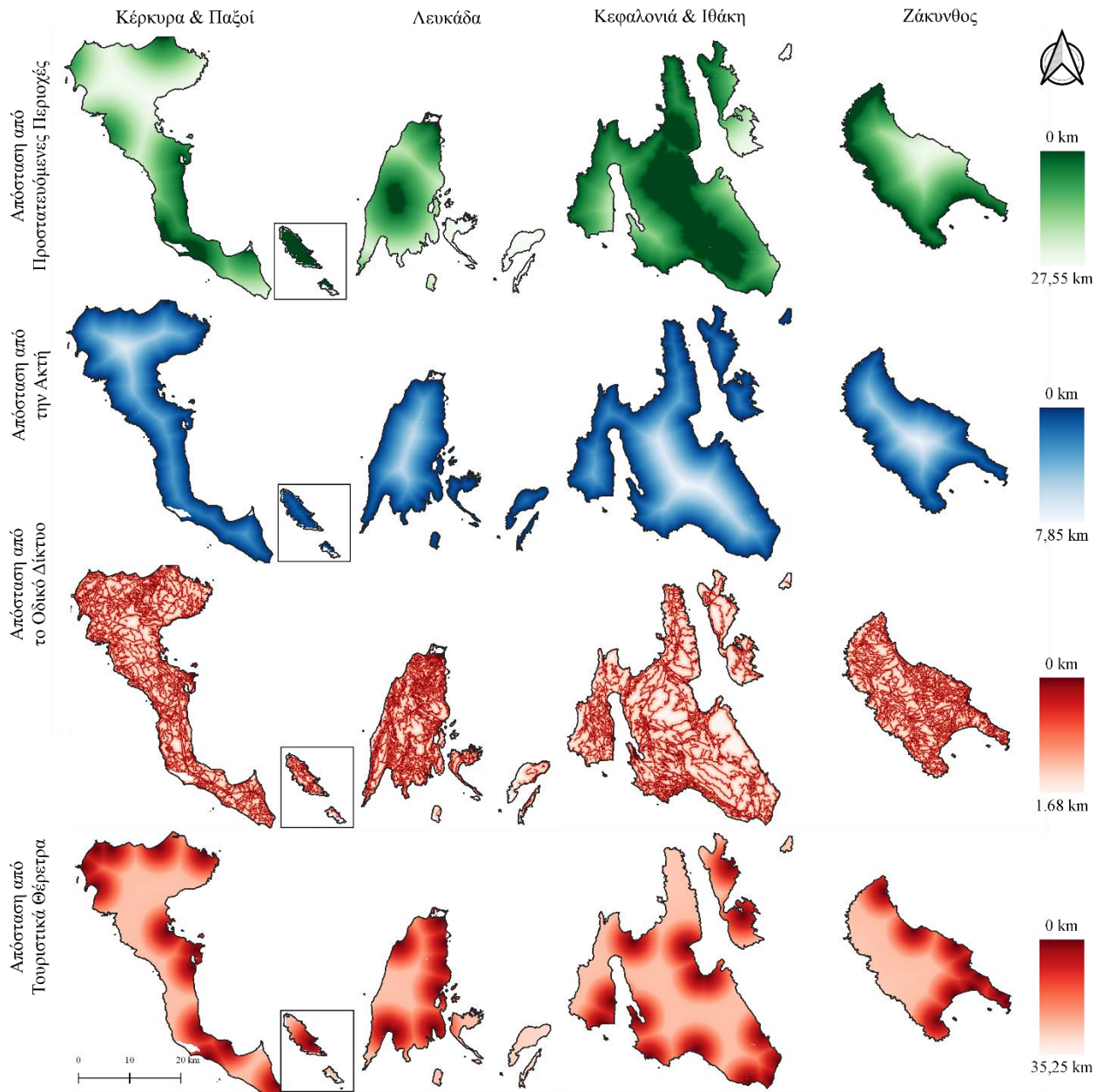
Εικόνα Παραρτήματος 11. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την αστικοποίηση (1/2).



