



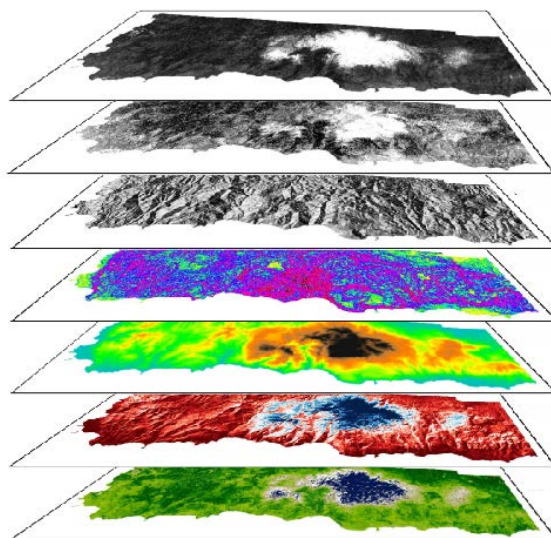
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία:

**ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ
LANDSAT ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΩΝ**



Λαμπράκη Σταματίνα

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017

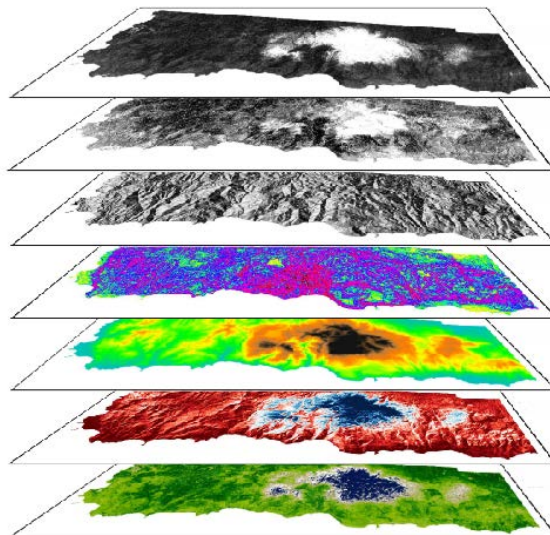


NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
Remote Sensing Laboratory

INTERDISCIPLINARY PROGRAMME OF POSTGRADUATE STUDIES
"ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT"

Master Thesis:

CLASSIFYING MULTI-DATE LANDSAT DATA FOR LAND COVER MAPPING



Lampraki Stamatina

Athens, February 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία:

**ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ
LANDSAT ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΩΝ**

Λαμπράκη Σταματίνα
Αθήνα, Φεβρουάριος 2017

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Κ. Καράντζαλος

Δ. Αργιαλάς

Ε. Δημοπούλου

.....

.....

.....

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Επιβλέπων

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

RSLab

Remote Sensing Laboratory
National Technical University of Athens



Λαμπράκη Σταματίνα

Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © All rights reserved. Σταματίνα Λαμπράκη, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΔΠΜΣ) με τίτλο «Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών» της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και ανατέθηκε από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης.

Η επιλογή του αντικειμένου επηρεάστηκε σημαντικά από τη θεματολογία του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού, η οποία για εμένα συνοψίστηκε στην ιδανική ισορροπία ανάμεσα στο περιβάλλον και την ανάπτυξη. Βάση για την επίτευξη της ισορροπίας αυτής αποτελεί η εμπειριστατωμένη γνώση της περιοχής που εξετάζεται. Συνήθως, αναπτυξιακές προτάσεις και μελέτες εστιάζουν στην «υπάρχουσα κατάσταση», παραβλέποντας τις διαδικασίες και τους μηχανισμούς οι οποίες οδήγησαν σε αυτήν και στις περιπτώσεις που εξετάζεται η διαχρονική πορεία, υπάρχει η τάση να συνοψίζεται σε στατιστικά στοιχεία, η χωρική κλίμακα των οποίων δεν είναι πάντα επαρκής.

Πέραν των στατιστικών στοιχείων, συνεχή διαχρονικά δεδομένα είναι σπάνια διαθέσιμα και σε περιπτώσεις όπου αυτά υπάρχουν, εντοπίζονται συχνά σε αναλογική μορφή. Ο βαθμός αξιοπιστίας και η έλλειψη ομοιογένειας τους, παράγοντες οι οποίοι επηρεάζονται από το σκοπό για τον οποίο συγκεντρώθηκαν, καθιστούν την επεξεργασία τους δυσανάλογα περίπλοκη και χρονοβόρα σε σχέση με την πληροφορία που θα αποκομιστεί από αυτά.

Με τη συγκεκριμένη εργασία επιχειρείται η καταγραφή της διαχρονικής εξέλιξης τμήματος του νομού Χανίων με χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα αποτελούν αδιάλειπτη και ομοιογενή πηγή πληροφοριών για την εξέλιξη της επιφάνειας της γης. Η περιπλοκότητα και το απαραίτητο επιστημονικό υπόβαθρο για την εξαγωγή πληροφοριών από αυτά, τα καθιστούν δύσχρηστα. Εδώ εντοπίζεται και η ανάγκη διεπιστημονικότητας σε οποιαδήποτε μελέτη με αναπτυξιακό χαρακτήρα.

Στη συγκεκριμένη εργασία η κύρια πρωτοτυπία έγκειται στο αναπτυγμένο μεθοδολογικό πλαίσιο για την ταξινόμηση κάλυψης γης σε διαφορετικές περιόδους, με χρήση πολλαπλών δορυφορικών εικόνων ανά περίοδο μελέτης. Βασικό στόχο αποτέλεσε η αξιοποίηση των εποχικών χαρακτηριστικών στις κατηγορίες κάλυψης γης για τον ακριβέστερο διαχωρισμό τους. Τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη διαχρονική εξέλιξη των καλύψεων της επιφάνειας της γης για συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της συγκεκριμένης εργασίας κύριο Κώστα Καραντζαλο για την καθοδήγηση και τη βοήθεια που μου προσέφερε, τη Χριστίνα Καρακίζη για το χρόνο που αφιέρωσε στην επιμέλεια του συγκεκριμένου τεύχους και φυσικά την οικογένεια μου, στην οποία συμπεριλαμβάνω και τους φίλους μου, για τη στήριξη και την ανοχή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα δορυφορικά δεδομένα αποτελούν ισχυρό εργαλείο για την παρακολούθηση των μεταβολών στην κάλυψη/χρήση γης για ποικίλες περιβαλλοντικές και κλιματικές μελέτες και εφαρμογές. Μερικές από τα βασικές προκλήσεις σήμερα κατά την χαρτογράφηση χρήσεων γης αφορούν την αντιμετώπιση προβλημάτων κατά την ταξινόμηση κυρίως μεταξύ φασματικά όμοιων κατηγοριών όπως καλλιέργειες, δάση, βοσκοτόπια, κοκ. Προς την κατεύθυνση αυτή αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση εισαγωγής χρονικών χαρακτηριστικών, μέσα από τη χρήση πολλαπλών εικόνων ανά έτος, κατά την ταξινόμηση. Η ταυτόχρονη ταξινόμηση εικόνων, οι οποίες έχουν ληφθεί σε διαφορετικές, αλλά καίριες για τα φαινολογικά χαρακτηριστικά των κατηγοριών, ημερομηνίες ανά έτος, μπορεί να αξιοποιήσει κατάλληλα τα χαρακτηριστικά αυτά των κατηγοριών κάλυψης γης για τον καλύτερο διαχωρισμό τους. Επίσης, η προσθήκη επιπλέον βοηθητικών επιπέδων (DEM, NDVI κλπ) ενισχύει ακόμα περισσότερο τη διαχωριστικότητα των κατηγοριών.

Συγκεκριμένα, βασική επιδίωξη της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η αποτελεσματική ταξινόμηση των κατηγοριών κάλυψης γης για διαφορετικές χρονικά περιόδους μελέτης. Δορυφορικές εικόνες και βοηθητικά δεδομένα μεθοδικά επιλεγμένα, τροφοδοτούν τον ταξινομητή με τον κατάλληλο όγκο αξιοποιήσιμων πληροφοριών (πολλαπλές εικόνες ανά έτος και πολλαπλά βοηθητικά επίπεδα) επιχειρώντας την επίτευξη του παραπάνω στόχου. Τα υψηλής ακρίβειας αποτελέσματα της ταξινόμησης για διαφορετικές περιόδους χρησιμοποιούνται για τη διαχρονική παρακολούθηση της περιοχής μελέτης και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με τις αλλαγές στις κατηγορίες κάλυψης γης. Τέλος, επιχειρείται η διερεύνηση της αλληλεξάρτησης ανθρωπογενούς δραστηριότητας με καλύψεις που αφορούν το φυσικό τοπίο και η σύγκριση των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων με τους χάρτες του Corine Land Cover κοντικών περιόδων.

Μέθοδοι και τεχνικές από τη διεθνή βιβλιογραφία συνδυάστηκαν και κατά περίπτωση προσαρμόστηκαν στις ανάγκες της αναπτυγμένης μεθοδολογίας, από το στάδιο της επιλογής και προεπεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων, έως το τελικό στάδιο της σύγκρισης των ταξινομήσεων. Η πολυπλοκότητα και το πλήθος των απαραίτητων επεξεργασιών επέβαλλε τη συστηματική παρακολούθηση και αξιολόγηση των, ανά στάδιο, αποτελεσμάτων, έχοντας ως τελικό στόχο τα βέλτιστα ποιοτικά αποτελέσματα.

ABSTRACT

Satellite data are a powerful tool for monitoring land-cover/land-use changes for a variety of environmental and climate studies and applications. Some of the main challenges in the land-use mapping concern the classification of spectrally similar classes such as crops, forests and pastures. In this direction, object of this study was to investigate the impact of importing the temporal characteristics of the classes, through multi-date images, in the classification procedure. The classification of images which are acquired on different but crucial dates, utilize the temporal characteristics of each land cover class, for their better distinction. The utilization of ancillary data (DEM, DNVI etc) enhances additionally the distinction of the classes.

The main objective of this thesis was to effectively classify images of the same area, but from different time periods. Satellite images and ancillary data, methodically selected, provided the classifier with the appropriate volume of information (multiple images and multiple ancillary data) to achieve this objective. The results of the classifications are used for multi-temporally monitoring the study area and the land-cover changes. Finally, the relationship between human activities and natural landscape is investigated and the classification results are compared with the maps of Corine Land Cover.

Methods and techniques from international studies are combined and modified, where appropriate to the needs of the developed methodology, from the stage of selecting and pre-processing the satellite images, to the final step of comparing the classifications. The complexity and the number of the necessary processing in each stage required the systematic monitoring and evaluation of the intermediate results, aiming to the best final accuracy.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	iv
Πίνακας Περιεχομένων	v
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Κίνητρο	1
1.2. Αντικείμενο.....	1
1.3. Σχετικές Εργασίες στη Βιβλιογραφία	1
1.3.1. Ραδιομετρική διόρθωση	2
1.3.2. Επαύξηση χωρικής ανάλυσης	3
1.4. Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση με Πολλαπλές Δορυφορικές Εικόνες	4
1.5. Μέθοδοι Ανίχνευσης Μεταβολών	5
1.6. Διάρθρωση Εργασίας	6
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	7
2.1. Επιλογή Περιοχής Μελέτης.....	7
2.2. Γενικά Χαρακτηριστικά Νομού Χανίων	7
2.2.1. Διοικητική διαίρεση και πληθυσμιακά στοιχεία.....	8
2.2.2. Οικονομικά στοιχεία	9
2.2.3. Ανάγλυφο και ορεινότητα περιοχής μελέτης	9
2.2.4. Περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος περιοχής μελέτης.....	12
3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	15
3.1. Πλατφόρμες Λήψης και Χρονικό Εύρος Τηλεπισκοπικών Δεδομένων.....	15
3.2. Ωφέλιμα Δεδομένα	16
3.2.1. Αρχικός διαχωρισμός δεδομένων	16
3.2.2. Έλεγχος νεφοκάλυψης	16
3.2.3. Εύρεση ξηρής και υγρής περιόδου για την περιοχή μελέτης.....	19
3.2.4. Τελική επιλογή εικόνων ανά περίοδο μελέτης και εικόνων προς ταξινόμηση 20	
4. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ	23
4.1. Ατμοσφαιρική Διόρθωση	23
4.2. Σχετική Ραδιομετρική Κανονικοποίηση (Relative Radiometric Normalization)	26
4.2.1. Αξιολόγηση μεθόδων σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης.....	26
4.2.2. Μέθοδος σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης που εφαρμόστηκε	27

4.2.3.	Έλεγχος αποτελέσματος σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης	29
4.3.	Βελτίωση Χωρικής Ανάλυσης Πολυφασματικών Δεδομένων	30
4.3.1.	Παγχρωματική όξυνση εικόνων – Pansharpening	30
4.3.2.	Έλεγχος αποτελέσματος παγχρωματικής όξυνσης	33
4.3.3.	Βελτίωση χωρικής ανάλυσης για τις εικόνες Landsat 4 και 5	34
5.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΩΝ	35
5.1.	Κατηγορίες Κάλυψης Γης	35
5.2.	Επιλογή Περιοχών Εκπαίδευσης	36
5.2.1.	Επιλογή περιοχών εκπαίδευσης για την περίοδο 2015-2016	36
5.2.2.	Σύγκριση ποσοστιαίας κατανομής περιοχών εκπαίδευσης για περίοδο 2015-2016 με καλύψεις CLC	43
5.2.3.	Παρατηρήσεις σχετικά με τον εντοπισμό περιοχών εκπαίδευσης	44
5.2.4.	Επιλογή περιοχών εκπαίδευσης για περιόδους 1987-1988 και 2000	44
5.2.5.	Παραδοχή για τις περιοχές εκπαίδευσης για περίοδο 2000	46
5.2.6.	Διαδικασία επιλογής περιοχών εκπαίδευσης για περίοδο 1987-1988	46
5.2.7.	Επιπλέον έλεγχος περιοχών εκπαίδευσης για την περίοδο 2000	49
5.2.8.	Τελική επιλογή περιοχών εκπαίδευσης	49
5.3.	Επιλογή Αλγόριθμου Ταξινόμησης	50
5.4.	Τα Επίπεδα που Χρησιμοποιούνται για την Ταξινόμηση	52
5.4.1.	Επιλογή φασματικών καναλιών για την εφαρμογή ταξινόμησης	53
5.4.2.	Επιλογή βοηθητικών δεδομένων για την εφαρμογή της ταξινόμησης	53
5.4.3.	Σύνοψη επιπέδων που συμμετέχουν στην ταξινόμηση	55
5.5.	Υλοποίηση και Αποτελέσματα Ταξινόμησης	55
5.5.1.	Υπολογισμός «φασματικών» υπογραφών	56
5.5.2.	Αποτελέσματα	57
5.6.	Ποιοτική Αξιολόγηση Ταξινόμησης	59
5.6.1.	Ορθές αναγνωρίσεις	59
5.6.2.	Εσφαλμένες αναγνωρίσεις	61
5.7.	Ποσοτική Αξιολόγηση Ταξινόμησης	64
5.8.	Χωρική Θέση Κύριων Σφαλμάτων	69
6.	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ	71
6.1.	Προεπεξεργασία Αποτελεσμάτων	71
6.2.	Συγκριτικά Στατιστικά για τις Αρχικές Κατηγορίες	72
6.3.	Συγκριτικά Στατιστικά έπειτα από Συγχώνευση Κατηγοριών	74

6.3.1.	Σύγκριση ανθρωπογενούς δραστηριότητας-φυσικού τοπίου	74
6.3.2.	Σύγκριση δενδρωδών δασικών εκτάσεων-άλλες καλύψεις	77
6.4.	Σύγκριση Αποτελεσμάτων με το Corine Land Cover	80
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	83
7.1.	Συμπεράσματα για τη Διαχρονική Εξέλιξη της Περιοχής Μελέτης	83
7.2.	Συμπεράσματα για την Αποτελεσματικότητα της Αναπτυγμένης Μεθόδου Ταξινόμησης	84
7.3.	Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		87
	Διαδικτυακές Πηγές	88
	Κατάλογος Εικόνων	91
	Κατάλογος Πινάκων	92
	Κατάλογος Διαγραμμάτων	93

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Κίνητρο

Η παραγωγή χαρτών χρήσεων/κάλυψης γης παίζει καθοριστικό ρόλο στην ακρίβεια των μοντέλων και μελετών για την κλιματική αλλαγή ([Yang et al., 2013](#)) και γενικότερα την παρακολούθηση του περιβάλλοντος σε διάφορες χωρικές κλίμακες ([Sterling et al., 2013](#); [Zeng, et al., 2014](#); [Tsendbazar et al., 2015](#)). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση το πρόγραμμα Παρακολούθησης Γης Copernicus διαθέτει ειδικές υπηρεσίες για τη χαρτογράφηση των χρήσεων γης σε παγκόσμια και πανευρωπαϊκή (pan-European Land Monitoring Service) κλίμακα. Σε παγκόσμιο επίπεδο, δορυφορικά δεδομένα παρατήρησης γης είτε ελεύθερα και ανοιχτά, είτε εμπορικά χρησιμοποιούνται ευρέως τις τελευταίες δεκαετίες για πληθώρα γεωχωρικών και περιβαλλοντικών εφαρμογών. Μερικές από τα βασικές προκλήσεις σήμερα κατά την χαρτογράφηση χρήσεων γης αποτελεί η αντιμετώπιση προβλημάτων κατά την ταξινόμηση κυρίως φασματικά όμοιων κατηγοριών όπως οι καλλιέργειες, τα δάση, βοσκοτόπια, κοκ.

1.2. Αντικείμενο

Προς την κατεύθυνση αυτή αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας αποτελεί η διερεύνηση εισαγωγής χρονικών χαρακτηριστικών μέσα από τη χρήση πολλαπλών εικόνων ανά έτος κατά την ταξινόμηση. Η ταυτόχρονη ταξινόμηση εικόνων, οι οποίες έχουν ληφθεί σε διαφορετικές αλλά καίριες ημερομηνίες ανά έτος, αξιοποιεί τα φαινολογικά χαρακτηριστικά των καλύψεων για τον καλύτερο διαχωρισμό τους. Επίσης, η προσθήκη επιπλέον βοηθητικών επιπέδων (DEM, NDVI κλπ) ενισχύει ακόμα περισσότερο τη διαχωριστικότητα των κατηγοριών. Τέλος, επιχειρείται η διερεύνηση της αλληλεξάρτησης ανθρωπογενούς δραστηριότητας με καλύψεις που αφορούν το φυσικό τοπίο και η σύγκριση των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων με το Corine Land Cover κοντινών περιόδων.

1.3. Σχετικές Εργασίες στη Βιβλιογραφία

Σε κάθε κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναφέρονται οι σχετικές αναφορές της βιβλιογραφίας, οι ομοιότητες και διαφορές με το εδώ αναπτυγμένο μεθοδολογικό πλαίσιο. Σε γενικές γραμμές, εντοπίζεται πληθώρα επιστημονικών μελετών, οι οποίες καταπιάνονται με το ευρύτερο αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής. Ο [Mas \(1999\)](#) αξιολόγησε διάφορες τεχνικές ανίχνευσης μεταβολών με χρήση δορυφορικών δεδομένων. Ο [Henits et al. \(2016\)](#) εξετάζει τεχνικές για τον εντοπισμό αλλαγών στις καλύψεις γης με χρήση πολλαπλών εικόνων ανά περίοδο μελέτης. Οι [Goward et al. \(1997\)](#), [Kantakumar και Neelamsetti \(2015\)](#) και [Tottrup \(2004\)](#) προτείνουν τη βελτίωση της ακρίβειας στη χαρτογράφηση καλύψεων με χρήση πολλαπλών εικόνων ανά ταξινόμηση. Οι [Kumar et al. \(2012\)](#), προτείνουν τη χρήση βοηθητικών επιπέδων πέραν των δορυφορικών εικόνων για τη βελτίωση της διαχωριστικότητας των καλύψεων. Ο [Μπιλιζιώτης \(2016\)](#), με βάση τη μεθοδολογία “per class classification”, αξιοποιεί φαινολογικά χαρακτηριστικά ή/και βοηθητικά δεδομένα για τον καλύτερο διαχωρισμό συγκεκριμένων κατηγοριών. Επίσης, η [Μιχαηλίδου \(2015\)](#) διερευνά τη συστηματική χαρτογράφηση χρήσεων/καλύψεων

γης, πραγματοποιώντας ταξινομήσεις ανά εικόνα, ανά εποχή (πολλαπλές εικόνες) και ανά έτος (πολλαπλές εικόνες).

Τα στάδια της προεπεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων, για της ανάγκες της μελέτης της διαχρονικής εξέλιξης μίας περιοχής, συνοψίζονται σε:

- Ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων
- Βελτίωση της χωρικής ανάλυσης των εικόνων

1.3.1. Ραδιομετρική διόρθωση

Σύμφωνα με τους [Yang και Lo \(2000\)](#) η ραδιομετρική διόρθωση απαιτείται για την πραγματοποίηση εφαρμογών ανίχνευσης μεταβολών. Διαχωρίζουν τις διαδικασίες ραδιομετρικής διόρθωσης σε δύο βασικές κατηγορίες: την απόλυτη και τη σχετική. Η απόλυτη πραγματοποιείται μέσω της ατμοσφαιρικής διόρθωσης και της βαθμονόμησης του δέκτη και απαιτεί επίγειες μετρήσεις για την πραγματοποίησή της. Η σχετική εφαρμόζεται με την κανονικοποίηση των εικόνων με διαφορετικές ημερομηνίες λήψης χρησιμοποιώντας μία εξ αυτών ως εικόνα αναφοράς. Αποτέλεσμα της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι οι σχετικά κανονικοποιημένες εικόνες να έχουν τιμές εικονοστοιχείων αντίστοιχες με αυτές που θα είχαν, εάν είχαν ληφθεί από τον ίδιο δέκτη και υπό αντίστοιχες ατμοσφαιρικές συνθήκες με εκείνες της εικόνας αναφοράς ([Yang και Lo, 2000](#)).

Οι [Yuan και Elvidge \(1996\)](#) αναφέρουν ότι η σχετική ραδιομετρική κανονικοποίηση είναι προτιμότερη της απόλυτης, λόγω της περιπλοκότητας της μοντελοποίησης των ατμοσφαιρικών συνθηκών, η οποία απαιτείται για τη δεύτερη και εξετάζουν επτά διαφορετικές τεχνικές για την πρώτη. Εφαρμόζουν σε δύο δορυφορικές εικόνες του Landsat MSS, οι οποίες έχουν ληφθεί στις 25/06/1973 και 8/07/1973 και απεικονίζουν περιοχή της Washington, τις εξής μεθόδους:

- διόρθωση θολότητας (haze correction - HC)
- κανονικοποίηση μέγιστου-ελάχιστου (minimum-maximum normalization - MM)
- κανονικοποίηση μέσης τιμής-τυπικής απόκλισης (mean-standard deviation normalization - MS)
- κανονικοποίηση απλής παλινδρόμησης (simple regression normalization – SR)
- κανονικοποίηση σκοτεινού-φωτεινού συνόλου εικονοστοιχείων (dark set-bright set normalization – DB)
- κανονικοποίηση ψευδο-αμετάβλητων χαρακτηριστικών (pseudo-invariant feature normalization – PI)
- κανονικοποίηση παλινδρόμησης αμετάβλητου συνόλου εικονοστοιχείων (no-change set regression normalization – NC)

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα και χρησιμοποιώντας ως μέτρο ποιότητας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, η κατάταξη της απόδοσης των παραπάνω μεθόδων, για τις εικόνες που χρησιμοποίησαν, προέκυψε να είναι η εξής: NC > DB > SR > HC > MS > MM > PI. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της κάθε μεθόδου παρατίθεται στον πίνακα **1-1**.

Method	MSE ₁	MSE ₂	MSE ₃	MSE ₄	Average MSE
RAW	11.73	10.06	12.38	14.46	12.16
HC	6.65	10.30	16.56	15.10	12.15
MM	12.63	13.82	15.49	15.35	14.32
MS	15.04	17.31	11.06	11.61	13.76
SR	7.53	10.57	9.40	10.64	9.54
DB	5.74	7.14	9.80	9.89	8.14
PI	11.13	13.99	17.15	24.71	16.75
NC	4.86	6.49	7.55	8.34	6.81

Πίνακας 1-1: Μέσα τετραγωνικά σφάλματα των μεθόδων σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης (Yuan και Elvidge (1996)).

1.3.2. Επαύξηση χωρικής ανάλυσης

Οι αλγόριθμοι παγχρωματικής όξυνσης συγχωνεύουν υψηλότερης χωρικής ανάλυσης παγχρωματικές με χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης πολυφασματικές εικόνες, δημιουργώντας υψηλότερης χωρικής ανάλυσης πολυφασματικές εικόνες.

Δορυφορικά συστήματα μέτριας έως πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης περιλαμβάνουν πολυφασματικούς δέκτες, σχεδιασμένους για εφαρμογές ταξινόμησης χαρακτηριστικών της επιφάνειας της Γης, και υψηλότερης χωρικής αλλά χαμηλότερης φασματικής ανάλυσης δέκτη για εφαρμογές τοπογραφίας και εντοπισμού θέσης. Εάν ο παγχρωματικός δέκτης επικαλύπτει φασματικά πολυφασματικούς δέκτες, τότε οι εικόνες των δεύτερων μπορούν να υποστούν επεξεργασία παγχρωματικής όξυνσης, με σκοπό την δημιουργία πολυφασματικών εικόνων ισοδύναμης χωρικής ανάλυσης με τις παγχρωματικές. Υπάρχουν, βέβαια, και μελέτες οι οποίες προτείνουν την παγχρωματική όξυνση πολυφασματικών εικόνων με παγχρωματικές, χωρίς απαραίτητα τη συνθήκη της φασματικής τους επικάλυψης. Ιδανικά, η διαδικασία της παγχρωματικής όξυνσης πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχει η ελάχιστη χωρική και φασματική αλλοίωση των παραγόμενων εικόνων. (Zhang & Roy, 2016)

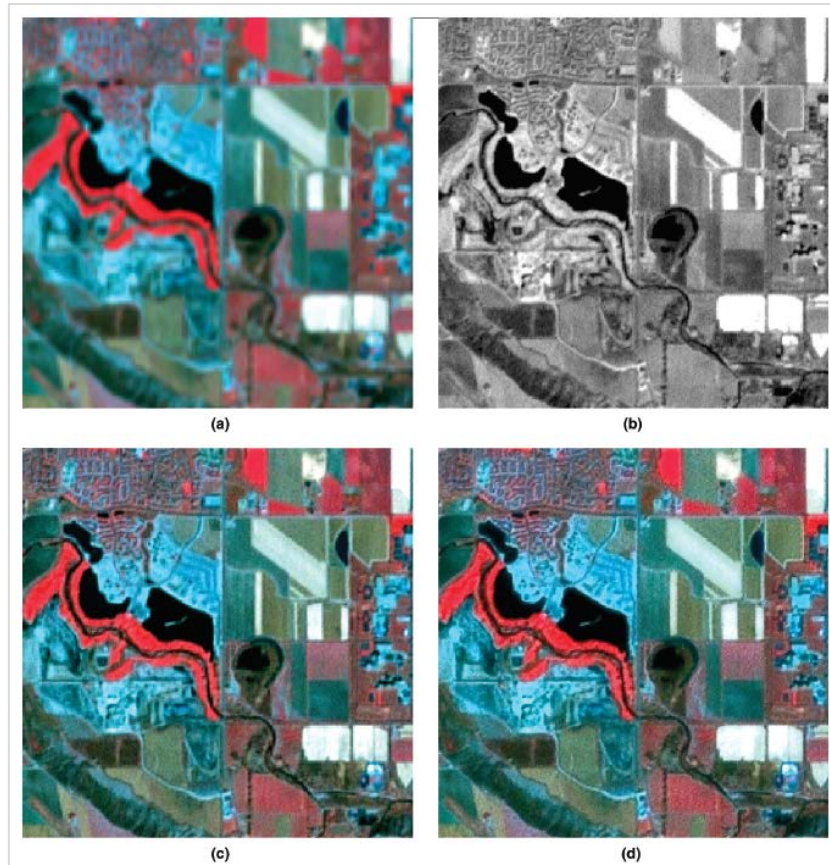
Οι Gangkofner et al. (2008), για την εφαρμογή παγχρωματικής όξυνσης, προτείνουν και εφαρμόζουν μία βελτιωμένη εκδοχή της μεθόδου High-Pass Filter Addition (HPFA) και συγκρίνουν τα αποτελέσματά της με εκείνα μεθόδου βασισμένης σε κυματομορφές (wavelet). Η μη βελτιωμένη μέθοδος HPFA στη βιβλιογραφία αντιμετωπίζεται ως μέτριας αποτελεσματικότητας, ενώ η βασισμένη σε κυματομορφές μέθοδος είναι ευρύτερα αποδεκτή. Οι δύο μέθοδοι εφαρμόζονται σε τρεις εικόνες, οι δύο εκ των οποίων έχουν ληφθεί από τον Landsat 7 και η τρίτη είναι αεροφωτογραφία. Τα αποτελέσματα κρίθηκαν τόσο φωτοερμηνευτικά, όσο φασματικά και χωρικά.

Οι βελτιώσεις, τις οποίες προτείνουν για την HPFA, είναι τρεις και αφορούν το μέγεθος του φίλτρου το οποίο σαρώνει την εικόνα υψηλής χωρικής ανάλυσης για την εξαγωγή των λεπτομερειών που απεικονίζει, την κεντρική τιμή του φίλτρου και το μοντέλο μετάδοσης των παραπάνω πληροφοριών (injection model) στην εικόνα χαμηλής χωρικής ανάλυσης.

Συγκεκριμένα, προτείνουν το μέγεθος του φίλτρου να είναι περίπου διπλάσιο του λόγου της ανάλυσης των δύο εικόνων, για λόγους 2 έως 5 και μικρότερο για μεγαλύτερους

λόγους. Η κεντρική τιμή του φίλτρου υπολογίζεται ως $n \times n - 1$, όπου n το μέγεθος του φίλτρου. Και, τέλος, τα βάρη του μοντέλου μετάδοσης προκύπτουν ως ποσοστό της τυπικής απόκλισης της εικόνας χαμηλής χωρικής ανάλυσης.

Φωτοερμηνευτικά, οι δύο παραπάνω μέθοδοι κατέληξαν σε αντίστοιχης ποιότητας αποτελέσματα (Εικόνα 1-1), όσον αφορά την ευκρίνεια και τις φασματικές ιδιότητες. Οι δείκτες ποιότητας αποδείχθηκαν υψηλότεροι για τη μέθοδο HPFA, όσον αφορά τα φασματικά χαρακτηριστικά και οι χωρικοί δείκτες είχαν αμφιλεγόμενα αποτελέσματα χωρίς να υπερτερεί στο σύνολο των περιπτώσεων μία εκ των δύο μεθόδων.



Εικόνα 1-1: Αρχική Landsat 7 εικόνα και αποτελέσματα όξυνσης: (a) Κανάλια 2-3-4, (b) Παγχρωματικό κανάλι, (c) Αποτέλεσμα βελτιωμένης μεθόδου HPFA, και (d) Αποτέλεσμα μεθόδου βασισμένης σε κυματομορφές ([Gangkofner et al. \(2008\)](#)).