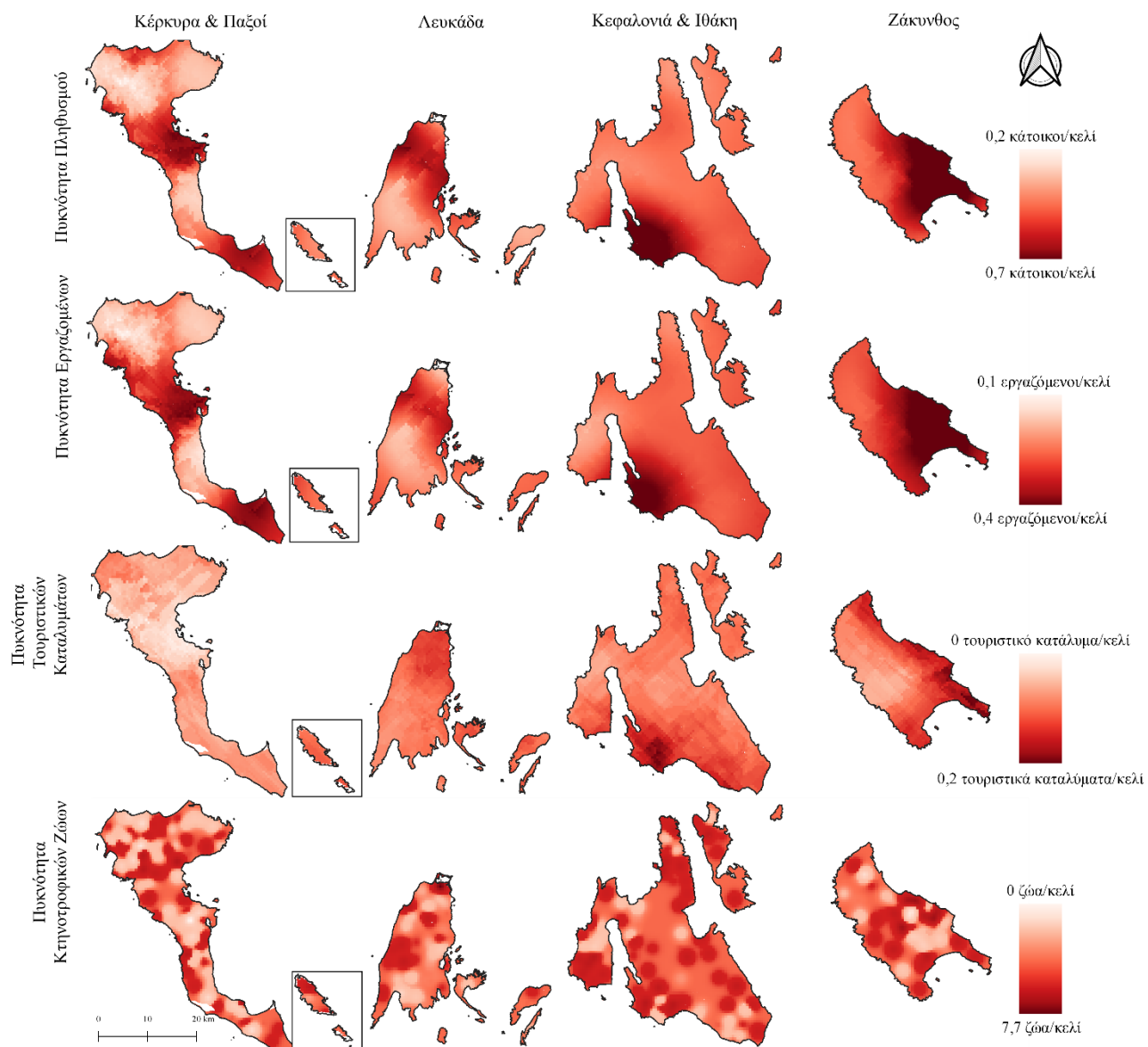
Εικόνα Παραρτήματος 12. Αποτελέσματα μοντέλου GWR για την αστικοποίηση (2/2).