1.4. Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση με Πολλαπλές Δορυφορικές Εικόνες

Ο [Tottrup \(2004\)](#) προτείνει τη βελτίωση της χαρτογράφησης των διαφορετικών ειδών τροπικών δασών, με εφαρμογή εξομάλυνσης στις δορυφορικές εικόνες και με την ταυτόχρονη ταξινόμηση πολλαπλών δορυφορικών εικόνων. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ca στο βόρειο-κεντρικό Βιετνάμ.

Το πρόβλημα στη χαρτογράφηση των διαφορετικών ειδών τροπικών δασών με χρήση εικόνων από τους δορυφόρους Landsat έγκειται στη χαμηλή φασματική διαχωρισιμότητα τους, η οποία αποδίδεται κυρίως στην ταχεία αναγέννησή τους, στο συνεχές υψηλό

επίπεδο πρασίνου (greenness), στην πυκνή συγκόμωση και στην περίπλοκη υφή των μοτίβων ανάκλασης.

Για τη βελτίωση της φασματικής διαχωρισιμότητας ο [Tottrup \(2004\)](#) αξιολόγησε: (α) την εφαρμογή εξομάλυνσης στις δορυφορικές εικόνες με φίλτρα μεγέθους 3x3 και 5x5 και (β) την ταυτόχρονη ταξινόμηση πολλαπλών δορυφορικών εικόνων του ίδιου έτους. Η χρήση πολλαπλών εικόνων επιλέγεται για τη βελτίωση της ταξινόμησης, διότι παρέχει φασματικές πληροφορίες που σχετίζονται με τα φαινολογικά χαρακτηριστικά της βλάστησης, υπό την προϋπόθεση της ικανής χρονικής απόστασης μεταξύ τους.

Οι εικόνες, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν, λήφθηκαν από τον Landsat TM με ημερομηνίες λήψης 15/05/1988 και 07/11/1988 και από αυτές ταξινομήθηκαν τα κανάλια 2, 3, 4, 5 και 7. Πραγματοποιήθηκαν 9 ανεξάρτητες ταξινομήσεις με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των οποίων παρατίθενται στον πίνακα 1-2. Με βάση τα αποτελέσματα ο [Tottrup \(2004\)](#) προτείνει τη χρήση φίλτρου εξομάλυνσης και πολλαπλές εικόνες για τη βελτίωση των ταξινομήσεων που σχετίζονται με χαρτογράφησης των διαφορετικών ειδών τροπικών δασών.

Band combination	Filter	Overall accuracy (%)	Kappa statistic (%)
TM 2, 3, 4, 5 and 7 May 1998	None	59.39	46.90
TM 2, 3, 4, 5 and 7 Nov. 1998	None	70.84	60.70
TM multi-date 1998	None	79.57	72.56
TM 2, 3, 4, 5 and 7 May 1998	3 × 3 smoothed	71.66	62.59
TM 2, 3, 4, 5 and 7 Nov. 1998	3 × 3 smoothed	76.74	68.69
TM multi-date 1998	3 × 3 smoothed	85.83	81.09
TM 2, 3, 4, 5 and 7 May 1998	5 × 5 smoothed	79.34	72.30
TM 2, 3, 4, 5 and 7 Nov. 1998	5 × 5 smoothed	76.03	68.43
TM multi-date 1998	5 × 5 smoothed	90.94	88.40

Πίνακας 1-2: Αξιολόγηση ταξινομήσεων ([Tottrup 2004](#)).

1.5. Μέθοδοι Ανίχνευσης Μεταβολών

Ο [Mas \(1999\)](#) αξιολόγησε έξι μεθόδους ανίχνευσης μεταβολών με εφαρμογή στην περιοχή της λιμνοθάλασσας Terminos, στο Μεξικό. Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες από τον Landsat MSS, με ημερομηνίες λήψης: 15/02/1974 και 29/04/1992. Οι μέθοδοι ανίχνευσης μεταβολών οι οποίες εφαρμόστηκαν είναι οι παρακάτω:

- Διαφορά εικόνων (Image differencing)
- Διαφορά δεικτών βλάστησης (Vegetation index differencing)
- Επιλεκτική ανάλυση κύριων συνιστωσών (Selective Principal Components Analysis)
- Απευθείας διαχρονική ταξινόμηση (Direct multi-date classification)
- Μετα-ταξινομική ανάλυση (Post-classification analysis)
- Συνδυασμός βελτίωσης εικόνας/μετα-ταξινομικής ανάλυσης (Combination image enhancement/post-classification analysis)

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν 106 σημεία, τα οποία προσδιορίστηκαν με χρήση αεροφωτογραφιών κλίμακας 1:75000, χαρτών βλάστησης και έγχρωμων σύνθετων των δορυφορικών εικόνων. Σε κάθε πολύγωνο προσδιορίστηκαν δύο επίπεδα πληροφορίας: εάν εμφανίζεται ή όχι αλλαγή και η φύση της αλλαγής (από-προς). Οι παραπάνω πληροφορίες συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα των μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών μέσω πινάκων σύγχυσης.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα **1-3**. Η μέθοδος μετα-ταξινομικής ανάλυσης παρουσίασε την υψηλότερη ακρίβεια, έχοντας ταυτόχρονα το πλεονέκτημα να υποδεικνύει τη φύση των αλλαγών.

Change detection procedure	Change no change level		From-to change level	
	Kappa	Global accuracy	Kappa	Global accuracy
Band 2 differencing	0.4100	80.40	–	–
Band 4 differencing	0.2210	73.90	–	–
NDVI differencing	0.3981	81.84	–	–
SPCA band 2	0.4155	82.05	–	–
SPCA band 4	0.2222	73.20	–	–
Multi-date classification	0.2850	80.71	0.3886	61.78
Post-classification comparison	0.6191	86.87	0.7070	82.41
Masking + post-classification comparison	0.4201	84.52	0.6414	79.58

Πίνακας 1-3: Σύγκριση της απόδοσης των μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών [Mas \(1999\)](#).

1.6. Διάρθρωση Εργασίας

Η δομή της εργασία συνοψίζεται παρακάτω:

Το κεφάλαιο 1 αποτελεί το παρόν εισαγωγικό κεφάλαιο και περιλαμβάνει το κίνητρο, το αντικείμενο, βιβλιογραφική ανασκόπηση μεθόδων και τεχνικών, οι οποίες σχετίζονται με το αντικείμενο της εργασίας και τη συνοπτική παρουσίαση της εργασίας.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και τα βασικά χαρακτηριστικά της, εστιάζοντας σε εκείνα τα οποία θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για της ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας.

Στο κεφάλαιο 3 καταγράφονται τα διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα και επιλέγονται τα κατάλληλα, με γνώμονα τις προδιαγραφές για την ανίχνευση διαχρονικών μεταβολών.

Στο κεφάλαιο 4 αναλύονται οι απαραίτητες επεξεργασίες που πρέπει να λάβουν χώρα στα δορυφορικά δεδομένα για την εξαγωγή πληροφοριών από αυτά.

Στο κεφάλαιο 5 αναλύεται η μεθοδολογία, η οποία ακολουθήθηκε για την εφαρμογή ταξινομήσεων.

Στο κεφάλαιο 6 πραγματοποιείται σύγκριση των ταξινομήσεων μεταξύ τους και με τις υπάρχουσες καταγραφές του Corine Land Cover.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν, καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1. Επιλογή Περιοχής Μελέτης

Ως περιοχή μελέτης ορίστηκε το τμήμα του νομού Χανίων, το οποίο αντιστοιχεί στο path/row 182/036 των λήψεων των δορυφόρων Landsat και βρίσκεται εντός των ορίων: N: 3932805, S: 3866055, E: 804315, W: 693615, σε σύστημα WGS84 για τη ζώνη 34N (EPSG: 32634). Στην **εικόνα 2-1** παρουσιάζονται τα όρια της περιοχής μελέτης και μία ενδεικτική λήψη από το δορυφόρο Landsat 7 σε ψευδέγχρωμο RGB 3-2-1 και υπόβαθρο OpenStreetMap (<http://www.openstreetmap.org/copyright>).



Εικόνα 2-1: Όρια περιοχής μελέτης με υπέρθεση δορυφορικής εικόνας LE71820362001264.

2.2. Γενικά Χαρακτηριστικά Νομού Χανίων

Ο Νομός Χανίων αποτελεί το δυτικότερο τμήμα της Κρήτης, συνορεύει ανατολικά με το Νομό Ρεθύμνης και βρέχεται στις τρεις άλλες πλευρές του, δυτικά από τη Μεσόγειο θάλασσα, βόρεια από το Κρητικό και νότια από το Λιβυκό πέλαγος. Η μορφολογία του εδάφους και η θέση της Κρήτης στο κέντρο της Μεσογείου έχουν άμεση απήχηση στο κλίμα του νομού Χανίων, που χαρακτηρίζεται ως εύκρατο μεσογειακό και ιδιαίτερα ξηροθερμικό, με την ηλιοφάνεια να καλύπτει το 70% των ημερών του έτους.

Η οροσειρά των Λευκών Ορέων, διατρέχει το νομό από δύση προς ανατολή, σχηματίζοντας μεγάλα οροπέδια, όπως του Ομαλού (1080m) και του Ασκύφου (730m), φαράγγια και χαράδρες, όπως της Αγίας Ειρήνης, της Σαμαριάς, της Αράδενας, της Ίμβρου κ.α.. Τα νερά των πηγών των Λευκών Ορέων σχηματίζουν ποταμούς, με μεγαλύτερους τον Πλατανιά (αρχαίο Ιάρδανο) και τον Κοιλιάρη. Στο πεδινό τμήμα του νομού σχηματίζονται οι κάμποι

της Κισσάμου, των Χανίων, των Αρμένων και της Γεωργιούπολης. (<http://www.chania-cgi.gr/website/el/chania/morfologia-gewgrafia>)

2.2.1. Διοικητική διαίρεση και πληθυσμιακά στοιχεία

Στον πίνακα 2-1 παρουσιάζονται οι δήμοι του Νομού Χανίων, σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση Καλλικράτη και την πρότερη διαίρεση Καποδίστρια (<http://www.kallikratis.eu/dimoi-systasi-dimon-nomos-CHANION/>), καθώς και η πληθυσμιακή εξέλιξη του Νομού (<http://www.statistics.gr/>).

Καλλικρατικός Ο.Τ.Α.	Καποδιστριακοί Ο.Τ.Α.	Πραγματικός Πληθυσμός 1991	Πραγματικός Πληθυσμός 2001	Πραγματικός Πληθυσμός 2011
Δ. Χανίων (Έδρα: Χανιά)	Δ. Χανίων	83298	97364	116154
	Δ. Ελ. Βενιζέλου			
	Δ. Θερίσσου			
	Δ. Ν. Κυδωνίας			
	Δ. Σούδας			
	Δ. Ακρωτηρίου Δ. Κεραμίων			
Δ. Αποκορώνου (Έδρα: Βρύσες Αποκορώνου, Ιστ. Έδρα: Βάμος)	Δ. Φρε	11581	12703	15660
	Δ. Βάμου			
	Δ. Γεωργιουπόλεως			
	Δ. Κρουονέριδας			
	Δ. Αρμένων Κοιν. Ασή Γωνιάς			
Δ. Πλατανιά (Έδρα: Γεράνι)	Δ. Κολυμβαρίου	18304	18622	20972
	Δ. Μουσούρων			
	Δ. Βουκολιών			
	Δ. Πλατανιά			
Δ. Κισσάμου (Έδρα: Κίσσαμος)	Δ. Κισσάμου	11617	11820	11009
	Δ. Μυθήμνης			
	Δ. Ιναχωρίου			
Δ. Καντάνου – Σελίνου (Έδρα: Παλαιόχωρα, Ιστ. Έδρα: Κάντανος)	Δ. Καντάνου	6697	7334	5645
	Δ. Ανατολικού Σελίνου			
	Δ. Πελεκάνου			
Δ. Σφακίων (Έδρα: Σφακιά)	Δ. Σφακίων	2162	2446	2224
Δ. Γαύδου (Έδρα: Γαύδος)	Κοιν. Γαύδου	115	98	158
Σύνολο Πληθυσμού		133774	150387	171822

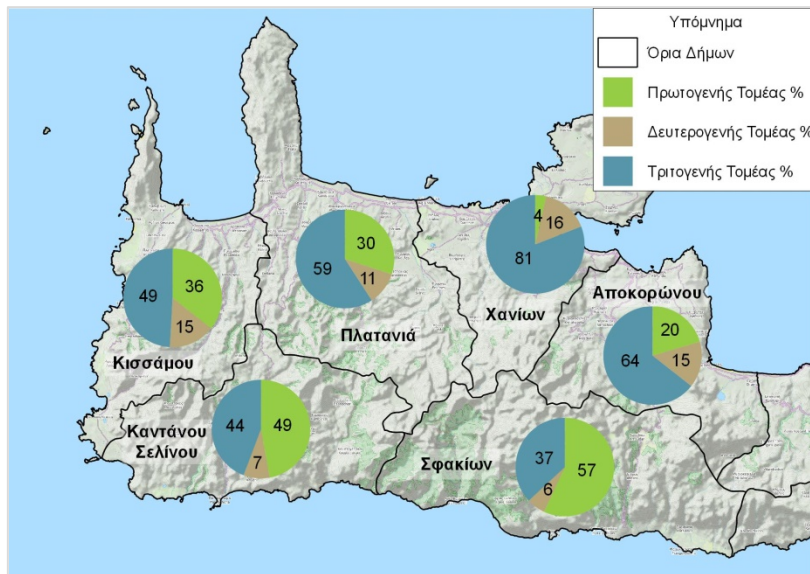
Πίνακας 2-1: Διοικητική διαίρεση και πληθυσμιακά στοιχεία νομού Χανίων.

Πληθυσμιακά παρατηρούμε αυξητική τάση από το έτος 1991 προς το έτος 2001. Από το 2001 προς το 2011 παρατηρούμε τάση μείωσης του πληθυσμού στους περισσότερους ορεινούς δήμους και αύξησης στους υπόλοιπους. Συνολικά, ο νομός παρουσιάζει αυξητική τάση για το σύνολο των ετών που εξετάστηκαν. Στη συγκεκριμένη μελέτη τα πληθυσμιακά

στοιχεία είναι σημαντικά, διότι υποδεικνύουν την τάση που θα πρέπει να ακολουθήσουν, στις τελικές ταξινομήσεις οι καλύψεις που αφορούν δόμηση.

2.2.2. Οικονομικά στοιχεία

Στην **εικόνα 2-2** παρουσιάζονται τα οικονομικά στοιχεία απασχόλησης κατά τομέα οικονομικής δραστηριότητας (<http://www.statistics.gr/>), σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2011. Μπορούμε να παρατηρήσουμε τις μεγάλες διαφορές που εμφανίζονται στους δήμους και αποκτάμε μία πρώτη εικόνα της χωρικής διασποράς των καλύψεων, οι οποίες αφορούν καλλιέργειες, για την επιβεβαίωση των τελικών ταξινομήσεων.



Εικόνα 2-2: Στατιστικά στοιχεία απασχόλησης 2011 κατά τομέα οικονομικής δραστηριότητας.

2.2.3. Ανάγλυφο και ορεινότητα περιοχής μελέτης

Σύμφωνα με την [«Έρευνα και μελέτη για την αναθεώρηση του περιφερειακού σχεδιασμού διαχείρισης στερεών αποβλήτων \(ΠΕΣΔΑ\) της Περιφέρειας Κρήτης»](#) του ΕΜΠ (2010), «ο νομός Χανίων χαρακτηρίζεται γενικά ως ορεινός, με το μεγαλύτερο μέρος της έκτασής του να καταλαμβάνεται από το συγκρότημα των Λευκών Ορέων, το οποίο τον χωρίζει σε δύο τμήματα, βόρειο και νότιο, με διαφορετικά μορφολογικά χαρακτηριστικά. Το έδαφος ιδιαίτερα προς το νότο παρουσιάζει έντονες πτυχώσεις, οι οποίες σχηματίζουν κοιλάδες ή διαδοχικές λοφώδεις και ορεινές μάζες, οι οποίες καθιστούν τη μετάβαση δύσκολη από περιοχή σε περιοχή και ειδικότερα από βορρά προς νότο. Το μεγαλύτερο μέρος των πεδινών εκτάσεων βρίσκεται στο βόρειο τμήμα και εκτείνεται σε όλο το μήκος της ακτογραμμής, από τον κόλπο του Κισσάμου μέχρι τον όρμο του Αλμυρού. Όπως είναι φυσικό, η περιοχή αυτή είναι και εντονότερα αναπτυσσόμενη, δεδομένου μάλιστα ότι διαθέτει και πλούσιο υδάτινο δυναμικό, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος τόσο της γεωργικής όσο και της τουριστικής δραστηριότητας. Στη νότια και δυτική ακτή του νομού η γεωργική γη είναι ελάχιστη και αποτελείται από μεμονωμένες «λωρίδες», όπως αυτές του Φραγκοκάστελλου, της Κουντούρας και των Φαλάσσαρνων. Τα παραπάνω είχαν ως φυσική συνέπεια τη συγκέντρωση του συνόλου σχεδόν των δραστηριοτήτων και κατ' επέκταση του

πληθυσμού στη βόρεια ζώνη. Το νότιο και κεντρικό τμήμα ήταν και εξακολουθούν να είναι υποβαθμισμένα και οικιστικά στάσιμα.».

Πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με το νόμο 3852/2010 (Πρόγραμμα Καλλικράτης), οι δήμοι Σφακίων και Καντάνου-Σελίνου χαρακτηρίζονται ως ορεινοί. Δήμοι και κοινότητες του νομού Χανίων είχαν χαρακτηριστεί ως ορεινοί, πριν τη διοικητική διαίρεση του Προγράμματος «Καλλικράτης», από την οδηγία 81/645/EEC. Σύμφωνα με την οδηγία 75/268/EEC στις Ορεινές Περιοχές (Άρθρο 3, Παρ. 3) εντάσσονται Δήμοι, Κοινότητες και Οικισμοί που έχουν τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

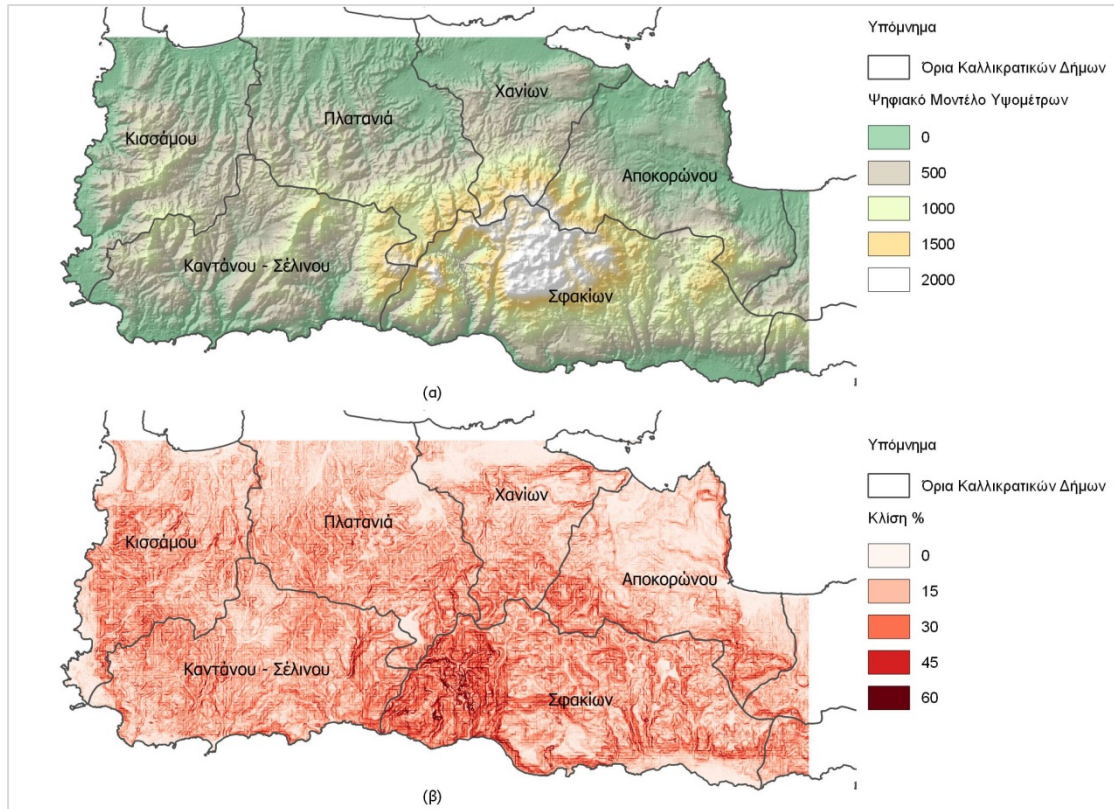
(α) η κτηματική τους έκταση βρίσκεται σε υψόμετρο πάνω από 800 μέτρα,

(β) η κτηματική τους έκταση βρίσκεται μεταξύ 600-800 μέτρων και οι κλίσεις του εδάφους είναι τουλάχιστον 16%,

(γ) η κτηματική τους έκταση βρίσκεται σε υψόμετρο κάτω από 600 μέτρα με κλίσεις εδάφους τουλάχιστον 20%.

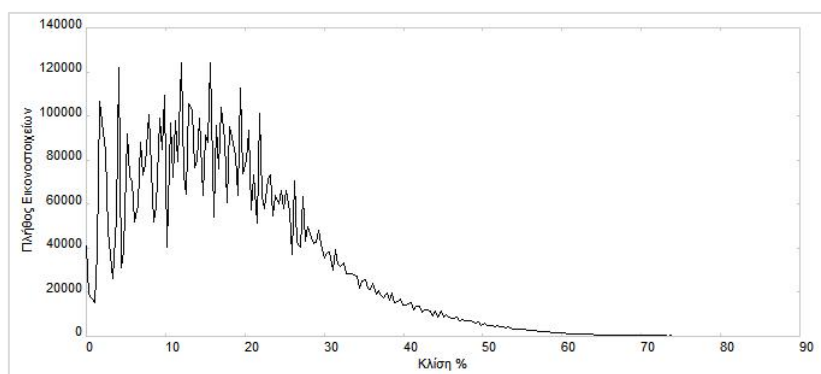
Εάν ένας Δήμος, Κοινότητα ή Οικισμός έχει μία από τις παραπάνω περιπτώσεις σε ποσοστό κτηματικής έκτασης τουλάχιστον 80% ή το άθροισμα των περιπτώσεων (α), (β), (γ) είναι τουλάχιστον 80% επί του συνόλου της κτηματικής τους έκτασης, τότε είναι δυνατόν να προταθεί για ένταξη στις ορεινές περιοχές.

Στην **εικόνα 2-3** παρουσιάζονται οι χάρτες Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων και Κλίσεων για την περιοχή μελέτης σε συνδυασμό με το επίπεδο των καλλικρατικών δήμων, ώστε να γίνει κατανοητή η κατάταξη των παραπάνω αναφερθέντων δήμων στους ορεινούς. Το Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων λήφθηκε από τα δεδομένα του μαθήματος «Μέθοδοι και Τεχνικές Παρατήρησης και Παρακολούθησης του Ορεινού Περιβάλλοντος» και οι κλίσεις προέκυψαν από το παραπάνω με χρήση του εργαλείου r.slope.aspect του GRASS GIS v.7.0.5.



Εικόνα 2-3: Χάρτης Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων (α) και Κλίσεων % (β) με υπέρθεση επιπέδου καλλικρατικών δήμων.

Στο **διάγραμμα 2-1** παρουσιάζεται το ιστόγραμμα των κλίσεων της περιοχής μελέτης, όπου έπειτα από υπολογισμούς καταλήγουμε ότι περίπου το 46% των εικονοστοιχείων έχουν κλίση πάνω από 16% και περίπου το 33% έχουν κλίση πάνω από 20%, όρια τα οποία αποτελούν προϋποθέσεις κλίσης, για την κατάταξη μίας περιοχής σε ορεινή όπως αναφέρθηκε παραπάνω.



Διάγραμμα 2-1: Ιστόγραμμα κλίσεων περιοχής μελέτης.

Η γνώση του αναγλύφου της περιοχής μελέτης αποτελεί σημαντική πληροφορία για τη συγκεκριμένη μελέτη, διότι οι καλύψεις μίας περιοχής είναι άμεσα συνδεδεμένες με το ανάγλυφό της (καλλιέργειες, διάταξη οικισμών), αλλά και μας προϊδεάζει για πιθανά προβλήματα κατά την ανάλυση δορυφορικών εικόνων, όπως σκιές κατά τις χειμερινές λήψεις, λόγω της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

2.2.4. Περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος περιοχής μελέτης

Σε εθνικό επίπεδο οι κατηγορίες προστατευόμενων περιοχών φυσικού περιβάλλοντος, σύμφωνα με την υφιστάμενη εθνική νομοθεσία, είναι οι ακόλουθες: Εθνικοί Δρυμοί (Ν. 996/71), Εθνικά Πάρκα (Ν. 1650/86), Αισθητικά Δάση (Ν. 996/71), Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης (Ν. 996/71), Καταφύγια Άγριας Ζωής (Ν. 177/75, όπως αυτός τροποποιήθηκε από τον Ν. 2637/98), Ελεγχόμενες κυνηγετικές περιοχές (Ν. 177/75, όπως αυτός τροποποιήθηκε από τον Ν. 2637/98), Εκτροφεία θηραμάτων (Ν. 177/75, όπως αυτός τροποποιήθηκε από τον Ν. 2637/98), Περιοχές Προστασίας της Φύσης (Ν. 1650/86), Περιοχές Απόλυτης Προστασίας της Φύσης (Ν. 1650/86), Προστατευτικά Δάση (Ν. Δ 86/1969, όπως ισχύει), Προστατευόμενοι Φυσικοί Σχηματισμοί και Τοπία (Ν. 1650/86) και Περιοχές Οικοανάπτυξης (Ν. 1650/86).

Σε διεθνές επίπεδο οι χαρακτηρισμένες περιοχές είναι: Υγρότοποι Διεθνούς Σημασίας από τη Σύμβαση Ραμσάρ, Μνημεία της Παγκόσμιας Κληρονομιάς (UNESCO), Αποθέματα Βιόσφαιρας (UNESCO, Άνθρωπος και Βιόσφαιρα), Ειδικά Προστατευόμενες Περιοχές (Σύμβαση Βαρκελώνης), Βιογενετικά Αποθέματα (Συμβούλιο της Ευρώπης), Περιοχές στις οποίες έχει απονεμηθεί Ευρωδίπλωμα (Συμβούλιο της Ευρώπης).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο: Περιοχές του δικτύου Natura 2000.

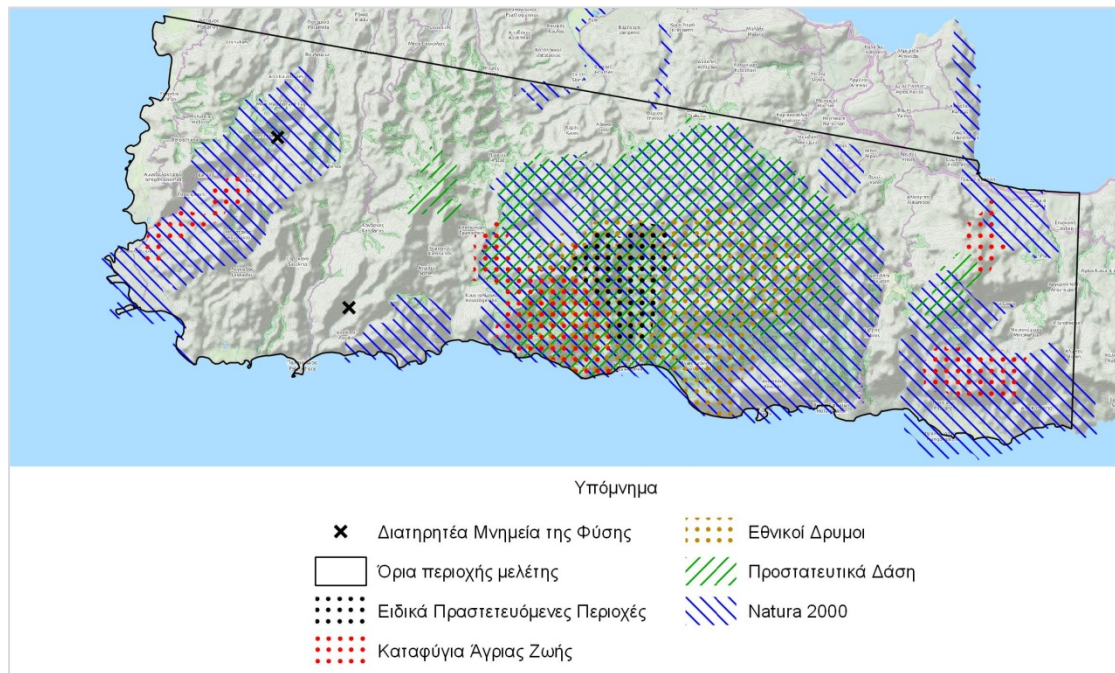
(http://www.ekby.gr/ekby/el/EKBY_PP_el.html)

Στον πίνακα **2-2** και στην **εικόνα 2-4** παρουσιάζονται οι περιοχές ή τμήματά τους που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης:

	Κατηγορία	Όνομασία	
Εθνικό Επίπεδο	Εθνικοί Δρυμοί	Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς	
	Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης	Ο αιθαλής Πλάτανος των Αζωγυρών Χανίων Ο Πλάτανος Βλάτους Χανίων	
	Καταφύγια Άγριας Ζωής	Περισυνάκη - Αγριμοκεφάλια - Μανικά Λευκών Ορέων Λίμνης Κουρνά Αγίου Δικαίου - Βιτσιλιάς - Αλμυρόκαμπου - Ελαφονήσου	
	Προστατευτικά Δάση	Ορεινού όγκου Λευκών Ορέων Νομού Χανίων Κορυφών Ασφένδου Καλλικράτη Νομού Χανίων Ορεινού όγκου Αποπηγάδι Σελίνου Νομού Χανίων	
	Ειδικά Προστατευόμενες Περιοχές	Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς (πυρήνας)	
Διεθνές Επίπεδο	Βιογενετικά Αποθέματα	Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς	
	Αποθέματα Βιόσφαιρας	Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς	
	Περιοχές που έχει απονεμηθεί Ευρωδίπλωμα	Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς	
Ευρωπαϊκό Επίπεδο	Περιοχές του δικτύου Natura 2000 - Τόποι Κοινοτικής Σημασίας (SCI)	GR4340002 - Νήσος Ελαφόνησος και παράκτια θαλάσσια ζώνη	
		GR4340003 - Χερσόνησος Ροδωπού - Παραλία Μάλεμε	
		GR4340004 - Έλος - Τοπόλια - Σάσαλος - Άγιος Δίκαιος	
		GR4340005 - Όρμος Σούγιας - Βάρδια - Φαράγγι Λισσού μέχρι Άνυδρους και παράκτια ζώνη	
		GR4340006 - Λίμνη Αγιάς - Πλατανιάς - Ρέμα και Εκβολή Κερίτη - Κουιάδα Φασά	
		GR4340007 - Φαράγγι Θερίσσου	
		GR4340008 - Λευκά Όρη και παράκτια ζώνη	
		GR4340010 - Δράπανο (βορειοανατολικές ακτές) - παραλία Γεωργιούπολης - Λίμνη Κουρνά	
		GR4340011 - Φρε - Τζιτζιφές - Νίπος	
		GR4340012 - Ασφένδου - Καλλικράτης και παράκτια ζώνη	
		GR4340015 - Παραλία από Χρυσοσκαλίτισσα μέχρι ακρωτήριο Κριός	
		Περιοχές του δικτύου Natura 2000 - Ζώνες Ειδικής Προστασίας (SPA)	GR4340014 - Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς - Φαράγγι Τρυπητής - Ψιλάφι -Κουστογέρακο
			GR4340016 - Μετερίζια Άγιος Δίκαιος - Τσουνάρα - Βιτσιλιά Λευκών Ορέων
			GR4340019 - Φαράγγι Καλλικράτης - Αργουλιανό φαράγγι - οροπέδιο Μανικά
			GR4340020 - Λίμνη Αγιάς (Χανιά)
GR4340021 - Χερσόνησος Ροδωπού			
GR4340022 - Λίμνη Κουρνά και εκβολή Αλμυρού			

Πίνακας 2-2: Προστατευόμενες περιοχές περιοχής μελέτης.