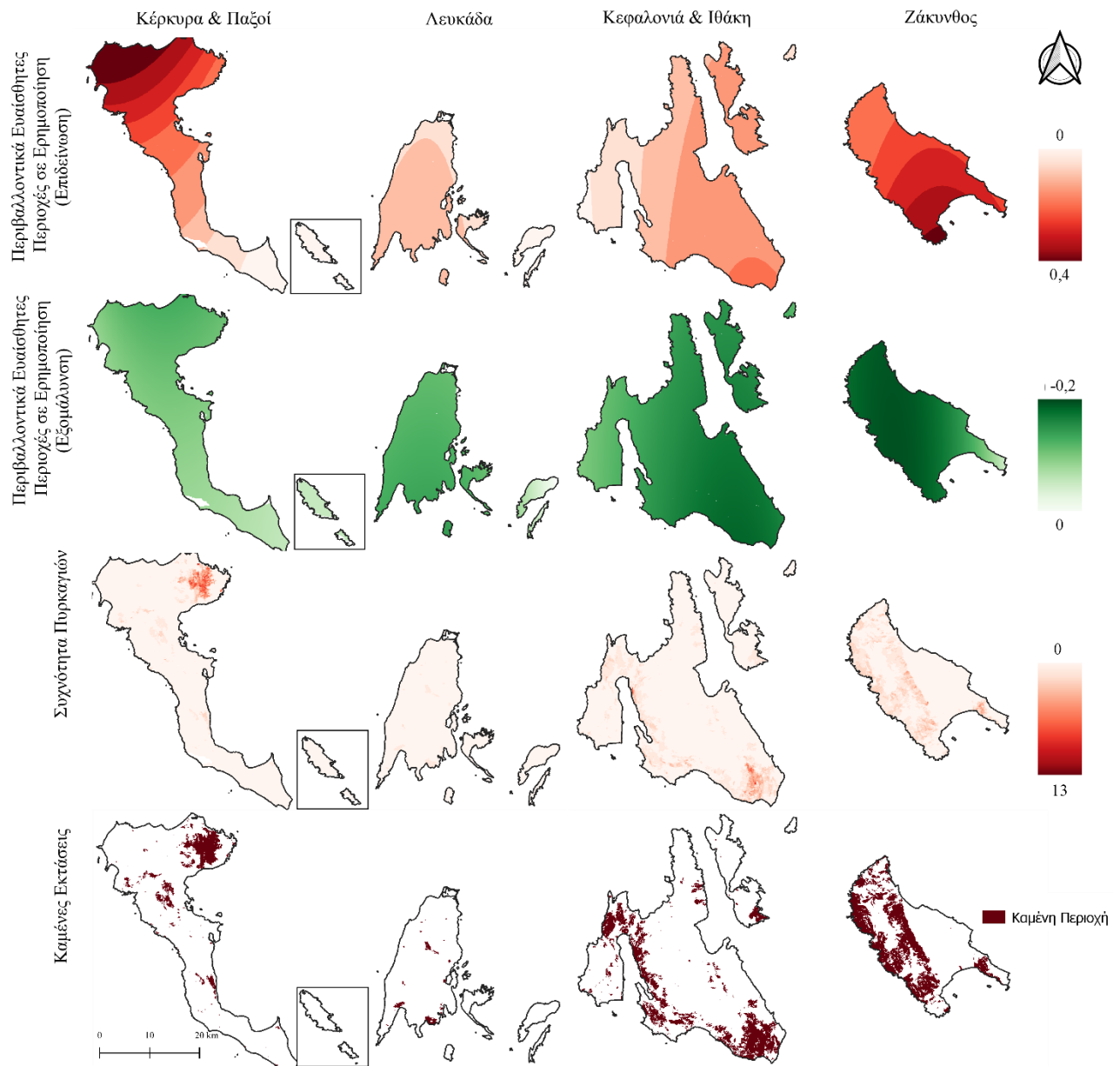
Εικόνα Παραρτήματος 13. Περιβαλλοντικές Μεταβλητές (Κεφάλαιο 5).



Εικόνα Παραρτήματος 14. Μεταβλητές Απόστασης (Κεφάλαιο 5).



Εικόνα Παραρτήματος 15. Κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές (Κεφάλαιο 5).



Εικόνα Παραρτήματος 16. Μεταβλητές φυσικών καταστροφών (Κεφάλαιο 5).

"You can't always get what you want

But if you try sometime you find

You get what you need"

You can't always get what you want - Rolling Stones, 1969