Στην **εικόνα 2-4**, όπου παρουσιάζονται οι περιοχές του πίνακα **2-2**, ο Εθνικός δρυμός Σαμαριάς παρουσιάζεται στην κατηγορία των Ειδικά Προστατευόμενων Περιοχών και τα όριά του ταυτίζονται με των λοιπών κατηγοριών των διεθνών συνθηκών. Τα δεδομένα λήφθηκαν από τα ανοικτά γεωχωρικά δεδομένα και υπηρεσίες για την Ελλάδα (<http://geodata.gov.gr/>) και από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/nationally-designated-areas-national-cdda-11#tab-gis-data>). Όπως βλέπουμε η περιοχή μελέτης παρουσιάζει μεγάλο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον, με το μεγαλύτερο τμήμα της να προστατεύεται από την εθνική, ευρωπαϊκή ή διεθνή νομοθεσία.

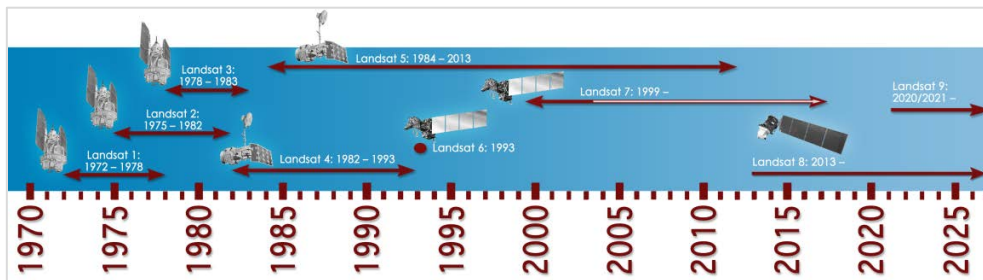


Εικόνα 2-4: Προστατευόμενες περιοχές περιοχής μελέτης.

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1. Πλατφόρμες Λήψης και Χρονικό Εύρος Τηλεπισκοπικών Δεδομένων

Ως πλατφόρμες λήψης τηλεπισκοπικών δεδομένων επιλέχθηκαν οι Landsat 4, Landsat 5, Landsat 7 και Landsat 8. Το πρόγραμμα Landsat παρέχει την μεγαλύτερη σε χρονική διάρκεια συνεχή καταγραφή της επιφάνειας της Γης, δίνοντας στους επιστήμονες την δυνατότητα εκτίμησης των αλλαγών της. Για περισσότερα από 40 χρόνια, το πρόγραμμα Landsat, έχει συλλέξει φασματικές πληροφορίες από την επιφάνεια της Γης, συνθέτοντας ένα απaráμιλλο σε ποιότητα, λεπτομέρεια, κάλυψη και εύρος ιστορικό αρχείο. Οι τηλεπισκοπικοί δέκτες των δορυφόρων Landsat χαρακτηρίζονται από μέτρια χωρική ανάλυση, τόσο χονδροειδή ώστε να προσφέρει παγκόσμια κάλυψη, αλλά και τόσο λεπτομερή ώστε να αποτυπώνει διαδικασίες ανθρώπινης κλίμακας, όπως η αστική ανάπτυξη.



Εικόνα 3-1: Χρονικό διάγραμμα λειτουργίας δορυφόρων Landsat. Πηγή: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/a-landsat-timeline/>

Το χρονικό διάγραμμα λειτουργίας του κάθε δορυφόρου Landsat παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-1. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα παρέχονται ελεύθερα από τη διαδικτυακή βάση δεδομένων της United States Geological Survey (USGS). Αναλυτικά για την περιοχή μελέτης τα διαθέσιμα δεδομένα παρουσιάζονται στον πίνακα 3-1:

Πλατφόρμα	Χρονικό Εύρος	Δεδομένα 1G (DN) (Πλήθος εικόνων)	Δεδομένα Surface Reflectance (Πλήθος εικόνων)
Landsat 4 TM	1/10/1987-9/12/1989	8	8
Landsat 5 TM	29/08/1984-25/09/2011	73	70
Landsat 7 ETM+ SLC On	30/07/1999-06/05/2003	72	72
Landsat 7 ETM+ SLC Off	13/10/2003-01/11/2016	187	187
Landsat 8 OLI/TIRS	23/04/2013-21/12/2016	81	81

Πίνακας 3-1: Διαθέσιμα δεδομένα των δορυφόρων Landsat στη διαδικτυακή βάση της USGS για την περιοχή μελέτης.

3.2. Ωφέλιμα Δεδομένα

3.2.1. Αρχικός διαχωρισμός δεδομένων

Λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων, για την επιλογή των εικόνων που τελικά θα αναλυθούν, έγινε ένας αρχικός διαχωρισμός των διαθέσιμων δεδομένων σε ωφέλιμα και μη ωφέλιμα. Στα μη ωφέλιμα δεδομένα κατατάσσονται:

- Εκείνα τα οποία προέρχονται από την πλατφόρμα Landsat 7 έπειτα από τη βλάβη στον Scan Line Corrector (SLC) στις 31/05/2003, λόγω των κενών τα οποία υπάρχουν στις εικόνες που προκύπτουν από τις συγκεκριμένες λήψεις.
- Εκείνα τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλο ποσοστό νεφοκάλυψης, λόγω της απόκρυψης της περιοχής μελέτης, αλλά και λόγω της αλλοίωσης των φασματικών χαρακτηριστικών

Για την πρώτη περίπτωση είναι σαφή τα δεδομένα τα οποία αποκλείονται από τις μετέπειτα επεξεργασίες και αντιστοιχούν σε εκείνα τα οποία λήφθηκαν από την πλατφόρμα Landsat 7 έπειτα από τις 31/05/2003. Για την περίπτωση της νεφοκάλυψης πρέπει να εξεταστεί ανεξάρτητα η κάθε εικόνα για να κριθεί η καταλληλότητά της. Για το διαχωρισμό αυτόν πραγματοποιήθηκε ανάλυση των εικόνων cfmask οι οποίες συνοδεύουν την κάθε σκηνή των δεδομένων επιφανειακής ανακλαστικότητας.

3.2.2. Έλεγχος νεφοκάλυψης

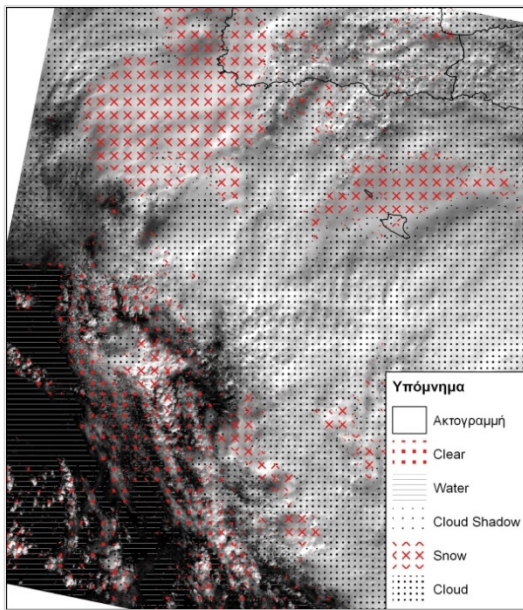
Οι εικόνες cfmask προσδιορίζουν την παρουσία σύννεφου, σκιάς σύννεφου, χιονιού ή νερού για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας επιφανειακής ανακλαστικότητας και τα αποτελέσματά τους θεωρούνται περισσότερο ακριβή από εκείνα των αντίστοιχων εικόνων cloud_qa και snow_qa, οι οποίες επίσης συνοδεύουν την κάθε σκηνή. Οι εικόνες cfmask αρχικά αναπτύχθηκαν από το Πανεπιστήμιο της Βοστώνης σε περιβάλλον MATLAB με σκοπό την αυτοματοποίηση της αναγνώρισης σύννεφων, σκιάς σύννεφων και χιονιού σε εικόνες Landsat TM και ETM+ και έπειτα μεταφέρθηκαν σε open source κώδικα C από το USGS EROS Center ([U.S. Geological Survey, 2016](#)).

Οι εικόνες cfmask συνοδεύονται από πιθανά σφάλματα κατά την αναγνώριση ενός χαρακτηριστικού. Γνωστά τέτοια σφάλματα είναι τα εξής ([U.S. Geological Survey, 2016](#)):

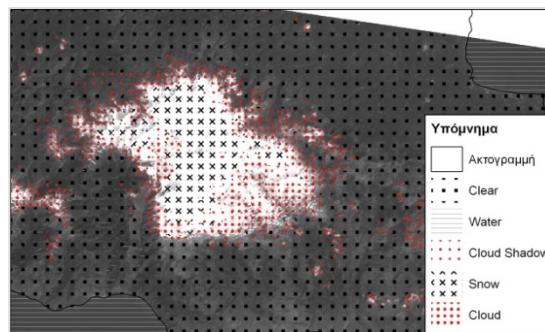
- Εσφαλμένη αναγνώριση εικονοστοιχείου ως σύννεφο σε περιπτώσεις ιδιαίτερα μεγάλης ή ιδιαίτερα μικρής διαφοράς θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, ένα θερμό σύννεφο πάνω από ιδιαίτερα ψυχρό έδαφος πιθανόν να μην αναγνωρισθεί. Αντίθετα, περιοχές με χιονοκάλυψη οι οποίες περιβάλλονται από ασυνήθιστα θερμό έδαφος πιθανόν να αναγνωρισθούν ως σύννεφο.
- Εσφαλμένη αναγνώριση ιδιαίτερα φωτεινών εικονοστοιχείων, όπως στέγες κτιρίων, παραλίες, χιόνι/ πάγος, αμμοθίνες και λίμνες αλμυρού νερού, ως σύννεφο.
- Αραιά σύννεφα μπορεί να μην αναγνωρισθούν.

Λόγω της ιδιαιτερότητας της περιοχής μελέτης, η οποία είναι μεν νησιωτική, αλλά συμπεριλαμβάνει και έναν μεγάλο ορεινό όγκο, η cfmask εικόνα χαρακτηρίζεται από τις παραπάνω εσφαλμένες αναγνωρίσεις. Ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες, όποτε και επικρατούν ψυχρά σύννεφα στο σύνολο της περιοχής μελέτης και χιονοκάλυψη στο ορεινό τμήμα της, η σύγχυση χιονιού και σύννεφου είναι μεγάλη. Χαρακτηριστικά παραδείγματα

αποτελούν η αναγνώριση εικονοστοιχείων σύννεφου ως χιόνι ή ακόμη και στεριά, ενώ αυτά βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, όπου προφανώς δεν υφίσταται χιονοκάλυψη ή ηπειρωτικό τμήμα (Εικόνα 3-2), καθώς και η σύγχυση χιονιού και σύννεφου σε περιπτώσεις παρουσίας και των δύο στα ορεινά της περιοχής μελέτης (Εικόνα 3-3). Αναλυτικά, στην εικόνα 3-2 παρατηρούμε εσφαλμένη αναγνώριση χιονιού στο βορειοδυτικό και κεντρικό τμήμα της εικόνας, καθώς και εσφαλμένη αναγνώριση «καθαρών» εικονοστοιχείων, δηλαδή εικονοστοιχείων στεριάς, στο νοτιοδυτικό τμήμα της εικόνας, ενώ και στις δύο περιπτώσεις τα εικονοστοιχεία απεικονίζουν σύννεφο. Αντίστοιχα, στην **εικόνα 3-3** τμήμα των περιοχών με χιονοκάλυψη έχουν αναγνωριστεί ως σύννεφο ή σκιά σύννεφου.



Εικόνα 3-2: Εσφαλμένες αναγνωρίσεις χαρακτηριστικών στη cfmask - Περίπτωση σύννεφου - LC81820362014036.



Εικόνα 3-3: Εσφαλμένες αναγνωρίσεις χαρακτηριστικών στη cfmask - Περίπτωση χιονιού - LE71820362001072.

Με βάση τις παραπάνω αποτυχίες και με σκοπό τον τελικό διαχωρισμό των ωφέλιμων εικόνων έγινε η εξής παραδοχή:

Για το διαχωρισμό των εικόνων υπολογίστηκαν αθροιστικά τα ποσοστά σύννεφου, σκιάς σύννεφου και χιονιού, θεωρώντας τα ως το ποσοστό των μη ωφέλιμων εικονοστοιχείων.

Για τις ανάγκες της μετέπειτα ταξινόμησης ως ωφέλιμες εικόνες θεωρούνται εκείνες με ποσοστό ωφέλιμων εικονοστοιχείων, στο ηπειρωτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, άνω του 75%. Το πλήθος των εικόνων που προκύπτει είναι 95 από το σύνολο των 231 διαθέσιμων.

Για τις ανάγκες της διαχρονικής μελέτης της περιοχής δεν αρκούν καθαρές εικόνες, αλλά είναι απαραίτητο για αυτές να συνυπάρχει και η συνθήκη της κατάλληλης χρονικής τους διασποράς ανά έτος μελέτης. Η χρήση πολλαπλών εικόνων διαφορετικών ημερομηνιών λήψης για μία περίοδο μελέτης, αυξάνει την ακρίβεια και μειώνει περιπτώσεις λανθασμένης ταξινόμησης. (Henits et al., 2016) Πολλαπλές και ισοκαταμεμημένες εποχικά εικόνες είναι απαραίτητες για την ανάδειξη αλλαγών. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από το γεγονός της αδυναμίας διαχωρισμού των εποχικών από τις διαχρονικές αλλαγές ανάμεσα

στις εικόνες. Για την επίτευξη του διαχωρισμού αυτού είναι απαραίτητη η μελέτη αντίστοιχων διαχρονικών και ταυτόχρονα εποχικών εικόνων. (Goward et al., 1997) Επίσης, σύμφωνα με τους [Kantakumar και Neelamsetti \(2015\)](#) απαιτούνται τουλάχιστον δύο δορυφορικές εικόνες, ανά περίοδο μελέτης, όπου η μία θα έχει ληφθεί κατά την υγρή περίοδο και η άλλη κατά την ξηρή, ώστε να αποφευχθούν λάθη λόγω φαινολογίας.

Οπότε, από τις εικόνες που προέκυψαν από τον παραπάνω διαχωρισμό, πρέπει να ελεγχθούν τα έτη για τα οποία υπάρχουν οι απαραίτητες εικόνες για την παρούσα μελέτη, ώστε να καθοριστούν τα έτη τα οποία θα εξετασθούν για τις τελικές ταξινομήσεις.

Οι εικόνες που προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία διαχωρισμού, αλλά και εκείνες οι οποίες απορρίφθηκαν, ελέγχθηκαν και φωτοερμηνευτικά, διότι όπως προαναφέρθηκε η αξιοπιστία της εικόνας cfmask κατά περιπτώσεις δεν είναι απόλυτη. Από το συνδυασμό ανάλυσης των εικόνων cfmask και φωτοερμηνείας προέκυψε ο πίνακας 3-2 με τα αποτελέσματα ωφέλιμων εικόνων, ανά έτος και εποχή, συμπεριλαμβανομένης της πλατφόρμας λήψης. Από τις 231 διαθέσιμες εικόνες οι 79 θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τις ανάγκες ταξινόμησης.

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991-1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004-2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Χειμώνας					L 4	L 4																L 8	
					L 4																		
Άνοιξη			L 5		L 4					L 7	L 7	L 7	L 7			L 5				L 8	L 8	L 8	L 8
										L 7	L 7	L 7											
Καλοκαίρι		L 5	L 5	L 5			L 5		L 7	L 7	L 7	L 7	L 5		L 5	L 5	L 5			L 8	L 8	L 8	L 8
	L 5		L 5	L 5						L 7	L 7	L 7	L 5			L 5	L 5			L 8	L 8	L 8	L 8
				L 5							L 7	L 5	L 5	L 5		L 5				L 8	L 8		
													L 5							L 8	L 8		
Φθινόπωρο	L 5			L 5					L 7	L 7	L 7		L 5			L 5				L 8		L 8	
				L 5					L 7	L 7	L 7					L 5				L 8		L 8	
	L 5									L 7	L 7												

Πίνακας 3-2: Αποτελέσματα ωφέλιμων εικόνων ανά έτος και εποχή.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι για τις χρονικές περιόδους 1991-1998 και 2004-2008, κατά τις οποίες πραγματοποιούνταν λήψεις από την πλατφόρμα Landsat 5 (έως το 1993 πραγματοποιούνταν λήψεις και από την Landsat 4), δεν υπάρχουν διαθέσιμες εικόνες, για την υπό εξέταση περιοχή, στη βάση δεδομένων της USGS. Το γεγονός αυτό δημιουργεί σημαντικές ασυνέχειες στη διαχρονική μελέτη. Η έλλειψη εικόνων για την πρώτη περίοδο

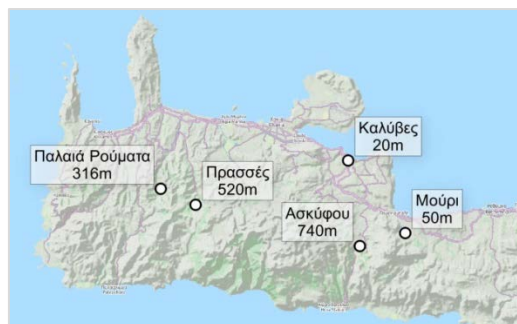
δικαιολογείται εν μέρει λόγω της απώλειας δεδομένων, κατά τα έτη 1984 έως 1999, για τα οποία δεν υπήρχαν άμεσοι ενδιαφερόμενοι-αγοραστές. Την περίοδο εκείνη τα δεδομένα των προγραμμάτων Landsat ήταν υπό ιδιωτική διαχείριση, με αποτέλεσμα την απώλεια εικόνων χωρίς αγοραστική αξία (Rocchio & Davis, 2006).

Οπότε, μελετώντας τον πίνακα 3-2 αυτομάτως αποκλείουμε από τη διαδικασία ταξινόμησης συγκεκριμένα έτη για τα οποία έχουμε διαθέσιμες εικόνες για μία μόνο εποχή. Καταλήγουμε, λοιπόν, ότι τα έτη τα οποία καλύπτουν τις έως τώρα προδιαγραφές είναι τα εξής: 1984, 1986, 1987, 1988, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015 και 2016.

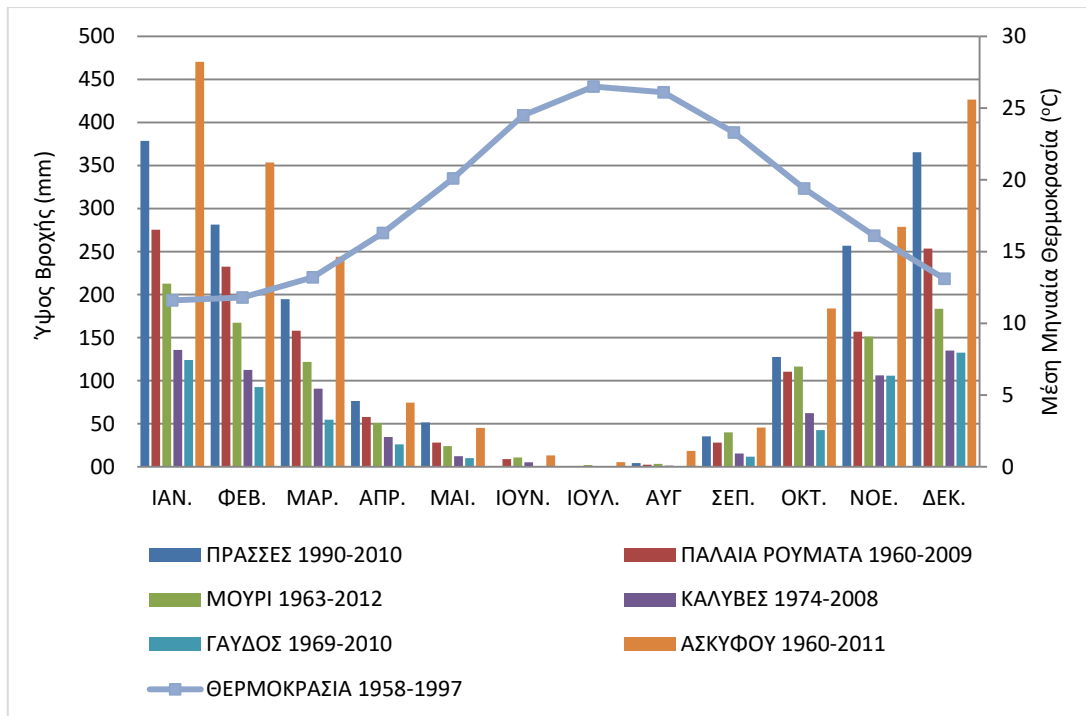
Για κάθε έτος έγινε επιλογή των βέλτιστων εικόνων. Η αρχική διαλογή έγινε με το ελάχιστο κριτήριο της αθροιστικής κάλυψης σύννεφου-χιονιού στο 25% για το ηπειρωτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Δεδομένου ότι νεφοκάλυψη στην ευρύτερη εικόνα επηρεάζει αρνητικά τις φασματικές υπογραφές, πραγματοποιήθηκε δεύτερη φωτερμηνευτική διαλογή των προκυπτουσών εικόνων και επιλέχθηκαν εκείνες με την ελάχιστη συνολική νεφοκάλυψη σε περιοχές υψηλού ενδιαφέροντος (καλλιεργούμενες εκτάσεις, δασικές εκτάσεις, οικισμοί). Η μηδενική νεφοκάλυψη αποτελεί τη βέλτιστη περίπτωση, αλλά ταυτόχρονα είναι ιδεατή, οπότε η επιλογή εικόνων με αλλοιωμένες φασματικές υπογραφές είναι αναπόφευκτη. Το ζητούμενο είναι οι βέλτιστες κατά περίπτωση εικόνες με την αποδοχή των πιθανών σφαλμάτων και η προσπάθεια εξάλειψής τους με μετέπειτα επεξεργασίες.

3.2.3. Εύρεση ξηρής και υγρής περιόδου για την περιοχή μελέτης

Χρησιμοποιώντας στοιχεία μηνιαίων βροχοπτώσεων από τον κατάλογο δημόσιων δεδομένων στην ιστοσελίδα <http://data.gov.gr/dataset/broxometrikoi-sta8moi-p-e-xaniwn>, καθώς και στοιχεία μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών, του μετεωρολογικού σταθμού της Σούδας, από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams.html?dr_city=Chania_Souda) δημιουργήθηκε το ομβροθερμικό **διάγραμμα 3-1**. Στην **εικόνα 3-4** παρουσιάζεται η χωρική διασπορά των μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν.



Εικόνα 3-4: Μετεωρολογικοί σταθμοί περιοχής μελέτης.



Διάγραμμα 3-1: Ομβροθερμικό διάγραμμα.

Από το ομβροθερμικό διάγραμμα καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι η υγρή περίοδος για την περιοχή μελέτης διαρκεί, κατά προσέγγιση, από Οκτώβριο έως Μάρτιο και η ξηρή από Απρίλιο έως Νοέμβριο.

3.2.4. Τελική επιλογή εικόνων ανά περίοδο μελέτης και εικόνων προς ταξινόμηση

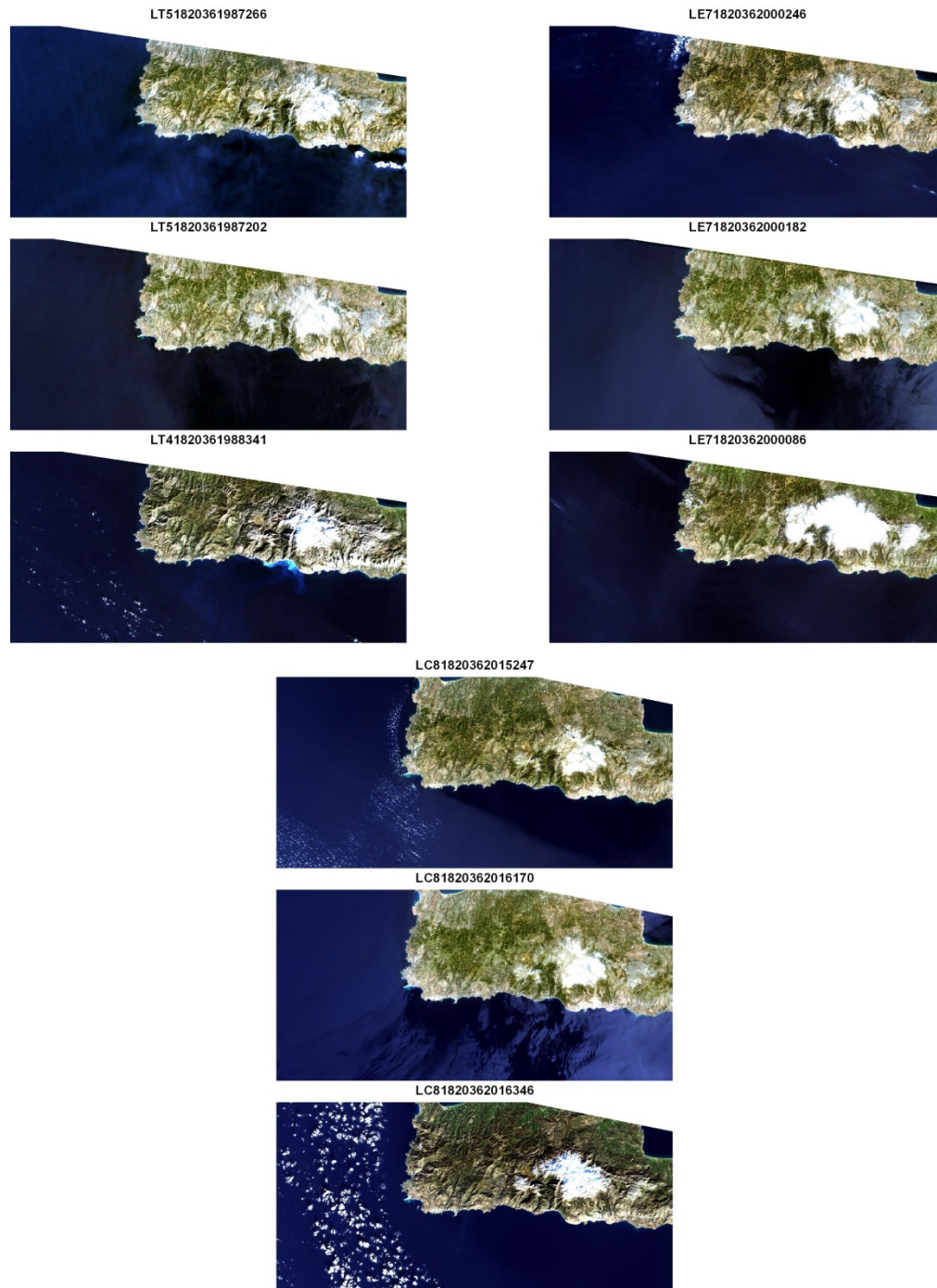
Με τα κριτήρια επιλογής κατάλληλων εικόνων για τις ταξινομήσεις να είναι, συνδυαστικά, η ελάχιστη νεφοκάλυψη και η ύπαρξη εικόνων για τις δύο παραπάνω περιόδους, καταλήγουμε στον βέλτιστο συνδυασμό, ο οποίος παρουσιάζεται στον πίνακα **3-3** και στην **εικόνα 3-5**. Επιλέχθηκαν περίοδοι μελέτης, αντί για συγκεκριμένα έτη, λόγω της ύπαρξης εικόνων με πολύ χαμηλή νεφοκάλυψη σε συνδυασμό ξηρής και υγρής περιόδου, κατά συνεχόμενα έτη και όχι εντός του ίδιου έτους. Αντί, λοιπόν, να επιλεχθούν εικόνες εντός του ίδιου έτους, αλλά με υψηλότερο βαθμό νεφοκάλυψης, και έχοντας ως στόχο τη διαχρονική μελέτη της περιοχής, προτιμήθηκε να συνδυαστούν εικόνες γειτονικών ετών. Η συγκεκριμένη επιλογή παρέχει την ευελιξία επιλογής μίας επιπλέον εικόνας, ανά περίοδο μελέτης, η οποία θα έχει ληφθεί κατά το μεσοδιάστημα ξηρής και υγρής περιόδου, η οποία αναμένεται να ενισχύσει την εξάλειψη αναγνώρισης, κατά τις ταξινομήσεις, φαινολογικών, αντί διαχρονικών χαρακτηριστικών. Όπως βλέπουμε στον πίνακα **3-3**, οι εικόνες που επιλέχθηκαν για την ξηρή περίοδο έχουν ημερολογιακά μέγιστη διαφορά ημερομηνίας λήψης 33 ημέρες, για την ενδιάμεση 21 ημέρες και για την υγρή περίοδο, λόγω μη ύπαρξης καθαρής εικόνας κοντά σε εκείνες των υπόλοιπων περιόδων μελέτης, 111 ημέρες.

Οι αποκλίσεις των ημερομηνιών λήψης των εικόνων ανά περίοδο μελέτης είναι σχετική, διότι οι μετεωρολογικές συνθήκες κάθε έτους μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από των εκατέρωθεν. Σημαντική είναι η χρονική διασπορά των εικόνων ανά περίοδο μελέτης, ώστε να δοθούν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες εποχικών χαρακτηριστικών των διαφορετικών καλύψεων, οι οποίες αυξάνουν τις πιθανότητες ορθότερων αποτελεσμάτων ταξινόμησης.

Κεφάλαιο 3. Επιλογή των ανά Έτος Τηλεπισκοπικών Δεδομένων

Περίοδος Μελέτης	Εικόνα Ξηρής Περιόδου	Εικόνα Υγρής Περιόδου	Εικόνα Ενδιάμεσης Περιόδου
1987-1988	Landsat 5 21/07/1987	Landsat 4 06/12/1988	Landsat 5 23/09/1987
2000	Landsat 7 30/06/2000	Landsat 7 26/03/2000	Landsat 7 02/09/2000
2015-2016	Landsat 8 18/06/2016	Landsat 8 11/12/2016	Landsat 8 04/09/2015

Πίνακας 3-3: Τελική επιλογή εικόνων για τις ταξινομήσεις.



Εικόνα 3-5: Επιλεγμένες εικόνες για τις ταξινομήσεις

4. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

4.1. Ατμοσφαιρική Διόρθωση

Η ατμοσφαιρική διόρθωση αποτελεί τη διαδικασία κατά την οποία οι τιμές ανακλαστικότητας της κορυφής της ατμόσφαιρας (Top of Atmosphere - ToA) μετατρέπονται σε επιφανειακή ανακλαστικότητα (Surface Reflectance). Η ατμοσφαιρική επίδραση σε μία εικόνα περιλαμβάνει τη σκέδαση και την απορρόφηση μορίων και αερολυμάτων από αέρια, όπως υδρατμοί, όζον και οξυγόνο. Η σκέδαση των αερολυμάτων επικρατεί στα μικρού μήκους κύματα, ενώ οι υδρατμοί επηρεάζουν κυρίως το εγγύς υπέρυθρο ([Liang, 2004](#)).

Η σκέδαση και η απορρόφηση των μορίων είναι απλούστερη στον υπολογισμό της, καθώς η συγκέντρωση των στοιχείων αυτών είναι σταθερή στο χώρο και στο χρόνο. Οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι καθιστούν δύσκολη την ατμοσφαιρική διόρθωση, λόγω των μεγάλων διακυμάνσεών τους στο χώρο και στο χρόνο, είναι τα αερολύματα και οι υδρατμοί, η χωρική διασπορά των οποίων είναι δύσκολο να υπολογιστεί μέσω μίας δορυφορικής εικόνας ([Liang, 2004](#)).

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης κρίθηκε απαραίτητη η ανάλυση ατμοσφαιρικά διορθωμένων εικόνων. Μέσω της USGS υπάρχει πρόσβαση σε ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες για το σύνολο των Landsat δεδομένων. Οι εικόνες αυτές επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν για τις μετέπειτα επεξεργασίες, αλλά μόνο για τις εικόνες των δορυφόρων Landsat 4, 5 και 7. Για τον Landsat 8 επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί εκ νέου ατμοσφαιρική διόρθωση των raw εικόνων, για λόγους οι οποίοι εξηγούνται παρακάτω.

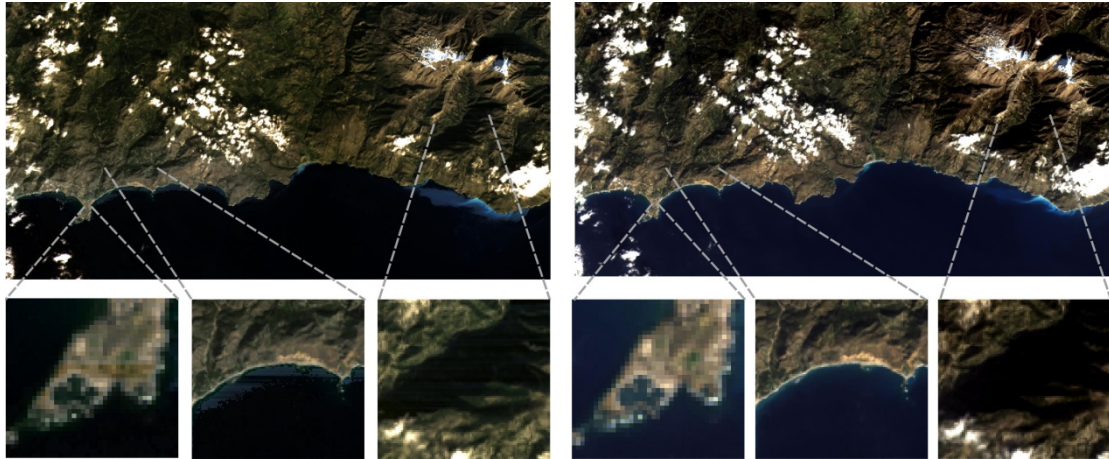
Όσον αφορά τους Landsat 4, 5 και 7, οι ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες επιφανειακής ανακλαστικότητας, οι οποίες παρέχονται από την USGS, προκύπτουν μέσω επεξεργασίας από το εξειδικευμένο λογισμικό «Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System» (LEDAPS). Το LEDAPS εφαρμόζει ρουτίνες ατμοσφαιρικής διόρθωσης του MODIS, σε εικόνες Landsat 4, 5 και 7, εξάγοντας από αυτές πληροφορίες ανακλαστικότητας στην κορυφή της ατμόσφαιρας, επιφανειακής ανακλαστικότητας, θερμοκρασίας φωτεινότητας, καθώς και 'μάσκες' σύννεφου, σκιάς σύννεφου, συνοδευτικών σύννεφων (clouds, cloud shadows, adjacent clouds masks), στεριάς και νερού. Τα παραπάνω υπολογίζονται εισάγοντας δεδομένα υδρατμών, όζοντος, γεωδυναμικού ύψους, οπτικού πάχους αερολυμάτων (AOT) και υψομέτρου στα μοντέλα μετάδοσης ακτινοβολίας 6S (Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum) ([U.S. Geological Survey, 2016a](#)).

Στην περίπτωση του Landsat 8 και για την παραγωγή εικόνων επιφανειακής ανακλαστικότητας χρησιμοποιείται από την USGS ο προσωρινός κώδικας Landsat 8 Surface Reflectance Code (LaSRC). Ο LaSRC είναι σαφώς διαφορετικός από τον LEDAPS και βρίσκεται σε δοκιμαστικό στάδιο, με τα αποτελέσματά του να θεωρούνται μη επικυρωμένα και υποκείμενα σε αλλαγές. Η τρέχουσα έκδοση του LaSRC είναι η 0.9.0, η οποία παραμένει σε δοκιμαστικό στάδιο ([U.S. Geological Survey, 2016b](#)). Οι διαφορές ανάμεσα σε LEDAPS και LaSRC συνοψίζονται στον πίνακα 4-1 (<https://landsat.usgs.gov/landsat-surface-reflectance-high-level-data-products>).

Parameter	Landsat 4–5, 7 (LEDAPS)	Landsat 8 OLI (LaSRC)
(Original) research grant	NASA GSFC, MEaSUREs (Masek)	NASA GSFC (Vermote)
TOA	Visible (1–5,7) + Brightness temp (6) bands	Visible (1–7, 9) + Thermal (10–11) bands
SR	Visible (1–5,7) bands	Visible (1–7) bands (OLI/TIRS only)
Radiative transfer model	6S	Internal algorithm
Pressure	NCEP Grid	Surface pressure is calculated internally based on the elevation
Water vapor	NCEP Grid	MODIS CMA
Air temperature	NCEP Grid	MODIS CMA
Ozone	OMI/TOMS	MODIS CMG Coarse resolution ozone
AOT	Correlation between chlorophyll absorption and bound water absorption of scene	MODIS CMA
View zenith angle	From input metadata	Hard-coded to 0
Brightness temperature calculated	Yes (Band 6 TM/ETM+)	Yes (Bands 10 & 11 TIRS)
QA bands	Cloud Adjacent cloud Cloud shadow DDV Fill Land water Snow Atmospheric opacity	Cloud Adjacent cloud Cloud shadow Aerosols Cirrus Aerosol Interpolation

Πίνακας 4-1: Διαφορές LEDAPS – LaSRC.

Στην **εικόνα 4-1** παρουσιάζονται ενδεικτικές αστοχίες της τρέχουσας έκδοσης του LaSRC (έκδοση 0.9.0, Οκτώβριος 2016, <https://github.com/USGS-EROS/espa-surface-reflectance/tree/master/not-validated-prototype-lasrc>), οι οποίες αναμένεται να εξαιρεθούν σε μελλοντικές αναβαθμίσεις, αλλά καθιστούν τα δεδομένα μη αξιόπιστα για τη συγκεκριμένη μελέτη. Αναλυτικότερα, στην **εικόνα 4-1α** παρατηρούμε εσφαλμένες τιμές ανακλαστικότητας στη στεριά, στην **εικόνα 4-1β** εσφαλμένες τιμές ανακλαστικότητας στη θάλασσα και στην **εικόνα 4-1γ** μοτίβο οριζόντιων γραμμών σε ανήλια πλαγιά.



Εικόνα 4-1α	Εικόνα 4-1β	Εικόνα 4-1γ	Εικόνα 4-1δ	Εικόνα 4-1ε	Εικόνα 4-1στ
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------

Εικόνα 4-1: Δορυφορική εικόνα Landsat 8 (20/01/2014). Στα αριστερά (4-1α – 4-1γ) η εικόνα επιφανειακής ανακλαστικότητας από τον LaSRC v.0.9.0 και στα δεξιά (4-1δ – 4-1στ) η αντίστοιχη raw εικόνα.

Οπότε, εφόσον η ατμοσφαιρική διόρθωση κρίθηκε απαραίτητη, για την εφαρμογή της στις εικόνες του Landsat 8 επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο 'FLAASH Atmospheric Correction' του προγράμματος ENVI 5.2. Η διαδικασία συνοπτικά είναι η εξής:

- Εισαγωγή των raw εικόνων
- Μετατροπή των raw εικόνων σε ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας με το εργαλείο radiance calibration του ENVI 5.2
- Ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων ακτινοβολίας και εξαγωγή εικόνων επιφανειακής ανακλαστικότητας με το εργαλείο FLAASH. Για την εφαρμογή του τελευταίου σαν δεδομένα εισόδου, πέραν της εικόνας ακτινοβολίας στην κορυφή της ατμόσφαιρας, δόθηκαν η πλατφόρμα λήψης (Landsat 8 OLI), το μέσο υψόμετρο της εικόνας, η ώρα και η ημερομηνία λήψης, το μοντέλο αερολυμάτων (maritime), το ατμοσφαιρικό μοντέλο (Mid-Latitude Summer, σύμφωνα με τον πίνακα στην ιστοσελίδα <http://www.harrisgeospatial.com/docs/FLAASH.html> για το γεωγραφικό πλάτος -34N της περιοχής μελέτης αντιστοιχεί το συγκεκριμένο μοντέλο). Οι υπόλοιπες μεταβλητές υπολογίστηκαν αυτόματα.

Τέλος, για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες διορθώνονται οι τιμές ανακλαστικότητας επιφάνειας (x10000) σύμφωνα με το πρότυπο της USGS (<https://landsat.usgs.gov/provisional-landsat-8-surface-reflectance-data-available>). Για κάθε κανάλι οι τιμές των εικονοστοιχείων οι οποίες είναι μικρότερες από -2000 εξισώνονται με -2000 και οι τιμές οι οποίες είναι μεγαλύτερες από 16000 εξισώνονται με την τιμή 20000, η οποία αντιστοιχεί στην τιμή κορεσμού (saturation) του δέκτη (<https://landsat.usgs.gov/provisional-landsat-8-surface-reflectance-data-available>). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε ομοιογένεια των δεδομένων ανάμεσα στους δέκτες.

4.2. Σχετική Ραδιομετρική Κανονικοποίηση (Relative Radiometric Normalization)

Η σχετική ραδιομετρική κανονικοποίηση αποτελεί διαδικασία για την προετοιμασία διαχρονικών δεδομένων που προορίζονται για ανίχνευση μεταβολών. Μέσω της σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης μειώνονται οι αποκλίσεις ανάμεσα στις τιμές ανακλαστικότητας, οι οποίες έχουν προκύψει από διαφορές στις συνθήκες λήψης (απόδοση αισθητήρα, ηλιακή ακτινοβολία, ατμοσφαιρικές επιδράσεις κ.α.) και όχι από αλλαγές της κάλυψης γης (π.χ. εποχικές αλλαγές στην βλάστηση, ανθρώπινες επεμβάσεις). Η προσπάθεια εντοπισμού των αλλαγών κάλυψης γης, οι οποίες μεταβάλλουν και την ανακλαστικότητα επιφάνειας, γίνεται περίπλοκη λόγω της παρουσίας ραδιομετρικών μεταβολών που σχετίζονται με τις συνθήκες λήψης. Το πρόβλημα μεταφράζεται σε διαφορά στις τιμές ανακλαστικότητας ανάμεσα σε εικονοστοιχεία ίδιας κάλυψης, αλλά διαφορετικών λήψεων ([Yuan & Elvidge, 1996](#)).

Οι ραδιομετρικές μεταβολές, οι οποίες δεν σχετίζονται με την κάλυψη γης, που επιχειρούμε και να περιορίσουμε, σχετίζονται με:

- Αλλαγή στην απόδοση των αισθητήρων λόγω παρόδου του χρόνου
- Επιδράσεις από αλλαγές λόγω ηλιακής ακτινοβολίας, ατμοσφαιρικής σκέδασης και ατμοσφαιρικής απορρόφησης
- Λήψη εικόνων από διαφορετικούς δέκτες (LT4-5, LE7, LC8)

Ουσιαστικά ένα πρώτο βήμα για τη ραδιομετρική κανονικοποίηση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο στάδιο της ατμοσφαιρικής διόρθωσης των εικόνων στο κεφάλαιο 4.1. Εάν ήταν δυνατή η απόλυτη ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων, οι τιμές που θα προέκυπταν θα αποτελούσαν πραγματική ανακλαστικότητα επιφάνειας και δεν θα υπήρχαν διαφορές στις τιμές ανακλαστικότητας ίδιας κάλυψης και διαφορετικών λήψεων, είτε οι λήψεις αυτές διέφεραν χρονικά, είτε είχαν προκύψει από διαφορετικό δέκτη. Στην πραγματικότητα όμως οι τιμές που λαμβάνουμε, μέσω της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, δεν είναι απόλυτες και προκύπτουν αποκλίσεις.

Η διαδικασία της σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης συνοψίζεται στην επιλογή μίας εικόνας αναφοράς και στην προσαρμογή των ραδιομετρικών χαρακτηριστικών των υπόλοιπων εικόνων σύμφωνα με εκείνα της εικόνας αναφοράς ([Hall et al., 1991](#)). Θεωρητικά εφαρμόζεται είτε ατμοσφαιρική διόρθωση είτε σχετική ραδιομετρική κανονικοποίηση στις προς ταξινόμηση εικόνες. Εδώ, επιχειρείται να εφαρμοστεί η δεύτερη υποστηρικτικά της πρώτης, ώστε να περιοριστούν οι ραδιομετρικές αποκλίσεις, οι οποίες παρέμειναν από αυτήν.

4.2.1. Αξιολόγηση μεθόδων σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1.3.1, οι [Yuan και Elvidge \(1996\)](#) σύγκριναν επτά μεθόδους σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης, με τα αποτελέσματα να είναι τα εξής: NC > DB > SR > HC > MS > MM > PI.

Η μέθοδος NC απαιτεί τον εντοπισμό αμετάβλητων διαχρονικά περιοχών, οι οποίες αναγνωρίζονται μέσω των διαγραμμάτων διασποράς. Γίνεται, επίσης, η θεώρηση ότι το

50% των εικονοστοιχείων των εικόνων δεν παρουσιάζουν μεταβολές. Με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων υπολογίζονται στη συνέχεια οι συντελεστές κανονικοποίησης, βάσει των αμετάβλητων περιοχών, και εφαρμόζονται στο σύνολο των εικονοστοιχείων. Για την περίπτωση που εξετάζουμε, οι αμετάβλητες περιοχές, εκτός του τμήματος των εικόνων που καλύπτεται από θάλασσα, είναι δύσκολο να εντοπιστούν. Το γεγονός αυτό προκύπτει λόγω του μεγάλου χρονικού εύρους (1984-2016), κατά το οποίο έχουν προκύψει αλλαγές σε καλύψεις γης, αλλά και λόγω των έντονων εποχικών αλλαγών που λαμβάνουν χώρα εντός του κάθε έτους. Για να πραγματοποιηθεί ενιαία ραδιομετρική κανονικοποίηση σε όλες τις εικόνες, θα έπρεπε να εντοπιστούν κοινές και για τις τρεις περιόδους μελέτης αμετάβλητες περιοχές, διαδικασία ιδιαίτερα χρονοβόρα.

Στην περίπτωση που η ραδιομετρική κανονικοποίηση, με τη μέθοδο NC, εφαρμοζόταν για διαφορετικές αμετάβλητες περιοχές ανά εικόνα, πιθανόν να προκύψουν εκ νέου ραδιομετρικές ανωμαλίες στις τελικές εικόνες. Το πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση εντοπίζεται στο γεγονός της επιλογής εικόνων με μεγάλη χρονική διασπορά, εντός της κάθε περιόδου μελέτης, με αποτέλεσμα τις έντονες φαινολογικές αλλαγές ανάμεσά τους.

Αντίστοιχα, για τη μέθοδο DB απαιτείται η αναγνώριση σκοτεινών ομάδων εικονοστοιχείων, τα οποία θεωρητικά απεικονίζουν νερό, και φωτεινών ομάδων εικονοστοιχείων, τα οποία θεωρητικά αντιπροσωπεύουν καλύψεις γης υψηλής ανακλαστικότητας, όπως κατασκευές από σκυρόδεμα και βραχώδεις εκτάσεις. Το ηπειρωτικό τμήμα της περιοχής μελέτης παρουσιάζει στην πλειοψηφία του αγροτικές και δασικές καλύψεις γης, οπότε οι σκοτεινές και φωτεινές ομάδες εικονοστοιχείων, από τις οποίες προκύπτουν οι συντελεστές κανονικοποίησης, θεωρούνται στατιστικά ανεπαρκείς.

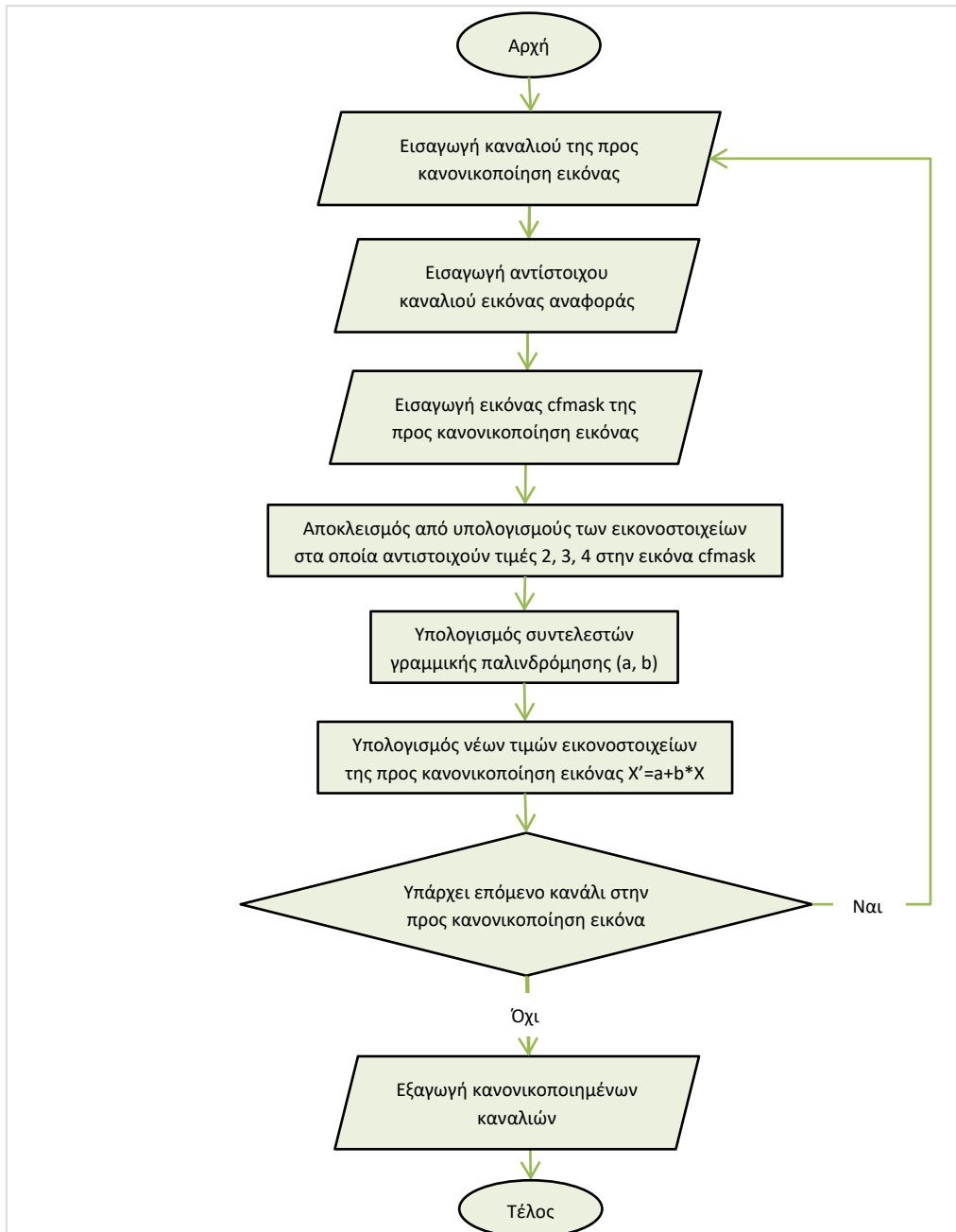
4.2.2. Μέθοδος σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης που εφαρμόστηκε

Η μέθοδος η οποία επιλέχθηκε είναι αυτή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης (SR), σύμφωνα με την οποία υπολογίζονται οι συντελεστές κανονικοποίησης ανάμεσα στην εικόνα αναφοράς και σε κάθε άλλη εικόνα. Επειδή στη συγκεκριμένη μέθοδο λαμβάνεται υπόψη το σύνολο της εικόνας για τους υπολογισμούς είναι βέβαιο το σφάλμα το οποίο θα προκύψει, λόγω των εναλλαγών στις καλύψεις γης. Σε μία προσπάθεια μείωσης του σφάλματος αυτού υιοθετείται η λογική της μεθόδου NC, όχι με την επιλογή αμετάβλητων περιοχών, αλλά με τον αποκλεισμό περιοχών βέβαιης αλλαγής. Για την απομόνωση των περιοχών αυτών λαμβάνεται υπόψη το σύνολο των εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν σύννεφο, σκιά σύννεφου και χιόνι.

Οι περιοχές που αποκλείονται από τη διαδικασία υπολογισμού των παραμέτρων της κανονικοποίησης, προκύπτουν μέσω της συνοδευτικής εικόνας *cfmask* της κάθε σκηνής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν επηρεάζεται το αποτέλεσμα από εσφαλμένες αναγνωρίσεις στη *cfmask*, διότι τα εσφαλμένως αποκλειόμενα εικονοστοιχεία αποτελούν μικρό ποσοστό της κάθε εικόνας, δεδομένου ότι έχει γίνει επιλογή εικόνων με ελάχιστη νεφοκάλυψη.

Για την εφαρμογή της σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης μέσω της απλής γραμμικής παλινδρόμησης επιλέγεται αρχικά μία εικόνα ως εικόνα αναφοράς. Ως εικόνα αναφοράς επιλέχθηκε η λήψη του Landsat 8 την 31/07/2014 (LC81820362014212), ως η πιο 'καθαρή' εικόνα του συνόλου των δεδομένων. Δεν χρησιμοποιήθηκε ως εικόνα αναφοράς μία εκ των επιλεγμένων προς ταξινόμηση εικόνων, σε μία προσπάθεια ομοιογενούς επεξεργασίας των

τελευταίων. Στο διάγραμμα 4-1 φαίνεται η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε για την κανονικοποίηση των εικόνων για κάθε κανάλι.



Διάγραμμα 4-1: Διάγραμμα ροής σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης.

Οι υπολογισμοί των παραμέτρων έγιναν με το εργαλείο r.regression.line του λογισμικού GRASS GIS v.7.0.5. Το συγκεκριμένο εργαλείο δέχεται σαν είσοδο το κάθε κανάλι της εικόνας αναφοράς και το αντίστοιχο της προς κανονικοποίηση εικόνας. Η αντιστοίχιση των καναλιών παρουσιάζεται στον πίνακα **4-2**.

Κανάλι εικόνας αναφοράς (LC81820362014212LGN00)	Κανάλι εικόνας Landsat 4, 5 και 7	Κανάλι εικόνας Landsat 8
1		1
2	1	2
3	2	3
4	3	4
5	4	5
6	5	6
7	7	7

Πίνακας 4-2: Φασματική αντιστοίχιση καναλιών δορυφόρων Landsat.

Έπειτα υπολογίζονται οι συντελεστές a (offset) και b (gain) για τους οποίους:

$$Y = a + b * X$$

, όπου Y το κανάλι της εικόνας αναφοράς και X το αντίστοιχο κανάλι της προς κανονικοποίηση εικόνας.

Οι συντελεστές της κανονικοποίησης υπολογίζονται ως εξής (<https://github.com/GRASS-GIS/grass-ci/tree/master/raster/r.regression.line>):

$$a = \bar{Y} - b * \bar{X}$$

και

$$b = \frac{\sum XY - \frac{\sum X * \sum Y}{count}}{\sum \sqrt{X} - \frac{\sum X * \sum X}{count}}$$

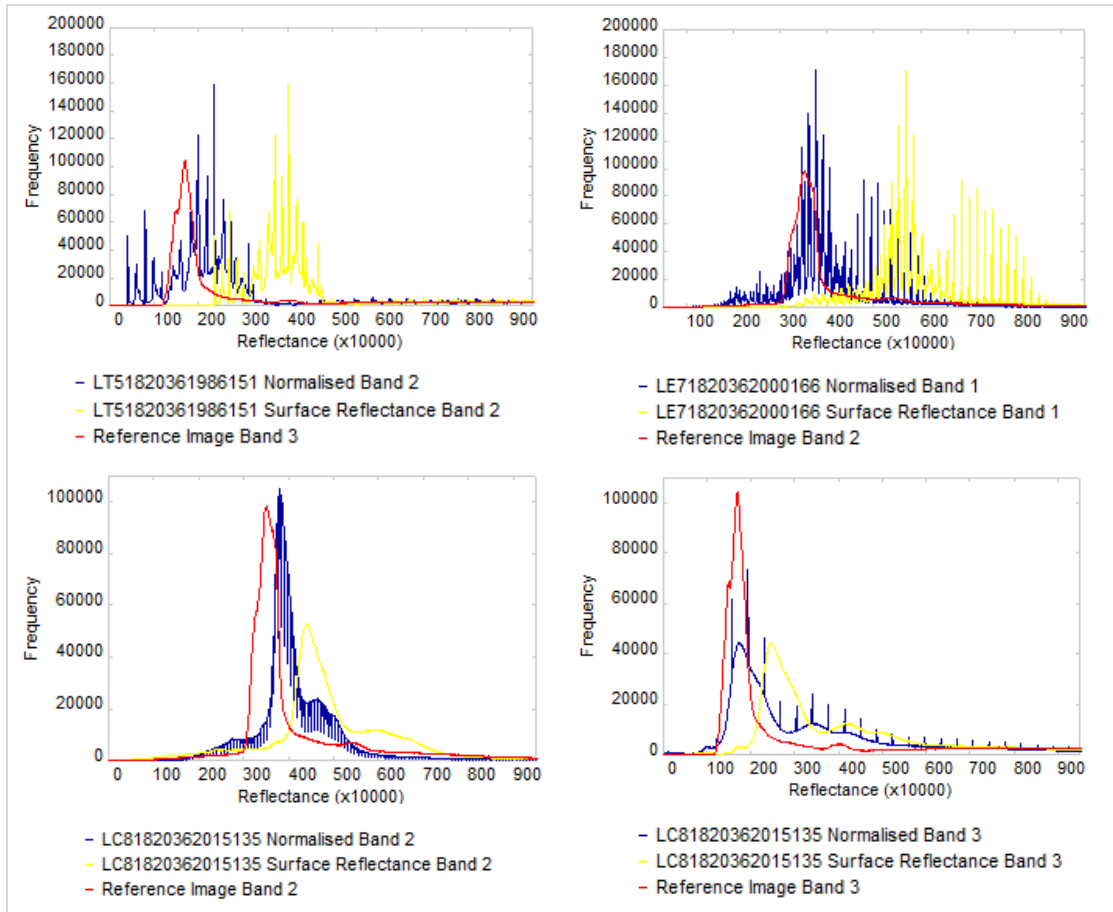
Και τέλος, εφαρμόζονται οι συντελεστές που υπολογίστηκαν στο κάθε εικονοστοιχείο του προς κανονικοποίηση καναλιού, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$X' = a + b * X$$

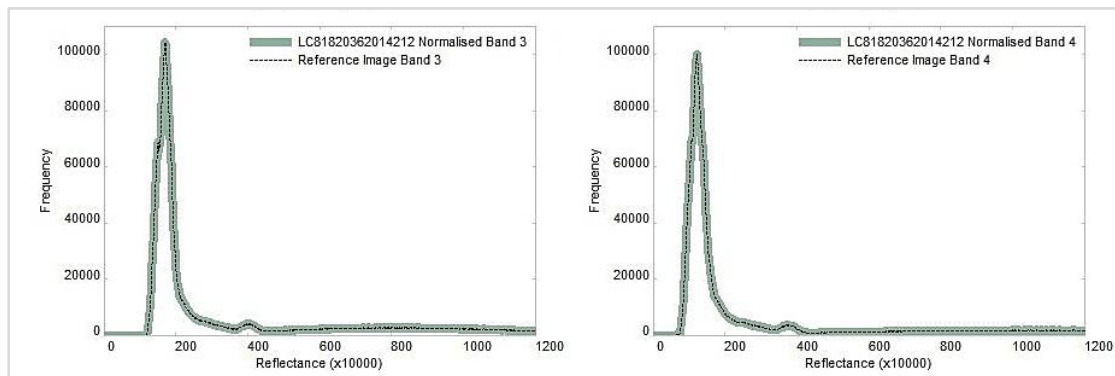
, όπου X' η κανονικοποιημένη τιμή του εικονοστοιχείου και X η αρχική.

4.2.3. Έλεγχος αποτελέσματος σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης

Το αναμενόμενο αποτέλεσμα από την παραπάνω διαδικασία είναι η μετατόπιση του ιστογράμματος του κάθε καναλιού των υπό επεξεργασία εικόνων προς το ιστογράμμα του αντίστοιχου καναλιού της εικόνας αναφοράς. Δεν επιδιώκεται τα ιστογράμματα να συμπίπτουν μιας και απεικονίζουν διαφοροποιημένες καλύψεις γης, είτε λόγω εποχικότητας είτε λόγω διαχρονικών αλλαγών. Με την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου με προς επεξεργασία εικόνα την ίδια την εικόνα αναφοράς αναμένεται απόλυτη σύμπτωση των ιστογραμμάτων. Στο **διάγραμμα 4-2** παρουσιάζονται κάποια ιστογράμματα ενδεικτικών καναλιών και στο **διάγραμμα 4-3** η περίπτωση της χρήσης της εικόνας αναφοράς ως εικόνας προς κανονικοποίηση. Η τελευταία παρουσιάζεται για την επικύρωση των αποτελεσμάτων.



Διάγραμμα 4-2: Σύγκριση ιστογραμμάτων εικόνας αναφοράς, αρχικής εικόνας και κανονικοποιημένης για ενδεικτικά κανάλια.



Διάγραμμα 4-3: Ιστογράμματα ενδεικτικών καναλιών της εικόνας αναφοράς και της κανονικοποιημένης εικόνας αναφοράς.

4.3. Βελτίωση Χωρικής Ανάλυσης Πολυφασματικών Δεδομένων

4.3.1. Παγχρωματική όξυνση εικόνων – Pansharpening

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1.3.2: «Οι αλγόριθμοι παγχρωματικής όξυνσης συγχωνεύουν υψηλότερης χωρικής ανάλυσης παγχρωματικές με χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης πολυφασματικές εικόνες, δημιουργώντας υψηλότερης χωρικής ανάλυσης πολυφασματικές εικόνες».

Οι πλατφόρμες Landsat 4 TM, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ και Landsat 8 OLI και TIRS διαθέτουν δέκτες, οι οποίοι καταγράφουν εικόνες για φασματικό εύρος και χωρική ανάλυση, όπως φαίνεται στον πίνακα 4-3 (http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php).

Δορυφορική Πλατφόρμα	Πολυφασματικό Κανάλι	Μήκος Κύματος (μm)	Χωρική Ανάλυση (m)
Landsat 4-5 TM	1	0.45-0.52	30
	2	0.52-0.60	30
	3	0.63-0.69	30
	4	0.76-0.90	30
	5	1.55-1.75	30
	6	10.40-12.50	120 * (30)
	7	2.08-2.35	30
Landsat 7 ETM+	1	0.45-0.52	30
	2	0.52-0.60	30
	3	0.63-0.69	30
	4	0.77-0.90	30
	5	1.55-1.75	30
	6	10.40-12.50	60 * (30)
	7	2.09-2.35	30
	8	0.52-0.90	15
Landsat 8 OLI και TIRS	1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	3 - Green	0.53 - 0.59	30
	4 - Red	0.64 - 0.67	30
	5 - NIR	0.85 - 0.88	30
	6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	10 - TIRS 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
	11 - TIRS 2	11.50 - 12.51	100 * (30)

* Για τα θερμικά κανάλια οι προς διάθεση εικόνες αποτελούν προϊόν βελτιωμένης χωρικής ανάλυσης, σε σχέση με τη χωρική ανάλυση της λήψης του εκάστοτε δέκτη.

Πίνακας 4-3: Φασματικό εύρος και χωρική ανάλυση Landsat εικόνων.

Από τον πίνακα 4-3 αντιλαμβανόμαστε ότι παγχρωματικό κανάλι για την εφαρμογή όξυνσης των πολυφασματικών, διαθέτουν οι Landsat 7 και Landsat 8. Για τον Landsat 7 υπάρχει φασματική επικάλυψη ανάμεσα στο παγχρωματικό και στα κανάλια 1, 2, 3 και 4, ενώ για τον Landsat 8 ανάμεσα στο αντίστοιχο παγχρωματικό και τα κανάλια 2, 3 και 4. Οπότε, ανάλογα με τη μέθοδο βελτίωσης της χωρικής ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθεί, υπάρχει πιθανότητα αλλοίωσης των φασματικών χαρακτηριστικών των μη επικαλυπτόμενων στα μήκη κύματος του φάσματος, με το παγχρωματικό κανάλι, καναλιών.

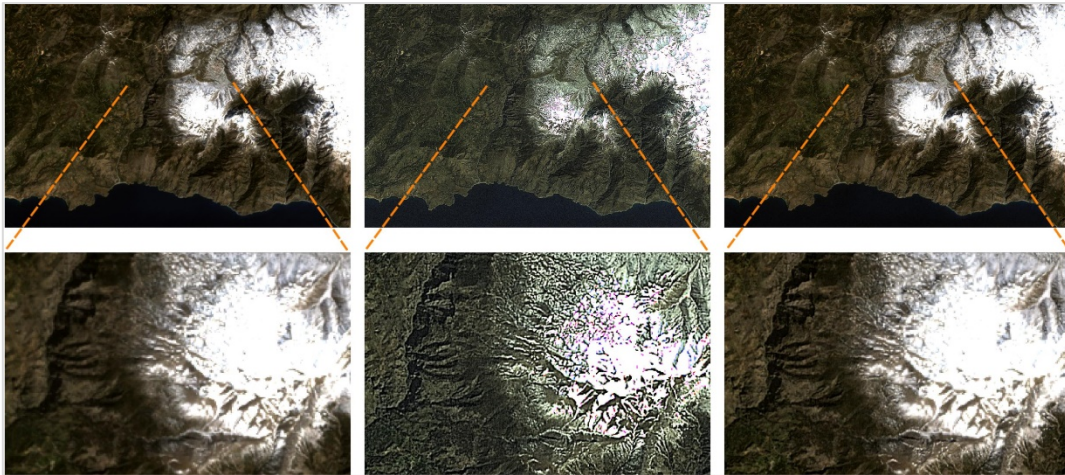
Για την επιλογή της μεθόδου παγχρωματικής όξυνσης που θα εφαρμοστεί, τα κριτήρια που λήφθηκαν υπόψη είναι αυτά της ελάχιστης φασματικής και χωρικής αλλοίωσης. Από τις διάφορες μεθόδους παγχρωματικής όξυνσης που υπάρχουν στη βιβλιογραφία, επιλέχθηκε

η High Pass Filter Additive (HPFA), η οποία περιγράφηκε στο κεφάλαιο 1.3.2. Η HPFA είναι μία μέθοδος συγχώνευσης εικόνων, η οποία εισάγει στοιχεία δομής και υφής από την παγχρωματική εικόνα στις πολυφασματικές, διατηρώντας με αυτό τον τρόπο σε μεγάλο βαθμό τα φασματικά τους χαρακτηριστικά και ταυτόχρονα βελτιώνοντας τα χωρικά. Πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου αποτελεί και η απλότητά της. Η λειτουργία της βασίζεται στην προσθήκη των πληροφοριών υψηλών συχνοτήτων από την παγχρωματική στις πολυφασματικές εικόνες ([Gangkofner et al., 2008](#)).

Η εφαρμογή της HPFA βασίστηκε κυρίως στον αλγόριθμο του Νίκου Αλεξανδρή και Παναγιώτη Μαυρογιώργου (<https://github.com/NikosAlexandris/i.fusion.hpf>). Έπειτα από μία πρώτη εφαρμογή του συγκεκριμένου αλγόριθμου προέκυψαν πολύ καλά αποτελέσματα για τις «καθαρές» εικόνες, αλλά χαμηλότερης ποιότητας για εκείνες που απεικονίζουν χιόνι ή/και σύννεφα. Λόγω της επιλογής εικόνων με ελάχιστο ποσοστό νεφοκάλυψης οι αλλοιώσεις εμφανίζονται κυρίως λόγω του χιονιού. Το πρόβλημα προκύπτει από τις πολύ υψηλές τιμές ανακλαστικότητας του χιονιού σε κάποια κανάλια, ακόμα και saturation του δέκτη, σε σχέση με εκείνες της υπόλοιπης εικόνας. Και αυτό συμβαίνει λόγω της εξάρτησης των υπολογισμών από την τυπική απόκλιση του κάθε καναλιού ([Gangkofner et al., 2008](#)).

Για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων αποκλείστηκαν από τη διαδικασία της παγχρωματικής όξυνσης η πλειοψηφία των εικονοστοιχείων τα οποία απεικονίζουν χιόνι. Η εξαίρεση των συγκεκριμένων εικονοστοιχείων δεν χρειάζεται να είναι απόλυτη, αλλά σε τέτοιο βαθμό, ώστε τα εικονοστοιχεία χιονιού που θα παραμείνουν να μην επηρεάζουν σημαντικά την τυπική απόκλιση των τιμών ανακλαστικότητας της εικόνας. Ο χονδροειδής αποκλεισμός των εικονοστοιχείων χιονιού έγινε με κριτήριο την τιμή ανακλαστικότητας στο κανάλι 2 του Landsat 7 και στο κανάλι 3 του Landsat 8. Εικονοστοιχεία με τιμή ανακλαστικότητας άνω του 3000 αποκλείστηκαν από τη διαδικασία παγχρωματικής όξυνσης. Τα κενά στις εικόνες που προέκυψαν έλαβαν τις αρχικές τιμές από τα αντίστοιχα εικονοστοιχεία των αντίστοιχων πολυφασματικών καναλιών.

Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4-2** πριν τον αποκλεισμό των εικονοστοιχείων χιονιού από την εφαρμογή του `i.fusion.hpf` παρουσιάζεται σημαντική αλλοίωση των φασματικών χαρακτηριστικών της εικόνας. Έπειτα από την εφαρμογή του αποκλεισμού των συγκεκριμένων εικονοστοιχείων, παρουσιάζεται διατήρηση των φασματικών χαρακτηριστικών, με μειονέκτημα την μη όξυνση των αποκλεισθέντων περιοχών, οι οποίες όπως προαναφέρθηκε συμπληρώνονται εκ των υστέρων με τις αντίστοιχες τιμές των εικονοστοιχείων της αρχικής εικόνας. Το συγκεκριμένο μειονέκτημα θεωρείται δευτερεύουσας σημασίας, διότι τα λεπτομερή χαρακτηριστικά των περιοχών με χιονοκάλυψη δεν εξετάζονται στην παρούσα μελέτη.



Εικόνα 4-2α Αρχική εικόνα

Εικόνα 4-2β Εφαρμογή του i.fusion.hpf

Εικόνα 4-2γ Εφαρμογή του τροποποιημένου i.fusion.hpf

Εικόνα 4-2: Σύγκριση αποσπάσματος εικόνας LE71820362000086 πριν και μετά την εφαρμογή του i.fusion.hpf.

Μία δεύτερη επέμβαση στον αρχικό αλγόριθμο i.fusion.hpf αφορά τη μέθοδο αναδόμησης (resampling) των εικονοστοιχείων των πολυφασματικών εικόνων στο μέγεθος των εικονοστοιχείων της παγχρωματικής. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τη μέθοδο της διγραμμικής παρεμβολής. Σύμφωνα με τους [Zhang και Roy \(2016\)](#) η μέθοδος η οποία προτείνεται ως βέλτιστη για την εφαρμογή παγχρωματικής όξυνσης είναι αυτή της δικυβικής παρεμβολής, οπότε, ο αρχικός κώδικας τροποποιήθηκε ανάλογα.

4.3.2. Έλεγχος αποτελέσματος παγχρωματικής όξυνσης

Στην **εικόνα 4-3** α και β παρουσιάζεται ενδεικτικό απόσπασμα εικόνας πριν και μετά την εφαρμογή παγχρωματικής όξυνσης των εικόνων με το τροποποιημένο εργαλείο i.fusion.hpf.

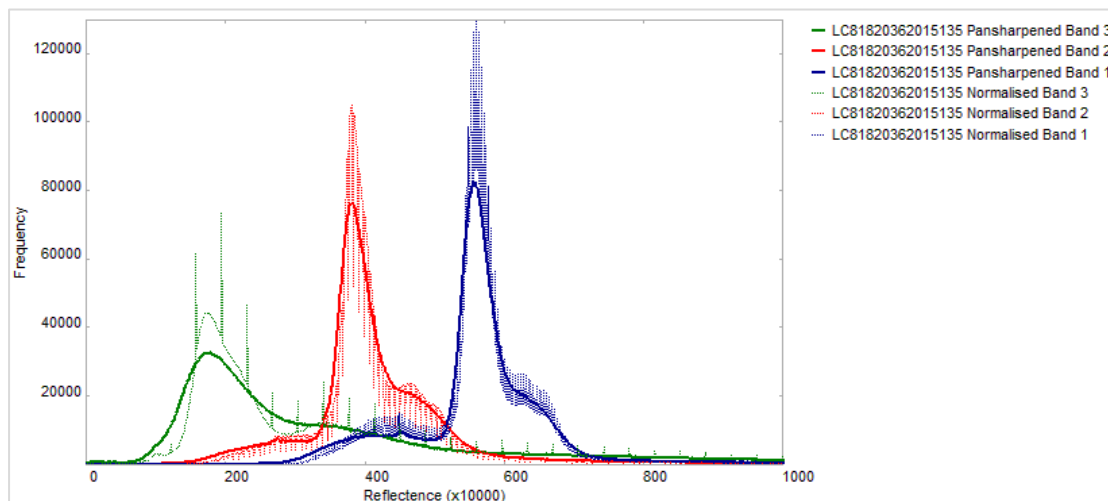


Εικόνα 4-3α πριν

Εικόνα 4-3β μετά

Εικόνα 4-3: Απόσπασμα δορυφορικής εικόνας LE71820362000246 πριν (**Εικόνα 4-3α**) και μετά (**Εικόνα 4-3β**) την εφαρμογή του τροποποιημένου i.fusion.hpf.

Στην **Εικόνα 4-4** παρουσιάζονται κάποια συγκριτικά ιστογράμματα ανάμεσα στην αρχική και την οξυμένη εικόνα LC81820362015135, για ενδεικτικά κανάλια. Παρατηρούμε ότι δεν εμφανίζεται μετατόπιση των ιστογραμμάτων, οπότε υπάρχει διατήρηση των φασματικών χαρακτηριστικών.



Εικόνα 4-4 Συγκριτικά ιστογράμματα πριν και μετά την παγχρωματική όξυνση.

4.3.3. Βελτίωση χωρικής ανάλυσης για τις εικόνες Landsat 4 και 5

Δεδομένης της απουσίας παγχρωματικού καναλιού στους δέκτες Landsat 4 και 5 η παγχρωματική όξυνση δεν είναι δυνατή, αλλά λόγω της ανάγκης κοινής χωρικής ανάλυσης για το σύνολο των δεδομένων, στις συγκεκριμένες εικόνες εφαρμόστηκε δικυβική παρεμβολή, με την παραγόμενη εικόνα να έχει μέγεθος εικονοστοιχείου 15m x 15m. Ενδεικτικό αποτέλεσμα της συγκεκριμένης επεξεργασίας παρουσιάζεται στην **εικόνα 4-5**. Όπως φαίνεται στην **εικόνα 4-5** η δικυβική παρεμβολή επηρεάζει σε μικρό βαθμό την ευκρίνεια της εικόνας, σε σχέση με την παγχρωματική όξυνση στην **εικόνα 4-3**.



Εικόνα 4-5α

Εικόνα 4-5β

Εικόνα 4-5: Δορυφορική εικόνα LT51820361987202, πριν (Εικόνα 4-5α) και μετά (Εικόνα 4-5β) την εφαρμογή κυβικής παρεμβολής.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΩΝ

5.1. Κατηγορίες Κάλυψης Γης

Για την επιλογή των κατηγοριών, βάσει των οποίων θα πραγματοποιηθεί η ταξινόμηση της περιοχής μελέτης, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν οι κατηγορίες κάλυψης γης, οι οποίες ανήκουν στην ονοματολογία του Corine Land Cover (CLC) στο επίπεδο 3 (<http://uls.eionet.europa.eu/CLC2000/classes/index.html>). Αρχικά, πραγματοποιήθηκε φωτοερμηνευτική αναγνώριση των διαφόρων καλύψεων της περιοχής με χρήση του προγράμματος Google Earth, μελέτη των Corine Land Cover 1990, 2000 και 2012 (<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>), καθώς και γενική διαδικτυακή έρευνα, κυρίως για τον προσδιορισμό των ειδών χλωρίδας που συναντώνται στην περιοχή μελέτης.

Έπειτα, πραγματοποιήθηκε διαλογή των κατηγοριών του Corine Land Cover, σε εκείνες που αντιπροσωπεύουν καλύψεις και σε εκείνες που αντιπροσωπεύουν χρήσεις γης. Σύμφωνα με τον [Fisher et al. \(2005\)](#) «Η κάλυψη γης αντιπροσωπεύει το φυσικό υλικό στην επιφάνεια της Γης. Αποτελεί το υλικό που επιδρά απευθείας με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και καθορίζει το επίπεδο ανακλώμενης ενέργειας το οποίο παρατηρούμε ως ψηφιακή τιμή σε κάθε εικονοστοιχείο μίας αεροφωτογραφίας ή μίας δορυφορικής εικόνας... Η χρήση γης, αντίθετα, αποτελεί μία περιγραφή σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τη γη... Ακόμη και με χειροκίνητη ερμηνεία, το εύρος των διαφορετικών χρήσεων γης είναι δύσκολο να ερμηνευθούν, είναι όμως δυνατή η αναγνώριση των φασματικά διαχωρίσιμων κατηγοριών κάλυψης γης».

Οι κατηγορίες οι οποίες αντιπροσωπεύουν χρήση γης δεν εξετάζονται στην παρούσα εργασία. Τέλος, από τις κατηγορίες κάλυψης γης διαχωρίστηκαν εκείνες οι οποίες συναντώνται στην περιοχή σύμφωνα με την αρχική μελέτη της.

Οι τελικές κατηγορίες, βάσει των οποίων θα πραγματοποιηθεί ταξινόμηση παρουσιάζονται στον πίνακα 5-1. Για τις κατηγορίες αυτές έχουν γίνει και κάποιες επιπλέον παραδοχές για τη διευκόλυνση της ταξινόμησης, καθώς και γενικεύσεις φασματικά κοντινών και γενικά δύσκολα διαχωρίσιμων κατηγοριών, οι οποίες επίσης καταγράφονται στον πίνακα 5-1. Η αρίθμηση η οποία έχει δοθεί μπορεί να αντιστοιχηθεί συμβατικά με την ονοματολογία του Corine Land Cover, παρόλο που οι κατηγορίες, λόγω των παραδοχών και των γενικεύσεων δεν ταυτίζονται απόλυτα. Τέλος, προστέθηκε η κατηγορία «525-Χιόνι», για την ορθή ταξινόμηση των περιοχών με χιονοκάλυψη.

Σημειώνεται ότι κατά την επιλογή των κατηγοριών, σύμφωνα με τις οποίες θα πραγματοποιηθεί η ταξινόμηση της περιοχής μελέτης, δεν συμπεριλήφθηκε η κατηγορία της θάλασσας. Το τμήμα που περιλαμβάνει θάλασσα αποκόπτεται από τις ταξινομήσεις στα όρια της ακτογραμμής, σύμφωνα με τα όρια των πολυγώνων των νομών της Κρήτης του

Οργανισμού Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος (Ο.Κ.Χ.Ε.)
(<http://geodata.gov.gr/dataset/oria-nomon-okkhe>).

Κατηγορία	Παραδοχές
112 - Δόμηση	Στο CLC αναφέρεται ως «Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση». Για τη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιείται για το σύνολο των ανθρώπινων κατασκευών.
211 - Θερμοκήπια	Στο CLC αναφέρεται ως «Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη», συμπεριλαμβάνοντας καλλιέργειες σε θερμοκήπια. Για τη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιείται αποκλειστικά για καλλιέργειες σε θερμοκήπια.
223 - Ελαιώνες	-
242 - Σύνθ. Συστ. Καλλιέργειας	Για τη συγκεκριμένη μελέτη συμπεριλαμβάνει το σύνολο των μη δενδρωδών καλλιεργειών.
311 - Πλατύφυλλα	-
312 - Κωνοφόρα	-
321 - Φυσικοί Βοσκότοποι	Συμπεριλαμβάνει και τις θαμνώδεις εκτάσεις και χερσότοπους, καθώς και τις εκτάσεις με αραιή βλάστηση, δηλαδή τις κατηγορίες 322 και 333 του CLC.
323 - Σκληροφυλλική Βλάστηση	-
331 - Παραλίες/ Αμμόλοφοι	-
512 - Συλλογές Υδάτων	-
525 - Χιόνι	Μόνο περιοχές με πυκνή χιονοκάλυψη.

Πίνακας 5-1: Κατηγορίες βάσει των οποίων θα πραγματοποιηθεί ταξινόμηση της περιοχής μελέτης.

Η συγκεκριμένη τακτική έχει ως σκοπό την αποφυγή σφαλμάτων στις ταξινομήσεις, λόγω αναγνώρισης εικονοστοιχείων θάλασσας στο ηπειρωτικό τμήμα της περιοχής μελέτης και αντίστροφα. Άλλωστε, η κάλυψη της θάλασσας μπορεί να προκύψει αυτόματα από την περιοχή η οποία βρίσκεται εκτός των πολυγώνων των νομών.

5.2. Επιλογή Περιοχών Εκπαίδευσης

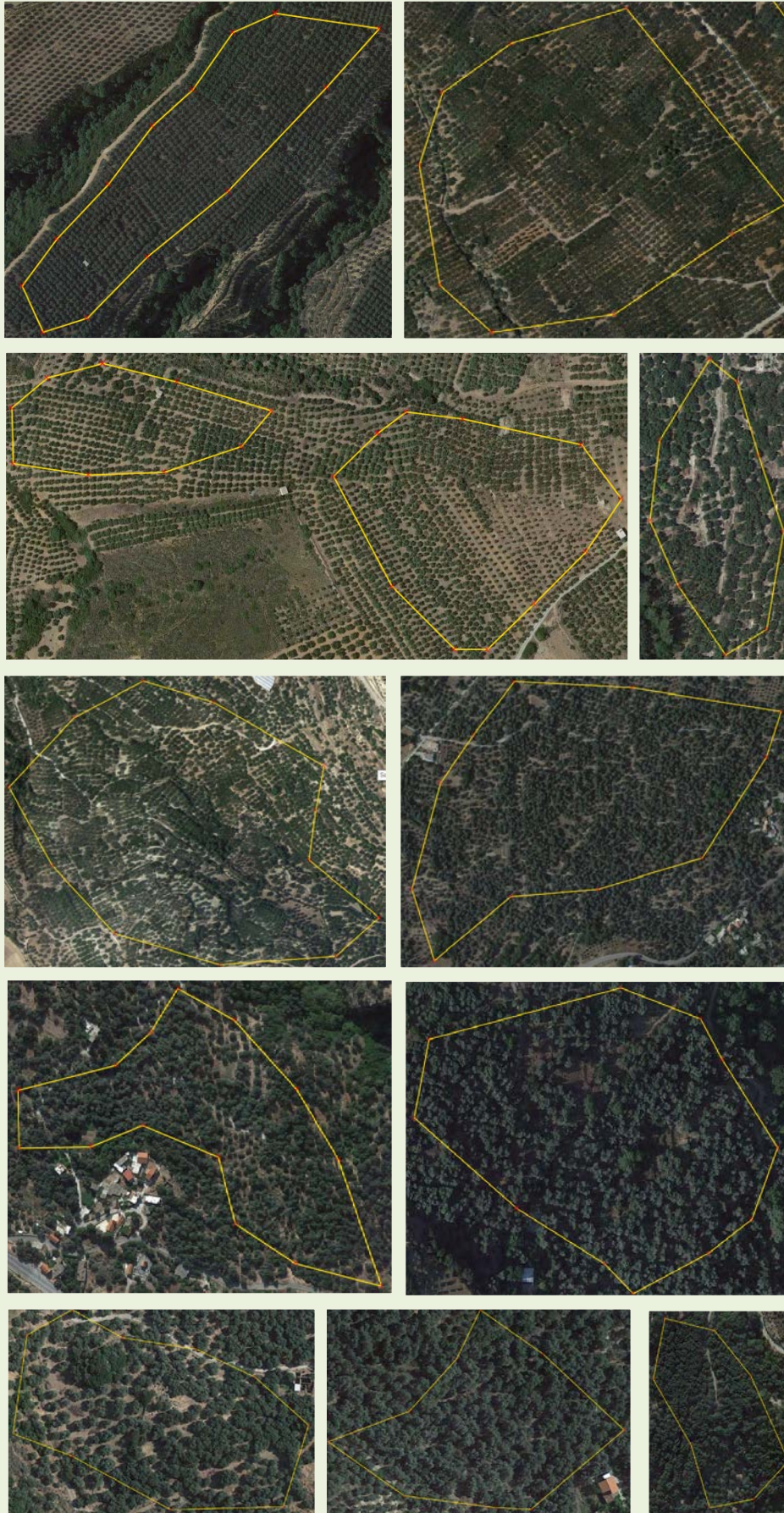
5.2.1. Επιλογή περιοχών εκπαίδευσης για την περίοδο 2015-2016

Σε πρώτο στάδιο επιλέχθηκαν οι περιοχές εκπαίδευσης με βάση τις δορυφορικές εικόνες της περιόδου 2015-2016. Γενικά, η εύρεση περιοχών εκπαίδευσης για πρόσφατα έτη αποτελεί απλούστερη διαδικασία, λόγω της ύπαρξης υψηλής χωρικής ανάλυσης ελεύθερων δεδομένων, καθώς και πληθώρας δεδομένων στο διαδίκτυο, σε σχέση με την αντίστοιχη διαδικασία για προηγούμενα έτη, πόσο μάλλον για προηγούμενες δεκαετίες.

Ο σχεδιασμός των περιοχών εκπαίδευσης πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό QGIS v.2.18.0. Η αξιοπιστία της επιλογής των περιοχών για τις τρεις πολυφασματικές εικόνες της περιόδου 2015-2016, ενισχύθηκε με υπέρθεση των επιπέδων της δορυφορικής απεικόνισης του Google Satellite, μέσω του OpenLayers Plugin (<http://hub.qgis.org/projects/openlayers/wiki>) και του πιο πρόσφατου CLC, αυτού του 2012. Παραδείγματα περιοχών εκπαίδευσης παρουσιάζονται στον πίνακα 5-2.



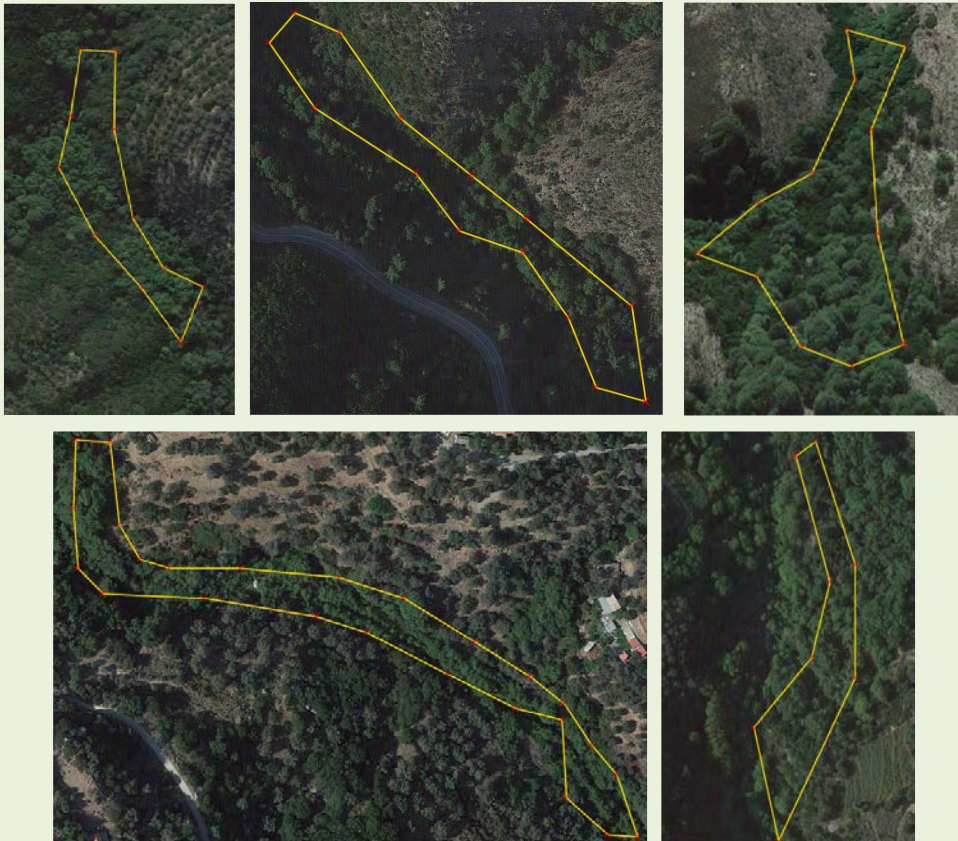
223 - Ελαιώνες

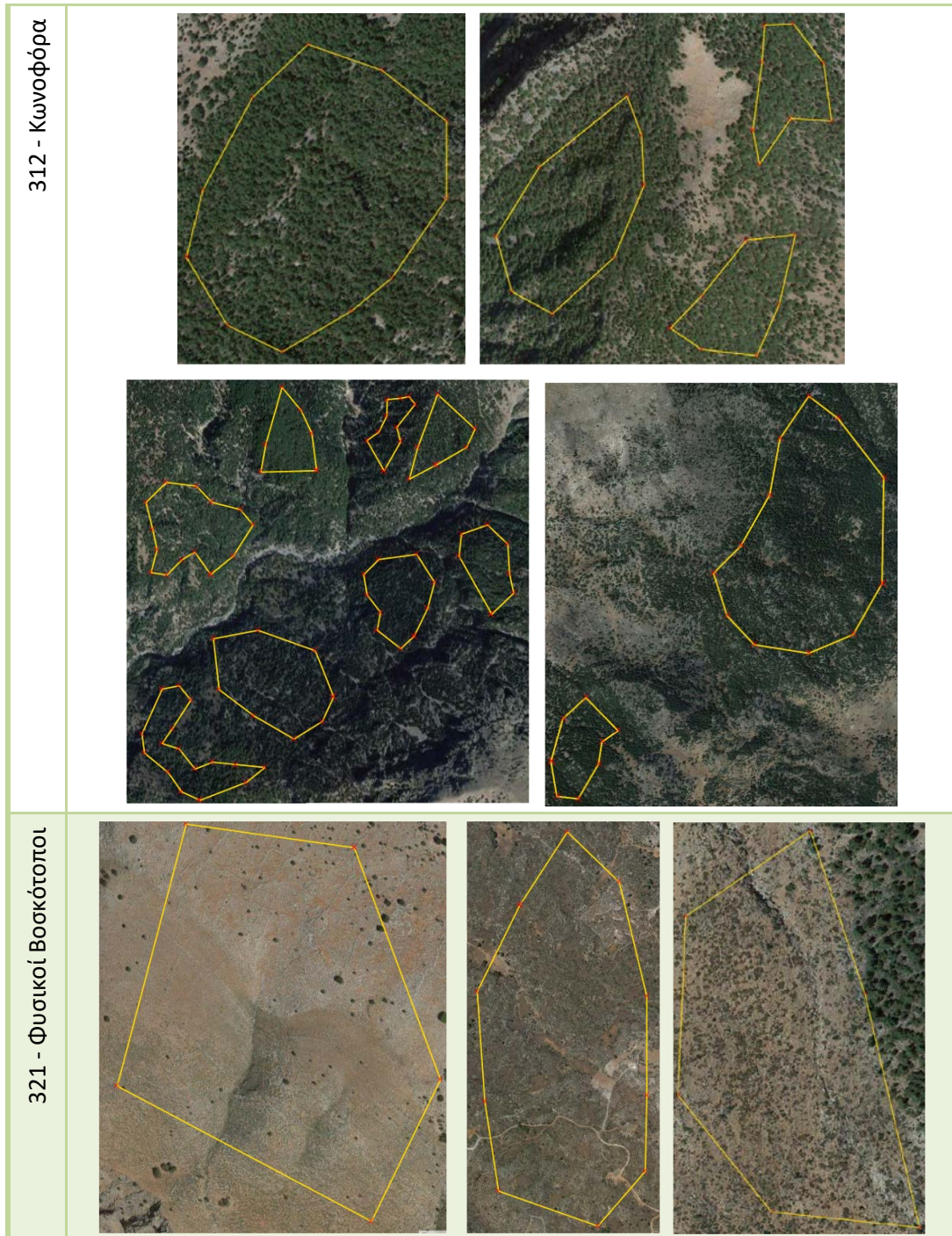


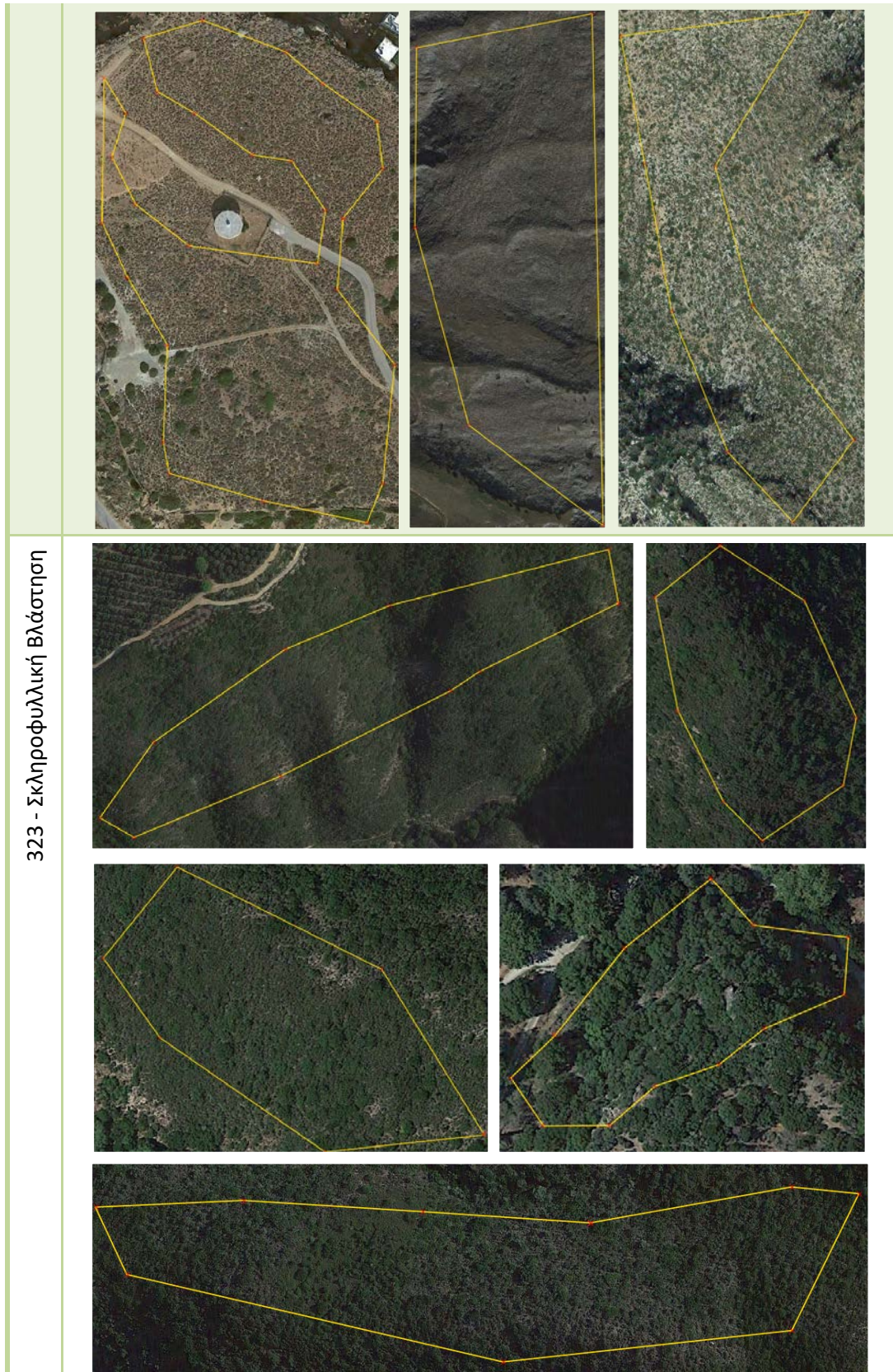
242 - Σύνθ. Συστ. Καλλιέργειας





311 - Πλατύφυλλα







	
<p>331 - Παραλίες/ Αμμόλοφοι</p>	
<p>512 - Συλλογές Υδάτων</p>	
<p>525 - Χιόνι</p>	

Πίνακας 5-2: Παραδείγματα περιοχών εκπαίδευσης ανά κατηγορία.

Τα αποτελέσματα της επιλογής περιοχών εκπαίδευσης παρουσιάζονται στον πίνακα 5-3.

Κατηγορία	Πλήθος Πολυγώνων	Μέσο Εμβαδό Πολυγώνων (km ²)	Συνολικό Εμβαδό Πολυγώνων (km ²)
112 - Δόμηση	106	0.019	2.035
211 - Θερμοκήπια	24	0.023	0.545
223 - Ελαιώνες	146	0.038	5.589
242 - Σύνθ. Συστ. Καλλιέργειας	16	0.495	7.922
311 - Πλατύφυλλα	50	0.013	0.664
312 - Κωνοφόρα	60	0.063	3.808
321 - Φυσικοί Βοσκότοποι	174	0.167	29.039
323 - Σκληροφυλλική Βλάστηση	127	0.031	3.891
331 - Παραλίες/ Αμμόλοφοι	13	0.009	0.122
512 - Συλλογές Υδάτων	5	0.071	0.357
525 - Χιόνι	5	1.414	7.068
Σύνολο	726	0.084	61.041

Πίνακας 5-3: Αποτελέσματα επιλογής περιοχών εκπαίδευσης για την περίοδο 2015-2016.

5.2.2. Σύγκριση ποσοστιαίας κατανομής περιοχών εκπαίδευσης για περίοδο 2015-2016 με καλύψεις CLC

Σε αυτό το σημείο θεωρήθηκε χρήσιμο να πραγματοποιηθεί ένας έλεγχος της κατανομής των περιοχών εκπαίδευσης. Κατά την ψηφιοποίηση έγινε προσπάθεια να είναι χωρικά διεσπαρμένες σε όλη την περιοχή μελέτης. Στατιστικά θεωρείται ότι αυξάνεται ο βαθμός αξιοπιστίας, εάν και ποσοστιαία ακολουθούν τις πραγματικές καλύψεις. Για το συγκεκριμένο έλεγχο χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα του CLC 2012, ως το κοντινότερο χρονικά στην περίοδο μελέτης 2015-2016. Λόγω του γεγονότος της μη σύμπτωσης των επιλεγθέντων, προς ταξινόμηση κατηγοριών, με εκείνες του CLC, έγινε επανακατηγοριοποίηση και των δύο στο επίπεδο 1 του CLC, στο οποίο και υπάρχει εννοιολογική σύμπτωση. Για το επίπεδο των περιοχών εκπαίδευσης, η κατηγορία «525-Χιόνι» συμπεριλήφθηκε στο ποσοστό της κατηγορίας «3-Δασικές/Ημιφυσικές Περιοχές». Αφού αποκόπηκαν, για το επίπεδο του CLC, οι περιοχές εκτός των ορίων των δορυφορικών εικόνων της περιόδου 2015-2016, υπολογίστηκαν τα ποσοστά κάλυψης του επιπέδου των περιοχών εκπαίδευσης και του εκείνου του CLC. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5-4. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν αποκλίσεις, η τάξη μεγέθους των οποίων, όμως, δεν θεωρείται ότι θα επηρεάσει σημαντικά την ταξινόμηση.

Κατηγορία (Επίπεδο 1 CLC)	Ποσοστό % Εμβαδού Περιοχών Εκπαίδευσης	Ποσοστό % Εμβαδού κατά CLC 2012
1-Τεχνητές Επιφάνειες	3.33	1.41
2-Γεωργικές Περιοχές	23.03	32.21
3-Δασικές/Ημιφυσικές Περιοχές	73.05	66.33
5-Υδάτινα Συστήματα	0.59	0.05
Σύνολο	100	100

Πίνακας 5-4: Ποσοστά εμβαδού έπειτα από επανακατηγοριοποίηση στο επίπεδο 1 του CLC.

5.2.3. Παρατηρήσεις σχετικά με τον εντοπισμό περιοχών εκπαίδευσης

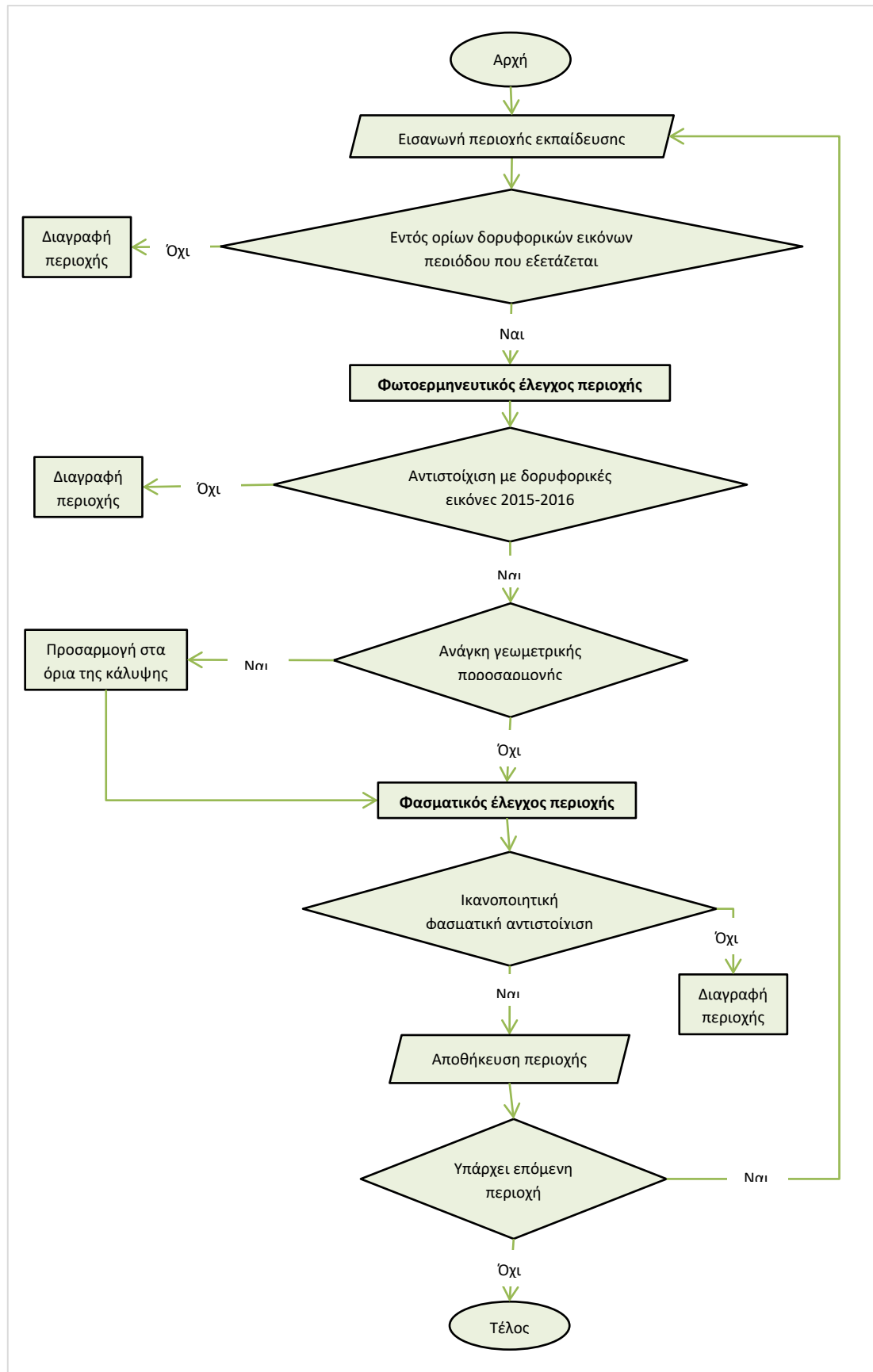
Γενικά, το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης, όπως καταγράφηκε και στο κεφάλαιο 2.2.3, είναι απότομο, με συνεχείς εναλλαγές κλίσης, γεγονός που αντικατοπτρίζεται στις καλύψεις γης. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα της παραπάνω παρατήρησης, έχοντας ακανόνιστο σχήμα και ποικίλο, γενικά μικρό, μέγεθος. Στο ηπειρωτικό τμήμα της περιοχής, λόγω αναγλύφου, επικρατούν οι ελαιώνες ως κυρίαρχη, σχεδόν αποκλειστική, καλλιέργεια. Στο τμήμα αυτό ο εντοπισμός «καθαρών» περιοχών εκπαίδευσης για τη συγκεκριμένη κατηγορία παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία, λόγω των ακανόνιστων σχημάτων, των μικρών «καθαρών» εκτάσεων, της συνύπαρξης «άγριας» βλάστησης, των διαφορετικών ποικιλιών ελαιόδεντρων, καθώς και των πολλαπλών μοτίβων φύτευσης και κλαδέματος που συναντώνται στην περιοχή. Στον πίνακα 5-2 παρουσιάζονται διάφορα παραδείγματα περιοχών εκπαίδευσης της συγκεκριμένης κατηγορίας, στα οποία αντικατοπτρίζονται τα παραπάνω προβλήματα.

Αντίστοιχα, για την κατηγορία «112-Δόμηση», οι οικισμοί της περιοχής μελέτης, ειδικά στο ηπειρωτικό τμήμα, είναι διάσπαρτοι και μικρής έκτασης. Οπότε, οι περιοχές εκπαίδευσης που επιλέχθηκαν, λόγω του γεγονότος της αναγκαιότητας τροφοδότησης του ταξινομητή με επαρκές πλήθος εικονοστοιχείων, που θα αντιστοιχούν σε όλο το φασματικό εύρος της συγκεκριμένης κατηγορίας (διαφορετικά υλικά δόμησης, διαφορετική πυκνότητα οικισμού), είναι πολλές σε πλήθος, αλλά, κατά πλειοψηφία, με έκταση λίγων εικονοστοιχείων.

5.2.4. Επιλογή περιοχών εκπαίδευσης για περιόδους 1987-1988 και 2000

Ακόμα και έπειτα από τη βελτίωση της χωρικής ανάλυσης των προς ταξινόμηση εικόνων, όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4.3, δεν είναι δυνατός ο απόλυτος φωτοερμηνευτικός διαχωρισμός κάποιων κατηγοριών κάλυψης γης, ειδικά για τις κατηγορίες που αφορούν βλάστηση. Η απουσία ελεύθερων δορυφορικών δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης, για προηγούμενες δεκαετίες, καθιστά περίπλοκη τη διαδικασία επιλογής περιοχών εκπαίδευσης, επηρεάζοντας την αξιοπιστία αυτών. Λόγω της χαμηλής χωρικής ανάλυσης και ελάχιστης χαρτογραφικής μονάδας (Minimum Mapping Unit – MMU), των 100m και 0.25km² αντίστοιχα, το CLC μπορεί να λειτουργήσει μόνο υποστηρικτικά. (<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>) Επίσης, άλλα δεδομένα με χωρική αναφορά, όχι δηλαδή στατιστικά δεδομένα, όπως θεματικοί χάρτες, συχνά δεν υπάρχουν, ή υπάρχουν για τμήματα περιοχών, ή δεν διατίθενται δημόσια, αλλά και όταν υπάρχουν, η αξιοπιστία τους είναι δύσκολο να ελεγχθεί.

Για να αντιμετωπιστούν, κατά το δυνατόν, τα παραπάνω εμπόδια αναπτύχθηκε η μεθοδολογία, η οποία παρουσιάζεται στο **διάγραμμα 5-1**. Ουσιαστικά, μέσω της επιλογής περιοχών εκπαίδευσης για την περίοδο 2015-2016, κατασκευάστηκε ένας αξιόπιστος θεματικός χάρτης για μικρά, όμως τμήματα της περιοχής. Με βάση λοιπόν αυτόν θα δημιουργηθούν οι περιοχές εκπαίδευσης για τις προηγούμενες περιόδους μελέτης.



Διάγραμμα 5-1: Διάγραμμα ροής επιλογής περιοχών εκπαίδευσης.

Κάθε περιοχή μελέτης της περιόδου 2015-2016 έχει τρεις εναλλακτικές ως προς την κάλυψή της για τις προηγούμενες περιόδους: (α) αλλαγή κάλυψης σε όλη την περιοχή, (β) διατήρηση κάλυψης σε όλη την περιοχή, (γ) διατήρηση κάλυψης σε τμήμα της περιοχής. Η μέθοδος, η οποία εφαρμόστηκε, χρησιμοποιεί δύο κριτήρια για την αναγνώριση της περίπτωσης στην οποία ανήκει η εκάστοτε περιοχή εκπαίδευσης. Τα κριτήρια αυτά είναι το φωτοερμηνευτικό και το φασματικό. Ανάλογα με την περίπτωση στην οποία ανήκει η κάθε περιοχή εφαρμόζονται οι απαραίτητες ενέργειες.

5.2.5. Παραδοχή για τις περιοχές εκπαίδευσης για περίοδο 2000

Η παραπάνω διαδικασία είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα, λόγω της ανεξάρτητης εξέτασης κάθε περιοχής μελέτης. Για το λόγο αυτό έγινε η εξής παραδοχή: Εάν μία περιοχή μελέτης παρουσιάζει όμοια κάλυψη για την περίοδο 1987-1988 και για την περίοδο 2015-2016, τότε η κάλυψη αυτή θεωρείται ότι είναι όμοια και για την ενδιάμεση περίοδο εξέτασης, εκείνη του 2000.

Η παραδοχή αυτή για την πλειοψηφία των κατηγοριών έχει υψηλή πιθανότητα ορθότητας και συγκεκριμένα για τις κατηγορίες «112-Δόμηση», «223-Ελαιώνες», «311-Πλατύφυλλα», «312-Κωνοφόρα», «331-Παραλίες/Αμμόλοφοι» και «512-Συλλογές Υδάτων». Οι κατηγορίες αυτές παρουσιάζουν υψηλή χρονική σταθερότητα. Εκείνες που αντιπροσωπεύουν βλάστηση, περιλαμβάνουν στο σύνολό τους δέντρα με απαιτούμενο χρόνο ανάπτυξης πάνω από 10 έτη. Αλλά και οι περιοχές εκπαίδευσης, οι οποίες επιλέχθηκαν για την περίοδο 2015-2016, λόγω της προϋπόθεσης να είναι «καθαρές», αντιπροσωπεύουν στην πλειοψηφία τους εκείνες τις περιοχές στις οποίες εμφανίζεται η μεγαλύτερη πυκνότητα και μέγεθος δέντρων. Όσον αφορά την κατηγορία «112-Δόμηση» είναι, εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων, βέβαιη η ύπαρξη αντίστοιχης δόμησης για την ενδιάμεση περίοδο μελέτης, εφόσον αυτή υπάρχει τόσο κατά την περίοδο 1987-1988 όσο και κατά την περίοδο 2015-2016. Όσον αφορά τις κατηγορίες «331-Παραλίες/ Αμμόλοφοι και «512-Συλλογές Υδάτων», ισχύει ό,τι και για τη δόμηση. Είναι απίθανο μία λίμνη ή μία παραλία να υπήρχε κατά την περίοδο 1987-1988 και κατά την περίοδο 2015-2016, αλλά να μην υπάρχει κατά την ενδιάμεση περίοδο του 2000.

Περιθώρια σφάλματος της παραπάνω παραδοχής εισέρχονται για τις λιγότερο «σταθερές» κατηγορίες: «211-Θερμοκήπια», «242-Σύνθ. Συστ. Καλλιέργειας», «321-Φυσικοί Βοσκότοποι», «323-Σκληροφυλλική Βλάστηση» και «525-Χιόνι». Για παράδειγμα μία έκταση σκληροφυλλικής βλάστησης κατά την περίοδο 1987-1988 είναι πιθανόν να έχει καεί τα επόμενα έτη, οπότε να κατατάσσεται στην κατηγορία «321-Φυσικοί Βοσκότοποι» το έτος 2000 λόγω χαμηλής και αραιής βλάστησης, αλλά έως το 2015-2016 να έχει αναγεννηθεί και να κατατάσσεται ξανά στην αρχική της κατηγορία. Αντίστοιχα, μια περιοχή με σύνθετες καλλιέργειες ή θερμοκήπια την περίοδο 1987-1988 υπάρχει πιθανότητα να μην εκμεταλλεύτηκε τα επόμενα έτη και να κατατάσσεται στην κατηγορία «321-Φυσικοί Βοσκότοποι» το 2000, αλλά να επανακαλλιεργήθηκε αργότερα και κατά την περίοδο 2015-2016 να κατατάσσεται ξανά στην αρχική κατηγορία.

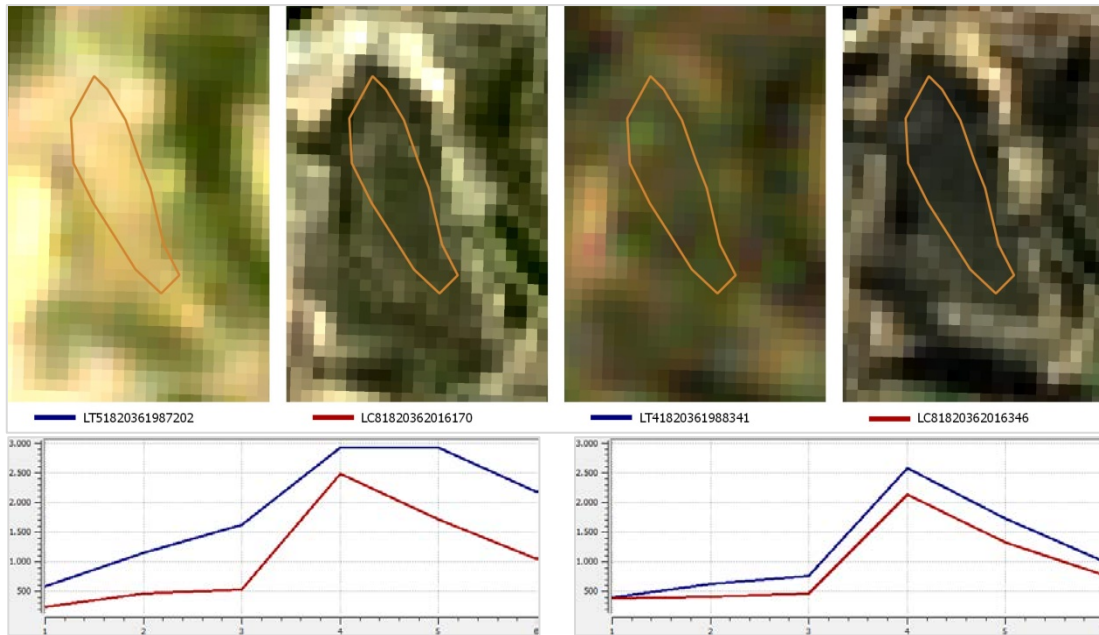
5.2.6. Διαδικασίας επιλογής περιοχών εκπαίδευσης για περίοδο 1987-1988

Αναλυτικά, για κάθε περιοχή εκπαίδευσης, αποφασίζεται η διαγραφή ή η διατήρηση-προσαρμογή της. Η εκάστοτε περιοχή διαγράφεται στην περίπτωση που βρίσκεται εκτός

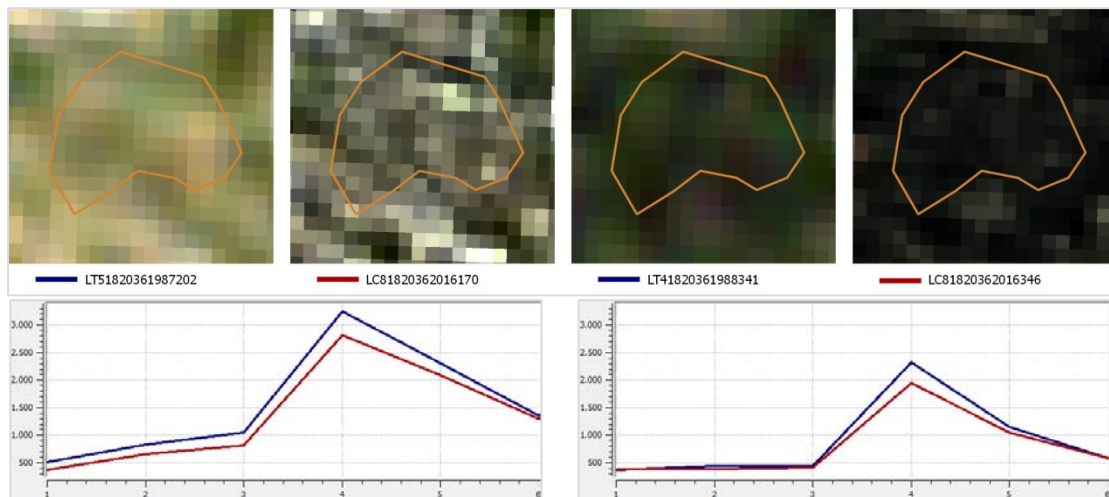
των κοινών ορίων των τριών δορυφορικών εικόνων της περιόδου μελέτης 1987-1988 ή εάν διαπιστώνεται ότι παρουσιάζει διαφορετική κάλυψη, από εκείνη η οποία αποδόθηκε στην περιοχή για την περίοδο 2015-2016. Για να διαπιστωθεί εάν παρουσιάζεται αλλαγή κάλυψης, γίνεται αρχικά φωτοερμηνευτικός έλεγχος αντιστοίχισης της κάλυψης που εμφανίζεται στην περιοχή και για τις τρεις αντιστοιχίες εικόνων, δηλαδή συγκρίνεται η εικόνα της χειμερινής εποχής της περιόδου 2015-2016, με την αντίστοιχη χειμερινής εποχής της περιόδου 1987-1988 κ.ο.κ, δεν συγκρίνονται διαφορετικές μεταξύ τους εποχές. Εάν διαπιστωθούν σημαντικές αλλαγές στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής εκπαίδευσης, θεωρείται ότι υπάρχει αλλαγή κάλυψης, και αυτή διαγράφεται. Εάν, φωτοερμηνευτικά οι περιοχή, για τα ζεύγη εικόνων των διαφορετικών περιόδων λήψης, φαίνεται αναλλοίωτη στο μεγαλύτερο τμήμα της, τότε προσαρμόζονται τα όριά της ώστε να περικλείουν μόνο το αναλλοίωτο κοινό τμήμα. Εάν η περιοχή φαίνεται αναλλοίωτη στο σύνολο της επιφάνειάς της, τότε τα όρια της διατηρούνται.

Στο σημείο αυτό εφαρμόζεται ο δεύτερος έλεγχος της υπό εξέταση περιοχής, ο φασματικός. Ελέγχεται η φασματική καμπύλη της περιοχής για κάθε ζευγάρι διαφορετικής περιόδου μελέτης και ίδιας περιόδου λήψης, για τα αντίστοιχα κανάλια των διαφορετικών δεκτών, αντιστοιχία η οποία υπάρχει στον πίνακα 4-2 του κεφαλαίου 4.2. Εάν αυτές παρουσιάζουν ταύτιση σε ικανοποιητικό επίπεδο, τότε θεωρείται ότι πρόκειται για ίδια κάλυψη και η περιοχή αποτελεί περιοχή εκπαίδευσης για την περίοδο που εξετάζεται. Σε αντίθετη περίπτωση, θεωρείται ότι υπάρχει αλλαγή κάλυψης η οποία δεν διακρίθηκε φωτοερμηνευτικά και η περιοχή διαγράφεται. Παραδείγματα σύγκρισης της φασματικής καμπύλης παρουσιάζονται στην **εικόνα 5-1**, για την περίπτωση αλλαγής κάλυψης και στην **εικόνα 5-2**, για την περίπτωση διατήρησης κάλυψης. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό QGIS v.2.18.0, μέσω του Temporal/Spectral Profile Tool (https://github.com/DHI-GRAS/Temporal_profile_tool#temporalspectral-profile-tool).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι, η σχετική ραδιομετρική κανονικοποίηση η οποία εφαρμόστηκε στις εικόνες και περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4.2, καθιστά φασματικά συγκρίσιμες της περιοχές εκπαίδευσης και αποτελεί προϋπόθεση για το συγκεκριμένο ενδιάμεσο βήμα.



Εικόνα 5-1: Φωτοερμηνευτική και φασματική σύγκριση περιοχής εκπαίδευσης. Περίπτωση αλλαγής κάλυψης και διαγραφής περιοχής εκπαίδευσης.



Εικόνα 5-2: Φωτοερμηνευτική και φασματική σύγκριση περιοχής εκπαίδευσης. Περίπτωση διατήρησης κάλυψης και αποθήκευση περιοχής εκπαίδευσης.

Ειδικά για την περίπτωση της κατηγορίας «223-Ελαιώνες», λόγω της δυσκολίας διαχωρισμού από την δενδρώδη σκληροφυλλική βλάστηση (π.χ. Πρίνος), καλύψεις οι οποίες συνυπάρχουν σε μεγάλο βαθμό στο ορεινό δυτικό τμήμα του νομού, χρησιμοποιήθηκε μία επιπλέον φωτοερμηνευτική διαδικασία. Η κάθε περιοχή εκπαίδευσης για την κατηγορία «223-Ελαιώνες» και για την περίοδο 2015-2016, ελέγχθηκε με τη βοήθεια του Google Earth, ως προς την ηλικία και τη διάταξη των δέντρων.

Ειδικά στο ορεινό δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, οι «παλιοί» ελαιώνες, αυτοί δηλαδή που υπήρχαν και κατά την περίοδο 1987-1988, έχουν ακανόνιστη διάταξη δέντρων. Το γεγονός αυτό προκύπτει από την τακτική του εμβολιασμού των αγριελιών, ώστε να μετατραπούν σε αξιοποιήσιμες αγροτικά καλλιέργειες, αντί της φύτευσης νέων δέντρων. Στις περιοχές στις οποίες έχει γίνει φύτευση, η διάταξη ακολουθεί συγκεκριμένους κανόνες και παρουσιάζει κανονικά μοτίβα.

Στην περίπτωση λοιπόν, της ύπαρξης περιοχών εκπαίδευσης στο ορεινό δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης και στην κατηγορία «223-Ελαιώνες», οι οποίες παρουσιάζουν κανονικό μοτίβο ή/και μικρά σε μέγεθος, άρα και ηλικία, δέντρα, αυτές διαγράφονταν, διότι συμπερασματικά πρόκειται για νέους ελαιώνες, άρα υψηλή πιθανότητα αλλαγής κάλυψης, και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως περιοχές εκπαίδευσης για προηγούμενες περιόδους μελέτης.

Η περίπτωση της προσαρμογής των ορίων μίας περιοχής εκπαίδευσης, η οποία αναφέρεται στο **Διάγραμμα 5-1**, χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον στην περίπτωση της κατηγορίας «112-Δόμηση». Όπως είναι λογικό οι οικισμοί της περιοχής μελέτης έχουν επεκταθεί από την πρώτη περίοδο μελέτης έως την πιο πρόσφατη. Οπότε οι περιοχές αυτές έπρεπε να προσαρμοστούν-συρρικνωθούν, ώστε να αποτελούν «καθαρές» περιοχές εκπαίδευσης για κάθε περίοδο μελέτης.

5.2.7. Επιπλέον έλεγχος περιοχών εκπαίδευσης για την περίοδο 2000

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5.2.5 «Εάν μία περιοχή μελέτης παρουσιάζει όμοια κάλυψη για την περίοδο 1987-1988 και για την περίοδο 2015-2016, τότε η κάλυψη αυτή θεωρείται ότι είναι όμοια και για την ενδιάμεση περίοδο εξέτασης, εκείνη του 2000.», αλλά με τη συγκεκριμένη παραδοχή υπεισέρχονται περιθώρια σφάλματος για τις λιγότερο «σταθερές» στο πέρασμα του χρόνου κατηγορίες, οι οποίες αναφέρονται στο ίδιο κεφάλαιο. Ειδικά για τις περιοχές εκπαίδευσης των συγκεκριμένων κατηγοριών πραγματοποιήθηκε φωτοερμηνευτικός έλεγχος, ώστε να διαπιστωθεί η κατηγορία κάλυψης στην οποία ανήκουν. Σε περίπτωση διαπίστωσης διαφορετικής κάλυψης από την κοινή για τις περιόδους 1987-1988 και 2015-2016, η περιοχή διαγράφεται.

5.2.8. Τελική επιλογή περιοχών εκπαίδευσης

Έπειτα από την παραπάνω διαδικασία, έχει δημιουργηθεί ένα αρχείο πολυγώνων με κοινές περιοχές εκπαίδευσης για τις τρεις περιόδους μελέτης. Τα τελικά αποτελέσματα της επιλογής περιοχών εκπαίδευσης, παρουσιάζονται στον πίνακα 5-5.

Κατηγορία	Πλήθος Πολυγώνων	Μέσο Εμβαδό Πολυγώνων (km ²)	Συνολικό Εμβαδό Πολυγώνων (km ²)
112-Δόμηση	64	0.012	0.750
211-Θερμοκήπια	11	0.032	0.347
223-Ελαιώνες	69	0.039	2.666
242-Σύνθ. Συστ. Καλλιέργειας	16	0.510	8.152
311-Πλατύφυλλα	49	0.011	0.553
312-Κωνοφόρα	55	0.071	3.900
321-Φυσικοί Βοσκότοποι	138	0.140	19.384
323-Σκληροφυλλική Βλάστηση	124	0.020	2.499
331-Παραλίες/ Αμμόλοφοι	11	0.009	0.102
512-Συλλογές Υδάτων	1	0.250	0.250
525-Χιόνι	5	1.414	7.068
Σύνολο	543	0.084	45.672

Πίνακας 5-5: Τελικά αποτελέσματα επιλογής κοινών περιοχών εκπαίδευσης για όλες τις περιόδους μελέτης.

Στον πίνακα 5-6 παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα με τα CLC 1990 και 2012 για το κοινό τμήμα του συνόλου των δορυφορικών εικόνων όλων των περιόδων μελέτης, έπειτα από την απαραίτητη επανακατηγοριοποίηση, ώστε να ελεγχθεί εάν οι εκτάσεις των περιοχών που απέμειναν, ανά κατηγορία, είναι ισοβαρώς κατανεμημένες, σε σχέση με τις καλύψεις, όπως αυτές έχουν καταγραφεί στα δύο CLC. Στον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι υπάρχουν αποκλίσεις, συγκριτικά με το CLC 1990, ενώ τα ποσοστά είναι πολύ κοντά στο CLC 2012. Το γεγονός αυτό πιθανόν να επηρεάσει αρνητικά την ταξινόμηση για την περίοδο 1987-1988.

Κατηγορία (Επίπεδο 1 CLC)	Ποσοστό % Εμβαδού Περιοχών Εκπαίδευσης	Ποσοστό % Εμβαδού κατά CLC 1990	Ποσοστό % Εμβαδού κατά CLC 2012
1-Τεχνητές Επιφάνειες	1.94	0.12	0.33
2-Γεωργικές Περιοχές	28.92	21.07	27.93
3-Δασικές/Ημιφυσικές Περιοχές	68.49	78.78	71.69
5-Υδάτινα Συστήματα	0.65	0.04	0.05
Σύνολο	100.00	100.00	100.00

Πίνακας 5-6: Ποσοστά εμβαδού έπειτα από επανακατηγοριοποίηση στο επίπεδο 1 του CLC, για την κοινή περιοχή του συνόλου των δορυφορικών εικόνων όλων των περιόδων μελέτης.

Στην **εικόνα 5-3** παρουσιάζονται και χωρικά οι περιοχές εκπαίδευσης, ώστε να διαπιστωθεί η διασπορά τους. Παρατηρείται ότι στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της εικόνας, έχουν ληφθεί συγκριτικά λίγες περιοχές εκπαίδευσης, γεγονός, όμως, που οφείλεται στην εποχική χιονοκάλυψη του συγκεκριμένου τμήματος.



Εικόνα 5-3: Χωρική διασπορά περιοχών εκπαίδευσης.

5.3. Επιλογή Αλγόριθμου Ταξινόμησης

Μέσω του λογισμικού GRASS GIS v.7.0.5, διατίθενται οι εξής επιλογές για την εφαρμογή επιβλεπόμενης ταξινόμησης

(https://grasswiki.osgeo.org/wiki/Image_classification#Supervised_classification):

- Sequential Maximum a Posteriori (SMAP), μέσω του εργαλείου i.smap (<https://grass.osgeo.org/grass72/manuals/i.smap.html>)
- Maximum-Likelihood (ML), μέσω του εργαλείου i.maxlik και του i.smap με την επιλογή του συγκεκριμένου ταξινομητή (<https://grass.osgeo.org/grass72/manuals/i.maxlik.html>)

Αναλυτικά για τις δύο παραπάνω επιλογές:

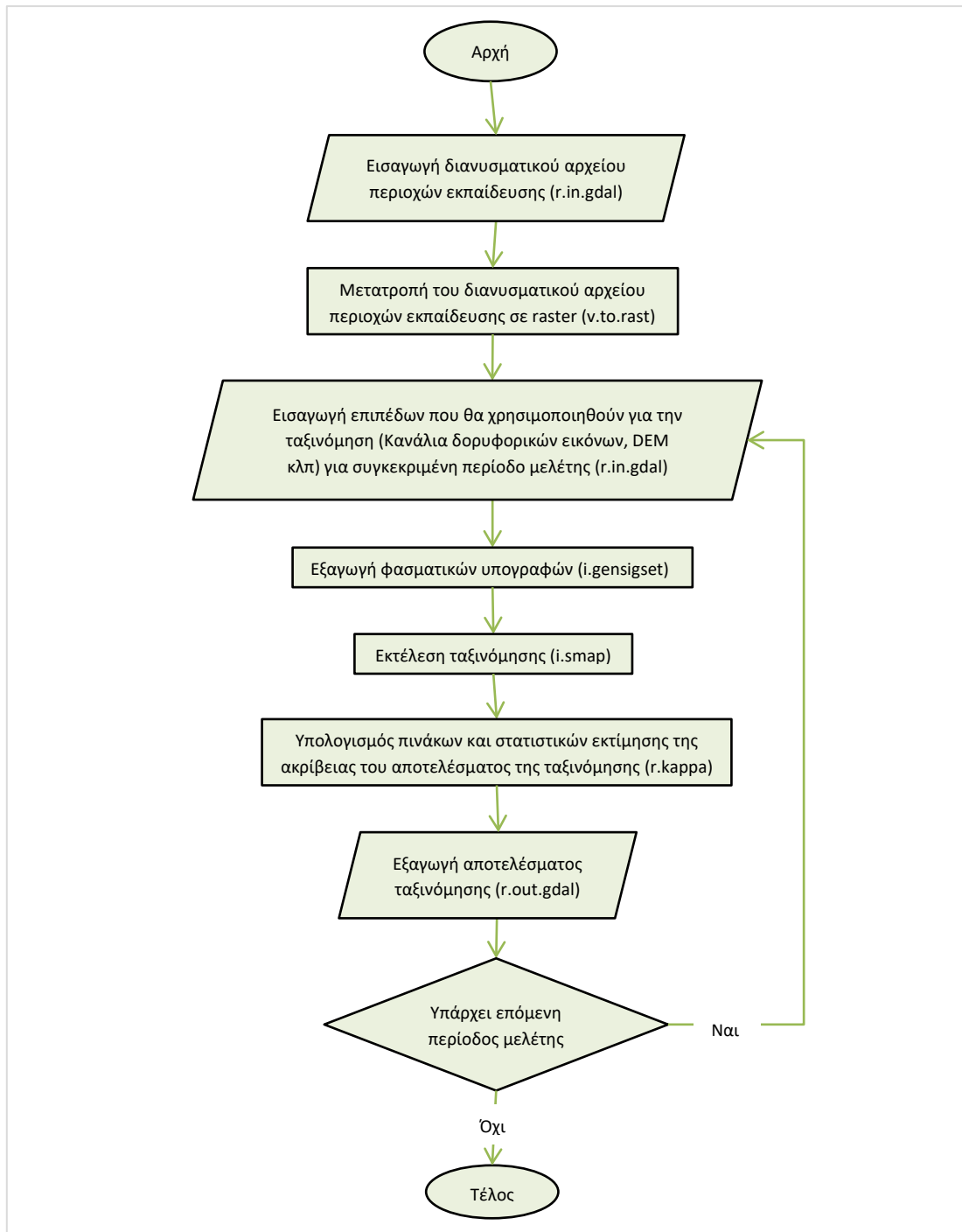
«Ο αλγόριθμος SMAP αξιοποιεί την πιθανότητα των γειτονικών εικονοστοιχείων, σε μία εικόνα, να ανήκουν στην ίδια κατηγορία. Λειτουργεί κατατμώντας την εικόνα σε διαφορετικές κλίμακες και αναλύσεις και χρησιμοποιώντας την κατάτμηση σε μεγαλύτερη κλίμακα καθοδηγεί την κατάτμηση σε μικρότερη. Επιπρόσθετα με τη μείωση του αριθμού των εσφαλμένων ταξινομήσεων ο αλγόριθμος SMAP παράγει γενικά τμήματα με μεγαλύτερες ενιαίες περιοχές ανά κατηγορία ταξινόμησης, γεγονός το οποίο μπορεί να φανεί χρήσιμο σε συγκεκριμένες εφαρμογές.

Ο βαθμός εξομάλυνσης που εφαρμόζεται κατά την κατάτμηση, εξαρτάται από τη συμπεριφορά των δεδομένων στην εικόνα. Εάν από τα δεδομένα προκύπτει ότι γειτονικά εικονοστοιχεία αλλάζουν συχνά κατηγορία, τότε ο αλγόριθμος προσαρμόζεται και μειώνει το βαθμό εξομάλυνσης. Το γεγονός αυτό αποτρέπει το σχηματισμό μεγάλων τμημάτων.» (<https://grass.osgeo.org/grass72/manuals/i.smap.html>)

«Η μέθοδος ML βασίζεται στην υπόθεση ότι οι τιμές ανακλαστικότητας κάθε κατηγορίας ακολουθούν την κανονική κατανομή. Το μέσο διάνυσμα και ο πίνακας συσχέτισης/συνδιασποράς (covariance/correlation matrix) κάθε κατηγορίας χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της πιθανότητας ενός εικονοστοιχείου να ανήκει σε μία κατηγορία. Τέλος, το εικονοστοιχείο καταχωρείται στην κατηγορία η οποία μεγιστοποιεί την παραπάνω πιθανότητα.» ([Espin L. et al., 2015](#)).

Ο [Espin et al. \(2015\)](#) σύγκρινε τις μεθόδους ταξινόμησης SMAP, Random Forest (RF) και ML, για την περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Argos στη νοτιοανατολική Ισπανία, με καλύψεις γης: 51.4% φυσικές καλύψεις (δάση και θάμνοι), 2.2% αστικές καλύψεις και το ποσοστό που απομένει μοιράζεται εξίσου σε καλλιέργειες αρδευόμενες και μη. Τα στατιστικά ποιότητας των ταξινομήσεων έδειξαν ότι οι δύο πρώτες μέθοδοι (SMAP και RF) παράγουν αντίστοιχης ποιότητας αποτελέσματα και λίγο καλύτερης από την ML.

Η μέθοδος ταξινόμησης, η οποία επιλέχθηκε να εφαρμοστεί στη συγκεκριμένη μελέτη, είναι η SMAP. Με τα βασικά βήματα της ροής της, καθώς και τα αντίστοιχα εργαλεία του GRASS GIS, να παρουσιάζονται στο **διάγραμμα 5-2**.



Διάγραμμα 5-2: Διάγραμμα ροής ταξινόμησης σε περιβάλλον GRASS GIS με τη μέθοδο SMAP.

5.4. Τα Επίπεδα που Χρησιμοποιούνται για την Ταξινόμηση

Όπως φαίνεται στο **διάγραμμα 5-2** για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης πρέπει να εισαχθούν τα raster επίπεδα, βάσει των οποίων θα υπολογιστούν οι φασματικές υπογραφές, και οι τιμές των εικονοστοιχείων των επιπέδων αυτών θα καθορίσουν την αντιστοίχιση του κάθε εικονοστοιχείου σε μία κατηγορία στον τελικό χάρτη της ταξινόμησης.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία διάφορα επίπεδα μπορεί να συμμετάσχουν στη διαδικασία της ταξινόμησης, το αποτέλεσμα της οποίας μπορεί να επηρεάζεται θετικά ή αρνητικά από το κάθε ένα, ανάλογα με την περιοχή μελέτης, τη χωρική ανάλυση και την ποιότητα των δεδομένων αυτών.

Τα επίπεδα αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: (α) φασματικά κανάλια δορυφορικών εικόνων και (β) βοηθητικά δεδομένα.

5.4.1. Επιλογή φασματικών καναλιών για την εφαρμογή ταξινόμησης

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.2.4 με κριτήρια τη διαθεσιμότητα δορυφορικών εικόνων, την απουσία νεφοκάλυψης, και τη χρονική διασπορά, επιλέχθηκαν τρεις περίοδοι μελέτης και τρεις δορυφορικές εικόνες ανά περίοδο. Οι εικόνες αυτές προέρχονται από διαφορετικούς δέκτες. Για την περίοδο 1987-1988 είναι εικόνες των δορυφόρων Landsat 4 και 5, για την περίοδο 2000 του Landsat 7 και για την περίοδο 2015-2016 του Landsat 8. Όλες οι εικόνες είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένες, σχετικά ραδιομετρικά κανονικοποιημένες και σε χωρική ανάλυση 15m.

Τα κανάλια τα οποία έχουν υποστεί τις παραπάνω επεξεργασίες είναι για τους δορυφόρους Landsat 4, 5 και 7 τα 1, 2, 3, 4, 5, και 7, ενώ για τον Landsat 8 τα 1, 2, 3, 4, 5, 6 και 7. Μεταξύ των καναλιών αυτών υπάρχει φασματική συμβατότητα, εκτός του καναλιού 1 του Landsat 8, το οποίο είναι σχεδιασμένο για μελέτη αερολυμάτων και παράκτιων περιοχών, αντίστοιχο του οποίου δεν υπάρχει στους άλλους δορυφόρους.

Έχοντας ως στόχο την πραγματοποίηση ταξινομήσεων για τρεις περιόδους μελέτης και έπειτα τη σύγκριση των αποτελεσμάτων, θεωρήθηκε επιβεβλημένο τα δεδομένα εισόδου των ταξινομήσεων να παρουσιάζουν ομοιογένεια για τις περιόδους μελέτης. Η παροχή ενός παραπάνω καναλιού ανά εικόνα, του καναλιού 1 του Landsat 8, θα έδινε ένα «πλεονέκτημα» στην ταξινόμηση της περιόδου 2015-2016, καθιστώντας τη σύγκριση μεταξύ των ταξινομήσεων άνιση. Οπότε, το συγκεκριμένο κανάλι επιλέχθηκε να αποκλειστεί από τη διαδικασία της ταξινόμησης. Άλλωστε, η ακρίβεια της ταξινόμησης, για την περίοδο 2015-2016, με τη συμμετοχή του συγκεκριμένου καναλιού, δεν αναμενόταν να αυξηθεί σημαντικά. Στη συγκεκριμένη μελέτη εξετάζονται οι καλύψεις γης, ενώ το συγκεκριμένο κανάλι, όπως προαναφέρθηκε προορίζεται, για μελέτη αερολυμάτων και παράκτιων περιοχών.

5.4.2. Επιλογή βοηθητικών δεδομένων για την εφαρμογή της ταξινόμησης

Σύμφωνα με τον [Jensen \(1996, p. 244\)](#), «Τα βοηθητικά δεδομένα (Ancillary Data) είναι κάθε τύπος χωρικής ή μη χωρικής πληροφορίας, η οποία μπορεί να φανεί χρήσιμη στη διαδικασία της ταξινόμησης, περιλαμβάνοντας υψόμετρο (DEM), κλίσεις (Slope), κατεύθυνση (Aspect), γεωλογία, εδάφη, υδρολογία, δίκτυο μετακινήσεων, σύνορα και βλάστηση.».

Ο [Kumar et al. \(2012\)](#), πραγματοποίησε δοκιμές ταξινόμησης, σε εικόνες από τους δορυφόρους Landsat 7 και Ikonos, για διάφορους συνδυασμούς βοηθητικών δεδομένων, οι οποίοι φαίνονται στον πίνακα 5-7. Ενδιαφέρουσα παρατήρηση για τον πίνακα 5-7, είναι ότι η προσθήκη επιπέδων δεν αυξάνει απαραίτητα την ποιότητα της ταξινόμησης, σημαντικός παράγοντας είναι ο κατάλληλος συνδυασμός. Για παράδειγμα, η προσθήκη του επιπέδου

της θερμοκρασίας στη δεύτερη περίπτωση αύξησε την ακρίβεια σε σχέση με την πρώτη. Αντίθετα, η προσθήκη της θερμοκρασίας στην τέταρτη περίπτωση μείωσε την ποιότητα, σε σχέση με την τρίτη.

Επίπεδα που συμμετέχουν στην ταξινόμηση	Συνολική Ακρίβεια	Δείκτης Kappa
ETM+ bands 1, 2, 3, 4, 5 and 7 at 30 m	75.50	0.7309
ETM+ bands 1, 2, 3, 4, 5, 7 and Temperature	77.94	0.7548
ETM+ bands 1, 2, 3, 4, 5, 7, NDVI, EVI, elevation, slope and aspect	73.12	0.7107
ETM+ bands 1, 2, 3, 4, 5, 7, Temperature, NDVI, EVI, elevation, slope and aspect	71.43	0.6811
ETM+ bands 1, 2, 3, 4, 5, 7, Temperature, NDVI, EVI, elevation, slope and aspect, texture (ASM, contrast, entropy, variance) at 0, 45, 90 and 135 degrees for ETM+ bands 1, 2, 3, 4, 5, 7	81.84	0.7978
ETM+ bands 1, 2, 3, 4, 5, 7, Temperature, NDVI, EVI, ETM+ PAN, texture (ASM, contrast, entropy, variance) at 0, 45, 90 and 135 degrees for ETM+ bands 1, 2, 3, 4, 5, 7, and ETM+ PAN elevation, slope and aspect	82.29	0.8077

Πίνακας 5-7: Περιπτώσεις ταξινομημένων επιπέδων και αντίστοιχων δεικτών ακρίβειας ([Kumar et al., 2012](#)).

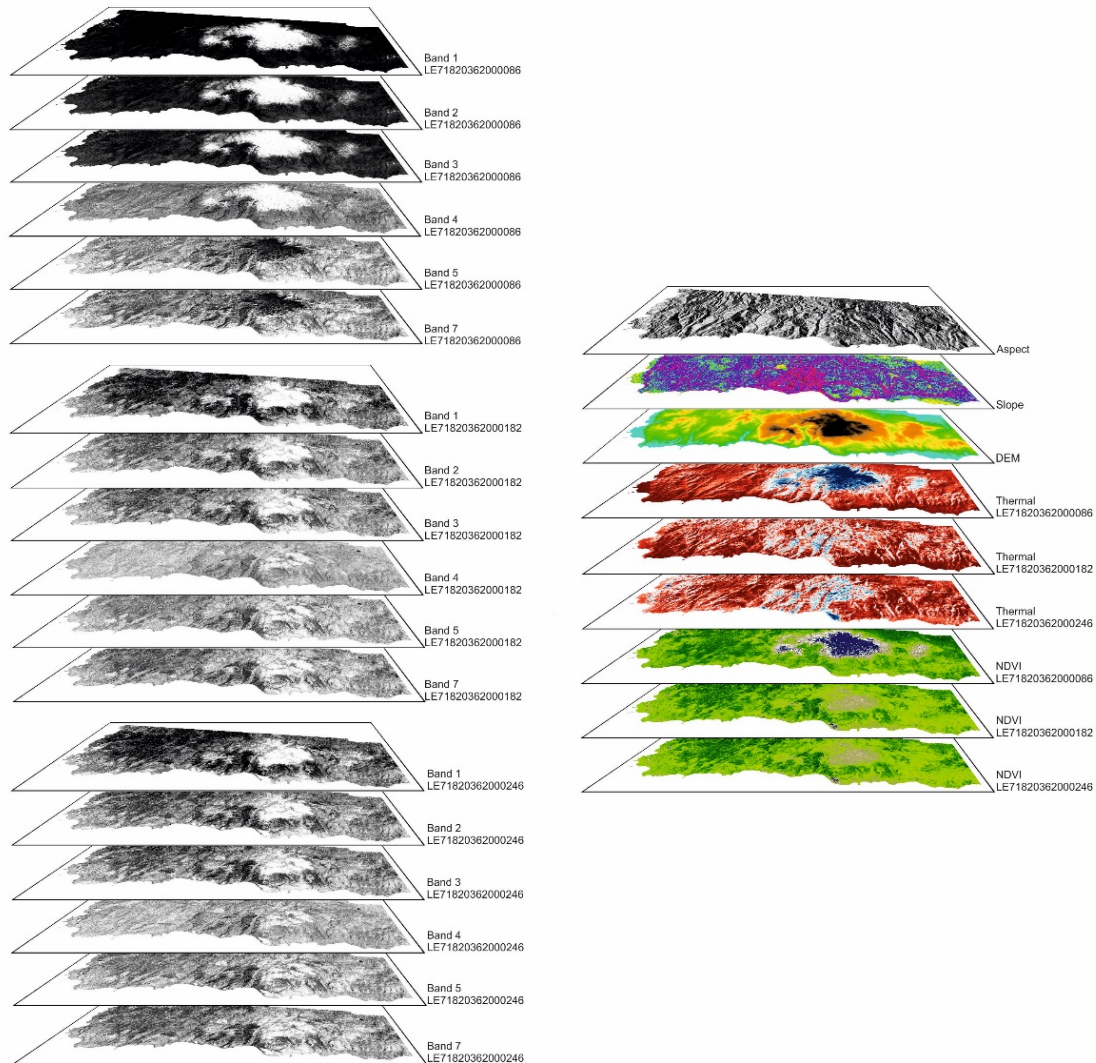
Για τη συγκεκριμένη μελέτη τα βοηθητικά δεδομένα που επιλέχθηκαν να συμμετάσχουν σε κάθε ταξινόμηση είναι τα εξής:

- Δείκτης Βλάστησης NDVI
Υπολογίστηκε για τους δορυφόρους Landsat 4, 5 και 6 ως $\frac{(Band\ 4 - Band\ 3)}{(Band\ 4 + Band\ 3)}$ και για τον Landsat 8 ως $\frac{(Band\ 5 - Band\ 4)}{(Band\ 5 + Band\ 4)}$, για κάθε ημερομηνία λήψης
- Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων
Λόγω εμφανούς κακής προσαρμογής στην περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκε γεωαναφορά στο πρόγραμμα QGIS v.2.18 με το εργαλείο Georeference GDAL
- Κλίση
Υπολογίστηκε μέσω του Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων με χρήση του εργαλείου r.slope.aspect του GRASS GIS v.7.0.5
- Κατεύθυνση
Υπολογίστηκε μέσω του Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων με χρήση του εργαλείου r.slope.aspect του GRASS GIS v.7.0.5
- Θερμοκρασία
Χρησιμοποιήθηκε το θερμικό κανάλι 6 για τους Landsat 4 και 5, το 6 VCID_1 για τον Landsat 7 και το 10 για τον Landsat 8

Σημειώνεται ότι πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές ταξινομήσεις με συνδυασμούς βοηθητικών επιπέδων, συμπεριλαμβανομένου του δείκτη βλάστησης EVI και επιπέδων υψής, όπως στον πίνακα 5-7, με τα καλύτερα αποτελέσματα να επιτυγχάνονται με το συνδυασμό που επιλέχθηκε.

5.4.3. Σύνοψη επιπέδων που συμμετέχουν στην ταξινόμηση

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, για κάθε περίοδο μελέτης για την ταξινόμηση επιλέχθηκαν να συμμετέχουν συνολικά 27 επίπεδα, εκ των οποίων τα 18 είναι φασματικά κανάλια δορυφορικών εικόνων και τα 9 βοηθητικά δεδομένα. Στην **εικόνα 5-4** παρουσιάζονται ενδεικτικά τα επίπεδα που επιλέχθηκαν για την περίοδο μελέτης 2000. Τα επίπεδα αυτά θα εισαχθούν ως είσοδος για την ταξινόμηση ταυτόχρονα, θα πραγματοποιηθεί, δηλαδή, μία ταξινόμηση ανά περίοδο μελέτης, όχι μία ταξινόμηση ανά ημερομηνία λήψης των δορυφορικών εικόνων.



Εικόνα 5-4: Επιλεγμένα επίπεδα για την περίοδο μελέτης 2000. Αριστερά τα φασματικά κανάλια δορυφορικών εικόνων και δεξιά τα βοηθητικά δεδομένα.

5.5. Υλοποίηση και Αποτελέσματα Ταξινόμησης

Έχοντας συγκεντρώσει όλα τα απαραίτητα επίπεδα εισόδου για την ταξινόμηση, δημιουργείται το αρχείο των «φασματικών» υπογραφών, και αυτή εφαρμόζεται για το κοινό τμήμα της περιοχής μελέτης του συνόλου των δορυφορικών εικόνων, σύμφωνα με το **διάγραμμα 5-2**. Σημειώνεται, ότι με τη συμμετοχή βοηθητικών επιπέδων στον υπολογισμό

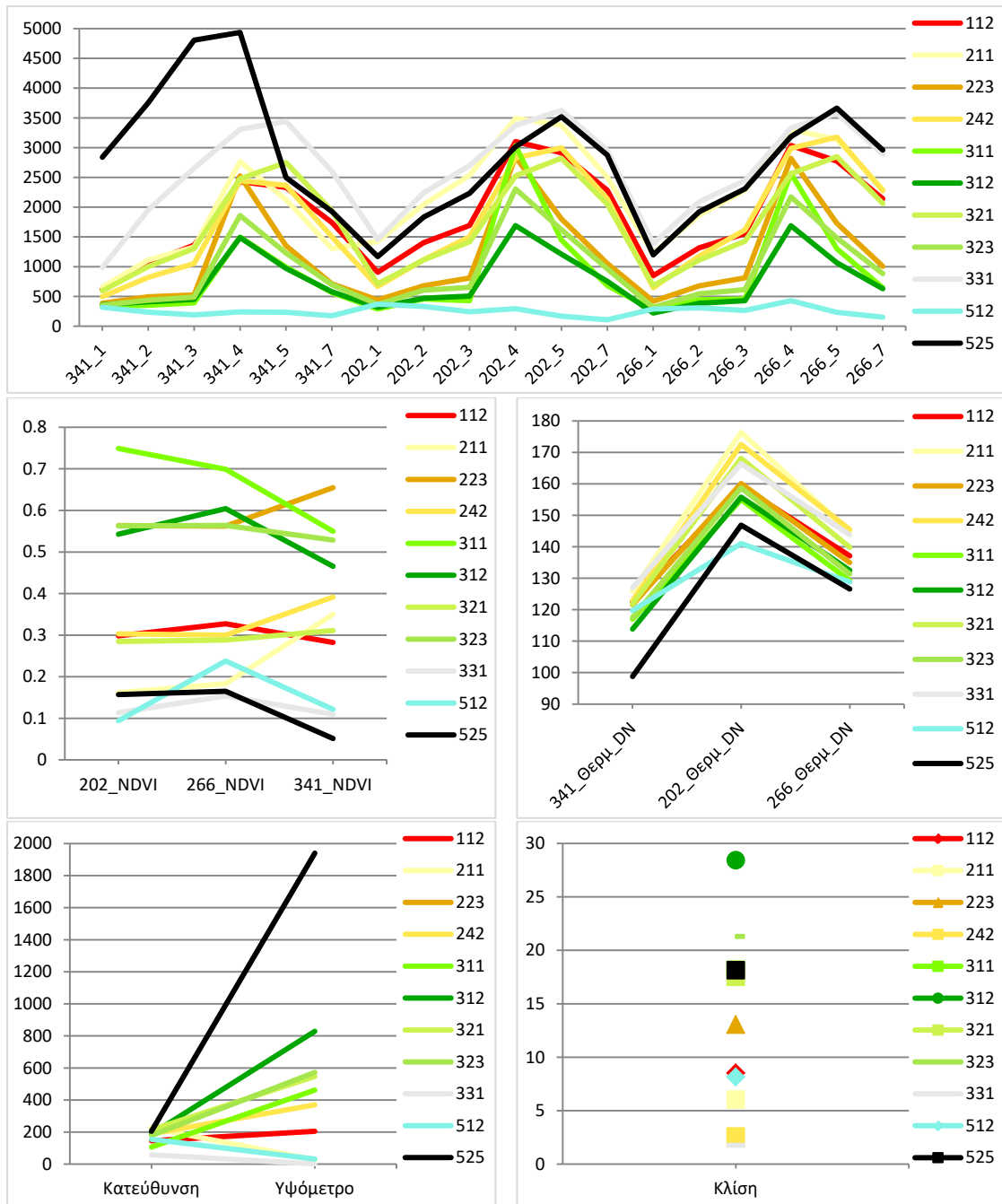
των «φασματικών» υπογραφών, αυτές παύουν να είναι αποκλειστικά φασματικές και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται εισαγωγικά.

5.5.1. Υπολογισμός «φασματικών» υπογραφών

Όπως παρουσιάζεται στο **διάγραμμα 5-2**, ο υπολογισμός των «φασματικών» υπογραφών έγινε με το εργαλείο *i.gensigset* του λογισμικού GRASS GIS. Ο αλγόριθμος του συγκεκριμένου εργαλείου θεωρεί ότι η κάθε κατηγορία πιθανόν να περιέχει υποκατηγορίες, για παράδειγμα η κατηγορία κωνοφόρα περιέχει ως πιθανές υποκατηγορίες τα έλατα και τα πεύκα, τα οποία έχουν διαφορετική φασματική συμπεριφορά. Σκοπό της εσωτερικής κατηγοριοποίησης των αρχικών κατηγοριών αποτελεί η βελτίωση της απόδοσης της κατάτμησης, μοντελοποιώντας την κάθε κατηγορία σαν ένα πιθανολογικό μίγμα υποκατηγοριών. Το μέγιστο πλήθος των υποκατηγοριών ορίζεται από τον χρήστη, 5 για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, και το ακριβές εκτιμάται μέσω της αρχής Ελάχιστου Μήκους Περιγραφής (Minimum Description Length - MDL) του Rissanen. Οι παράμετροι των «φασματικών» υπογραφών της κάθε κατηγορίας υπολογίζονται μέσω του αλγόριθμου Πρόβλεψης-Μεγιστοποίησης (Expectation Maximization - EM) και απαρτίζονται από τους μέσους όρους και τις συνδιασπορές (covariance) κάθε υποκατηγορίας (<https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/i.gensigset.html>).

Στο **διάγραμμα 5-3** παρουσιάζονται ενδεικτικά οι «φασματικές» καμπύλες των κατηγοριών για την περίοδο μελέτης 2000. Παρουσιάζονται σε ανεξάρτητα διαγράμματα οι καμπύλες των φασματικών καναλιών, των δεικτών βλάστησης, των στοιχείων του αναγλύφου και των θερμοκρασιών, λόγω των διαφορετικών τάξεων μεγέθους των τιμών τους. Από την ανάλυση του διαγράμματος των φασματικών καμπυλών των κατηγοριών, παρατηρούμε μεγάλο βαθμό σύμπτωσης σε αρκετές κατηγορίες, γεγονός που θα υποβάθμιζε σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα της ταξινόμησης. Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν την αξία της προσθήκης των βοηθητικών δεδομένων, ως επιπλέον επίπεδα, τα οποία δίνοντας περαιτέρω πληροφορίες στον ταξινομητή για την κάθε κατηγορία, αναμένεται να επιτύχουν περισσότερο αξιόπιστα αποτελέσματα.

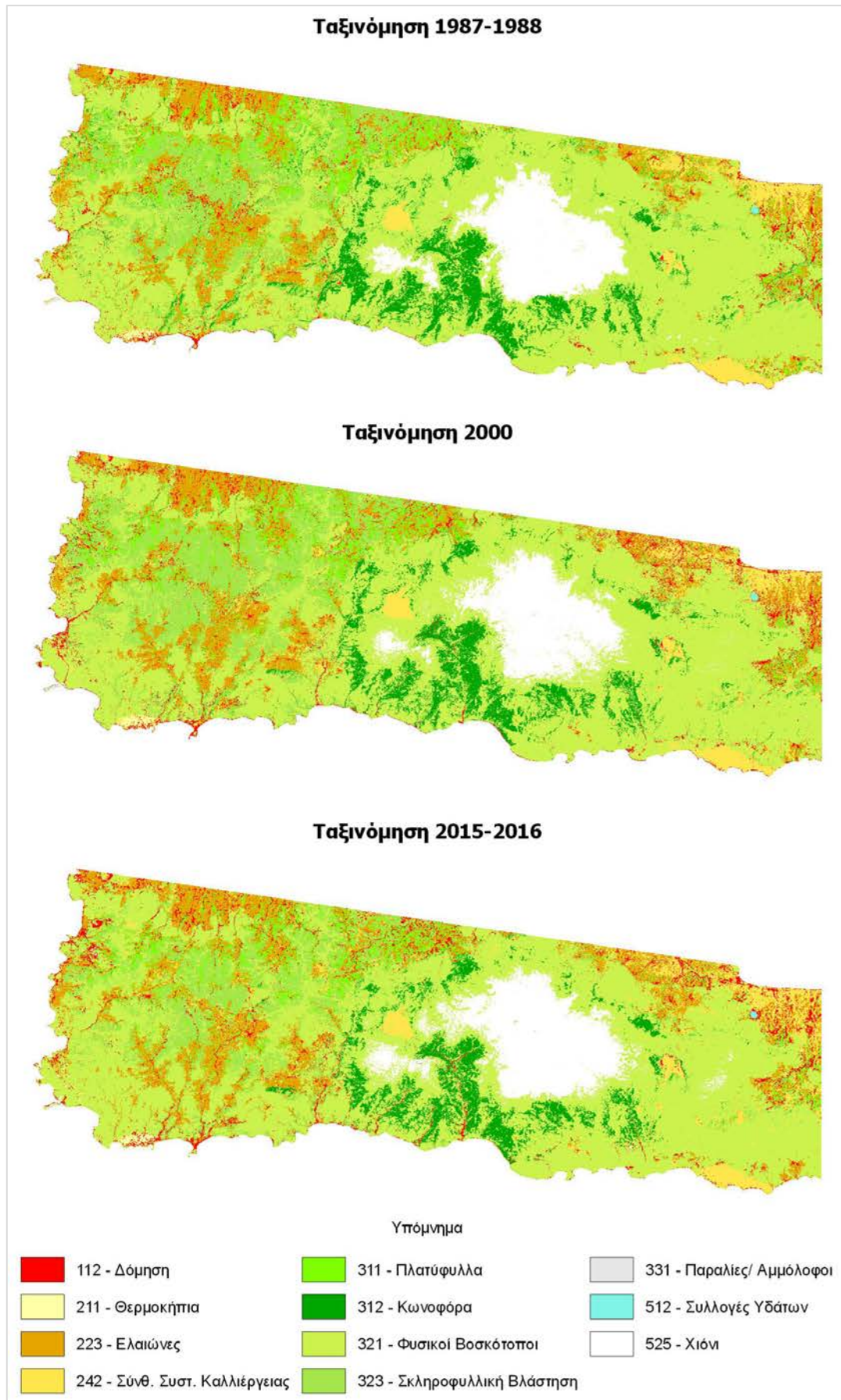
Κεφάλαιο 5. Μεθοδολογία Ταξινόμησης σε Δεδομένα Πολλαπλών Ημερομηνιών



Διάγραμμα 5-3: Διαγράμματα «φασματικών» καμπυλών για την περίοδο μελέτης 2000.

5.5.2. Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης για κάθε περίοδο μελέτης παρουσιάζονται στην **εικόνα 5-5**.



Εικόνα 5-5: Αποτελέσματα ταξινομήσεων.

5.6. Ποιοτική Αξιολόγηση Ταξινόμησης

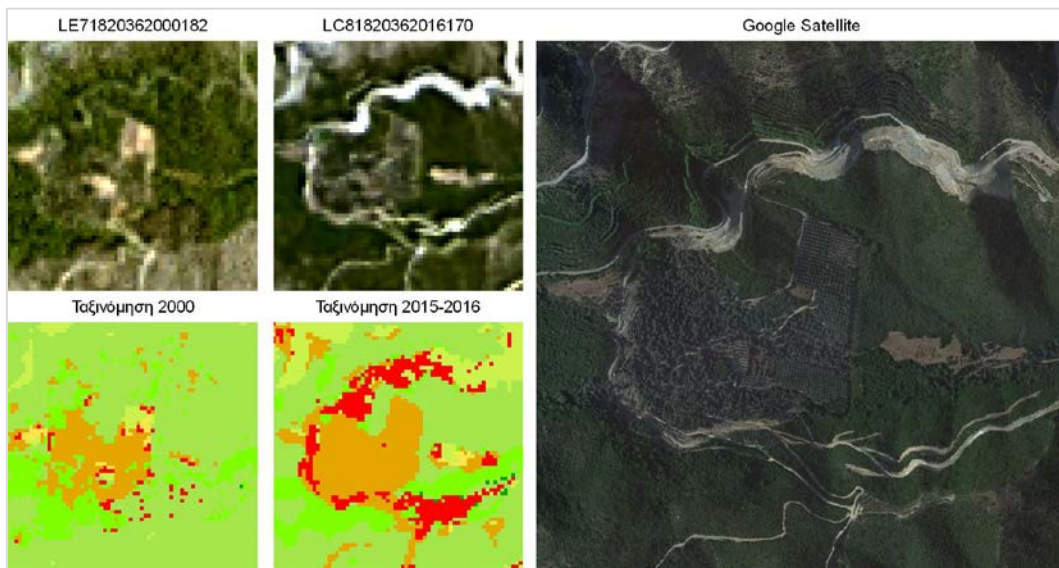
5.6.1. Ορθές αναγνωρίσεις

Η πλειοψηφία των καλύψεων, έπειτα από μία πρώτη οπτική εκτίμηση των ταξινομήσεων, φαίνεται να έχει ταξινομηθεί σωστά, σύμφωνα με τη γνώση της περιοχής μελέτης και τη διασταύρωση των διάφορων καλύψεων μέσω του Google Satellite και του CLC. Γενικά για κάθε κατηγορία:

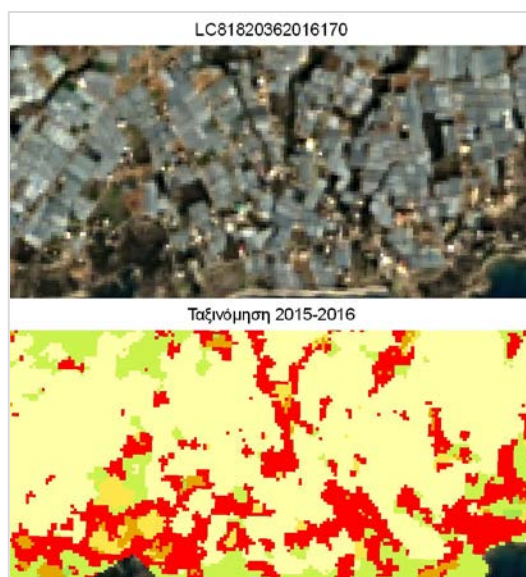
- η κατηγορία «112-Δόμηση» εντοπίστηκε διάσπαρτη στις περιοχές όπου εντοπίζονται, πράγματι, κυρίως οικισμοί και σε μεγάλο βαθμό συμπεριέλαβε και τμήματα του οδικού δικτύου, κυρίως στις ταξινομήσεις των πιο πρόσφατων εικόνων, λόγω καλύτερης χωρικής ανάλυσης και βελτιωμένων ραδιομετρικών χαρακτηριστικών των δεκτών, αλλά και λόγω της διάνοιξης οδικού δικτύου μεγαλύτερου πλάτους, οπότε διακριτού στις δορυφορικές εικόνες. Παράδειγμα παρουσιάζεται στην **εικόνα 5-6**.
- η κατηγορία «211-Θερμοκήπια» εντοπίστηκε στο νοτιοδυτικό τμήμα και οριακά στο βορειοδυτικό άκρο της περιοχής μελέτης, όπου εφαρμόζεται σχεδόν αποκλειστικά για την περιοχή μελέτης η συγκεκριμένη τακτική καλλιέργειας. Παράδειγμα παρουσιάζεται στην **εικόνα 5-7**.
- η κατηγορία «223-Ελαιώνες» εντοπίζεται κυρίως σε ολόκληρη τη δυτική περιοχή και στο βορειοανατολικό τμήμα, όπου και στην πραγματικότητα υπάρχουν καλλιέργειες ελιάς. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το ορθά αναγνωρισμένο μοτίβο, το οποίο η συγκεκριμένη καλλιέργεια ακολουθεί στο ορεινό δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, όπου παρουσιάζει «αραχνοειδή» μορφή, ακολουθώντας το ανάγλυφο της περιοχής. Σφάλματα εντοπίστηκαν κυρίως στα όρια των ελαιώνων, όπου η κάλυψη είναι μικτή με φυσική βλάστηση. Στην **εικόνα 5-6** παρατηρούμε την ορθή οριοθέτηση ελαιώνα.
- η κατηγορία «242-Σύνθετα Συστήματα Καλλιέργειας» εμφανίζεται διάσπαρτη κυρίως στα πεδινά της περιοχής μελέτης, με τις μεγαλύτερες ενιαίες εκτάσεις να εντοπίζονται στο βορειοανατολικό και στο νοτιοανατολικό τμήμα, καθώς και στο οροπέδιο του Ομαλού. Η πλειοψηφία των αναγνωρίσεων είναι ορθή, με σύγχυση να παρατηρείται σε περιοχές που γειτνιάζουν με τις καλλιέργειες και καλύπτονται από χαμηλή φυσική βλάστηση. Παράδειγμα παρουσιάζεται στην **εικόνα 5-8**.
- η κατηγορία «311-Πλατύφυλλα», η οποία αποτελείται κυρίως από πλάτανους, εντοπίζεται στην πλειοψηφία της ορθά στις περιοχές, όπου υπάρχουν ρέματα και φαίνεται να ακολουθεί «αραχνοειδές» μοτίβο, όπως και οι ελαιώνες, σκιαγραφώντας το υδρογραφικό δίκτυο. Παράδειγμα παρουσιάζεται στην **εικόνα 5-9**.
- η κατηγορία «312-Κωνοφόρα» εντοπίζεται ορθά στην περιοχή περιμετρικά των Λευκών Ορέων με τη μεγαλύτερη έκταση να εντοπίζεται στο νότιο τμήμα αυτών. Παράδειγμα παρουσιάζεται στην **εικόνα 5-10**.
- η κατηγορία «331-Παραλίες/ Αμμόλοφοι» εντοπίζεται ορθά σε μικρές «λωρίδες» περιμετρικά της ακτογραμμής, σφάλματα εντοπίζονται κυρίως λόγω εσφαλμένης αναγνώρισης παράκτιων περιοχών ως «112-Δόμηση», πιθανόν λόγω της παροχής

μικρής συνολικά έκτασης περιοχών εκπαίδευσης για την κατηγορία «331-Παραλίες/ Αμμόλοφοι».

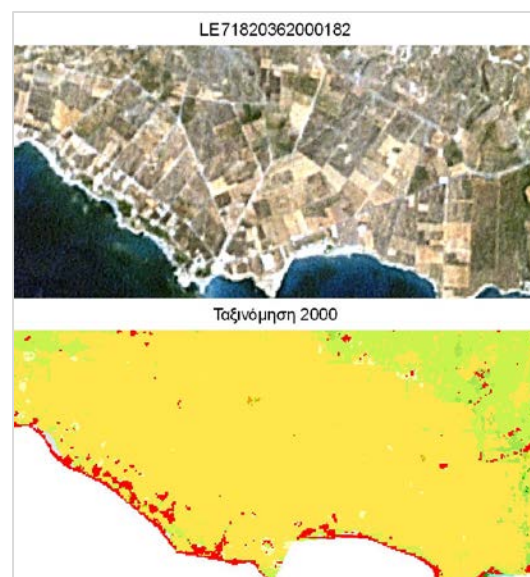
- η κατηγορία «512-Συλλογές Υδάτων» εντοπίζεται ορθά στη λίμνη Κουρνά στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης και σε κάποιες περιπτώσεις εν λειτουργία λιμνοδεξαμενών.
- η κατηγορία «525-Χιόνι» εντοπίζεται ορθά στην περιοχή των Λευκών Ορέων, στα τμήματα με μεγάλο υψόμετρο.
- οι κατηγορίες «321-Φυσικοί Βοσκότοποι» και «323-Σκληροφυλική Βλάστηση» εντοπίζονται ενδιάμεσα στις υπόλοιπες κατηγορίες καταλαμβάνοντας ορθά την έκταση που απομένει.



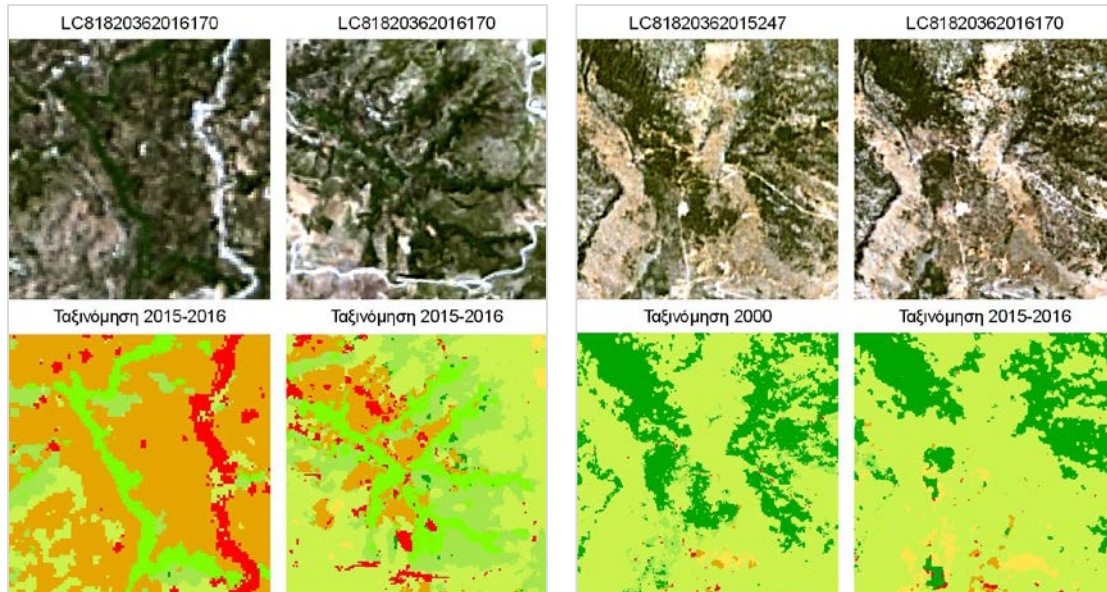
Εικόνα 5-6: Αναγνώριση οδικού δικτύου και αντίστοιχου πρανούς ως «112-Δόμηση», ορθή οριοθέτηση «223-Ελαιώνα».



Εικόνα 5-7: Ορθή αναγνώριση κατηγορίας «211-Θερμοκήπια».



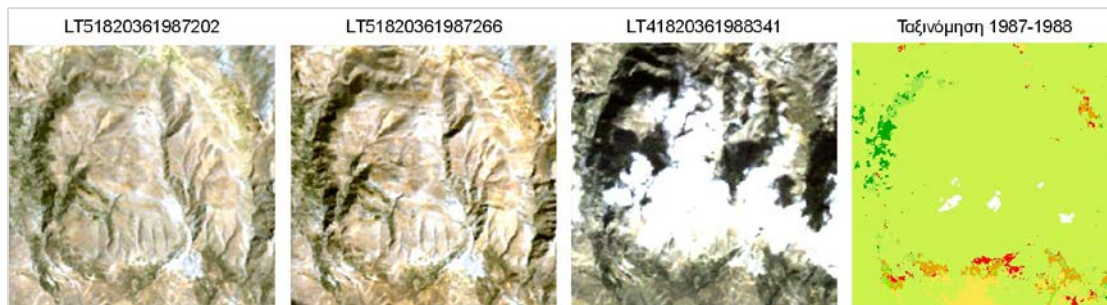
Εικόνα 5-8: Ορθή αναγνώριση κατηγορίας «242-Σύνθετα Συστήματα Καλλιέργειας».



Εικόνα 5-9: Ορθή αναγνώριση έκτασης πλατύφυλλων.

Εικόνα 5-10: Ορθή αναγνώριση συρρίκνωσης έκτασης κωνοφόρων.

Μία ειδική περίπτωση ορθής αναγνώρισης, αποτελούν οι περιοχές, οι οποίες ταξινομήθηκαν σωστά, παρά την ύπαρξη νεφοκάλυψης σε μία εκ των εικόνων της περιόδου μελέτης. Παράδειγμα φαίνεται στην **Εικόνα 5-11**. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην επιλογή να συμμετάσχουν στην ταξινόμηση τρεις διαφορετικές ημερομηνίες λήψης, με αποτέλεσμα σε κάποιες περιπτώσεις να υπάρχει επαρκής πληροφορία για τη σωστή κατάταξη της κάλυψης, παρά την επικάλυψη από σύννεφο.



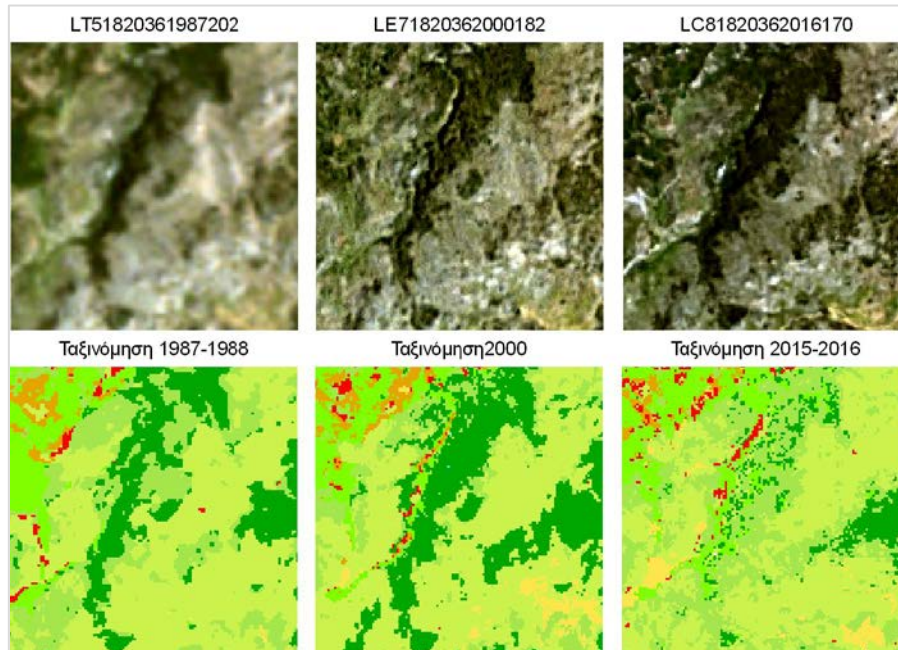
Εικόνα 5-11: Ορθή αναγνώριση κάλυψης, παρά την ύπαρξη σύννεφου σε μία εκ των εικόνων της περιόδου μελέτης.

5.6.2. Εσφαλμένες αναγνωρίσεις

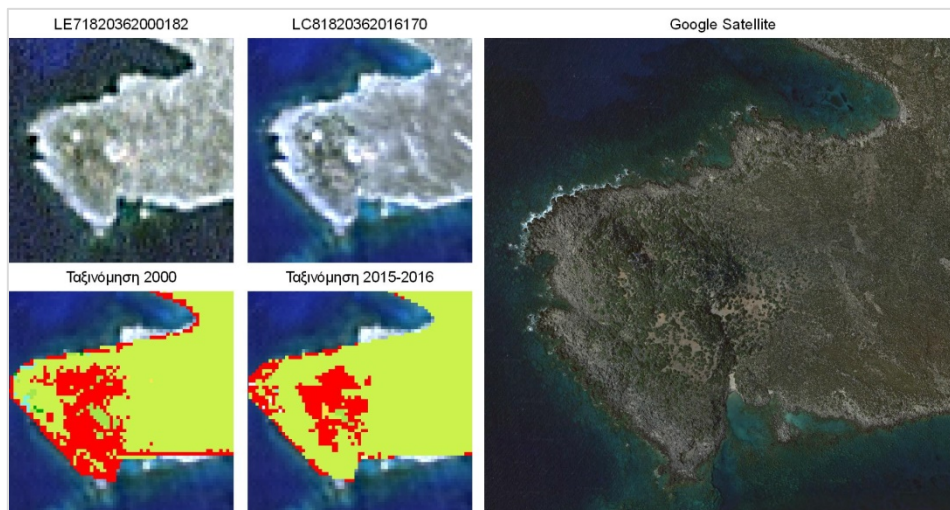
Έπειτα από μία πρώτη οπτική εκτίμηση των ταξινομήσεων οι εσφαλμένες αναγνωρίσεις διαχωρίστηκαν σε:

- εκείνες που πιθανόν οφείλονται σε ανακρίβεια των περιοχών εκπαίδευσης. Δηλαδή, σε εκείνες για τις οποίες θεωρήθηκε ότι είχαν δοθεί οι απαραίτητες περιοχές εκπαίδευσης, ώστε ο ταξινομητής να τις αναγνωρίσει.
- εκείνες για τις οποίες ο ταξινομητής μη έχοντας αντίστοιχες περιοχές εκπαίδευσης τις κατέταξε στην εγγύτερη «φασματικά» κατηγορία.

Η πρώτη περίπτωση αντιπροσωπεύει τα πραγματικά και μη αναμενόμενα σφάλματα των ταξινομήσεων. Περισσότερες ή/ και ακριβέστερες περιοχές εκπαίδευσης θα απέτρεπαν τα σφάλματα αυτά. Παραδείγματα της συγκεκριμένης περίπτωσης εσφαλμένης αναγνώρισης παρουσιάζονται στις εικόνες 5-12, 5-13, 5-14 και 5-15.



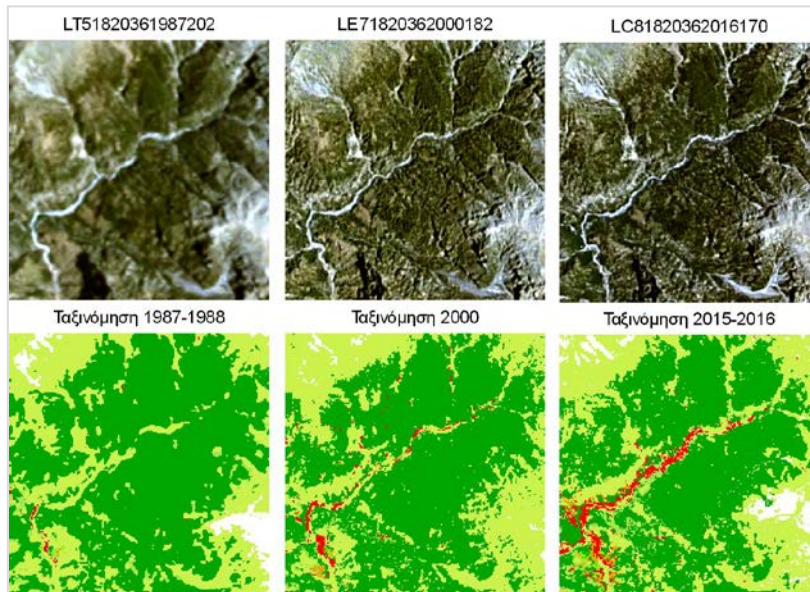
Εικόνα 5-12: Εσφαλμένη αναγνώριση έκτασης κωνοφόρων ως «323-Σκληροφυλλική Βλάστηση» για την περίοδο μελέτης 2015-2016.



Εικόνα 5-13: Εσφαλμένη αναγνώριση βραχώδους έκτασης με σκληροφυλλική βλάστηση ως «112-Δόμηση».



Εικόνα 5-14: Εσφαλμένη αναγνώριση τμήματος λιμνοδεξαμενής ως «321-Φυσικοί Βοσκότοποι» αντί «512-Συλλογές Υδάτων».

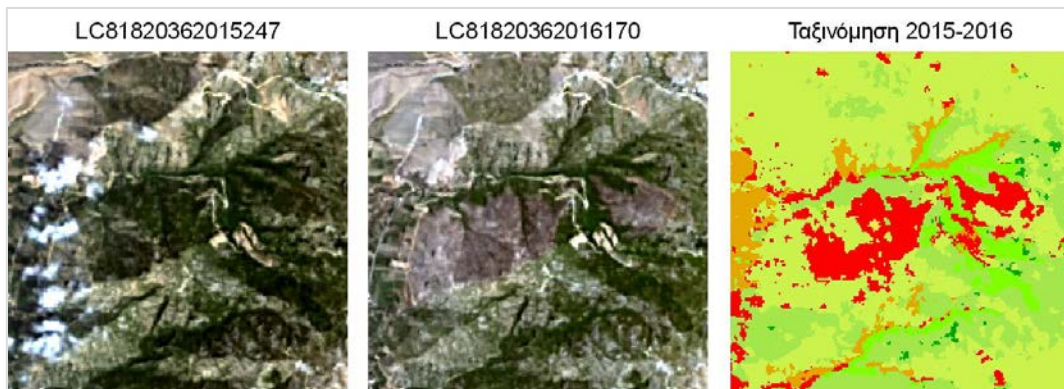


Εικόνα 5-15: Τάση αναγνώρισης γυμνού εδάφους ως δόμηση στις πιο πρόσφατες εικόνες.

Παραδείγματα της δεύτερης περίπτωσης είναι κατά βάση περιοχές με νεφοκάλυψη, με αραιή χιονοκάλυψη και καμένες εκτάσεις. Και στις τρεις περιπτώσεις πρόκειται για διακριτές φασματικά κατηγορίες οι οποίες, όμως, λόγω της μεθοδολογίας που επιλέχθηκε δεν ήταν δυνατόν να έχουν δοθεί ως ξεχωριστές κατηγορίες. Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 5.2.8 οι τελικές περιοχές εκπαίδευσης είναι κοινές για όλες τις περιόδους μελέτης. Η επιλογή αυτή αποτελεί παράγοντα που καθιστά τις ταξινομήσεις συγκρίσιμες. Για να δοθούν, για παράδειγμα, ξεχωριστές κατηγορίες σύννεφου και καμένης έκτασης, θα έπρεπε περιοχές με τα χαρακτηριστικά αυτά να εντοπιστούν σε κοινές περιοχές και για τις τρεις περιόδους ταξινόμησης, γεγονός στατιστικά αδύνατο. Οπότε, ήταν αναμενόμενες οι εσφαλμένες ταξινομήσεις των περιοχών αυτών, εφόσον δεν έχουν δοθεί στον ταξινομητή ως ξεχωριστές κατηγορίες.

Το πρόβλημα με τις συγκεκριμένες κατηγορίες, όπως και με την κατηγορία «525-Χιόνι», είναι πως ουσιαστικά δεν πρόκειται για «μόνιμες» καλύψεις, δηλαδή για καλύψεις οι οποίες μπορεί να υπάρχουν διαχρονικά σε μία περιοχή και μέσα στο έτος μεταβάλλονται τα φασματικά τους χαρακτηριστικά. Πρόκειται για περιπτώσεις αλλαγών με μη προβλέψιμη περίοδο επαναφοράς. Ακόμα και για την κατηγορία «525-Χιόνι» η οποία παρουσιάζει την περισσότερο σταθερή περίοδο επαναφοράς, δεν μπορεί να περιγραφούν με βεβαιότητα χαρακτηριστικά έκτασης, χρόνος και διάρκεια εμφάνισης του φαινομένου, με αποτέλεσμα την αδυναμία επιλογής αξιόπιστων περιοχών, για πάνω από μία περίοδο μελέτης.

Παραδείγματα της συγκεκριμένης περίπτωσης παρουσιάζονται στην εικόνα 5-16 α, β και γ.



Εικόνα 5-16α Εσφαλμένη αναγνώριση πρόσφατα καμένης έκτασης ως δόμηση.



Εικόνα 5-16β Εσφαλμένη αναγνώριση καμένης έκτασης ως δόμηση.



Εικόνα 5-16γ Εσφαλμένη αναγνώριση ποικίλων καλύψεων ως «112-Δόμηση» και «525- Χιόνι», λόγω ύπαρξης σύννεφου σε μία εκ των εικόνων.

Εικόνα 5-16: Εσφαλμένες αναγνωρίσεις, λόγω μη ύπαρξης αντίστοιχης κατηγορίας.

5.7. Ποσοτική Αξιολόγηση Ταξινόμησης

Παράλληλα με τις περιοχές εκπαίδευσης δημιουργήθηκε και αρχείο πολυγώνων με περιοχές ελέγχου/αναφοράς για την ποσοτική αξιολόγηση των ταξινομήσεων. Τα πολύγωνα αναφοράς επιλέχθηκαν με την ίδια μεθοδολογία, πρόκειται λοιπόν, για περιοχές οι οποίες παραμένουν αμετάβλητες στις τρεις περιόδους μελέτης, έγινε προσπάθεια να είναι χωρικά διεσπαρμένες στο σύνολο της περιοχής μελέτης και να είναι περιοχές με υψηλό βαθμό

βεβαιότητας ως προς την κατηγορίας κάλυψής στην οποία ανήκουν. Η χωρική τους διασπορά παρουσιάζεται στην **εικόνα 5-17** και τα χαρακτηριστικά τους στον πίνακα **5-8**.



Εικόνα 5-17: Χωρική διασπορά περιοχών ελέγχου/αναφοράς.

Κατηγορία	Πλήθος Πολυγώνων	Μέσο Εμβαδό Πολυγώνων (km ²)	Συνολικό Εμβαδό Πολυγώνων (km ²)
112-Δόμηση	22	0.006	0.129
211-Θερμοκήπια	12	0.004	0.053
223-Ελαιώνες	20	0.008	0.161
242-Σύνθ. Συστ. Καλλιέργειας	7	0.037	0.262
311-Πλατύφυλλα	10	0.008	0.069
312-Κωνοφόρα	10	0.078	0.776
321-Φυσικοί Βοσκότοποι	10	0.081	0.812
323-Σκληροφυλλική Βλάστηση	13	0.021	0.276
331-Παραλίες/ Αμμόλοφοι	7	0.010	0.062
512-Συλλογές Υδάτων	1	0.085	0.085
525-Χιόνι	6	0.198	1.187
Σύνολο	116	0.537	3.872

Πίνακας 5-8: Περιοχές ελέγχου/αναφοράς για όλες τις περιόδους μελέτης.

Για την ποσοτική αξιολόγηση των ταξινομήσεων υπολογίστηκαν, μέσω του εργαλείου r.kappa του λογισμικού GRASS GIS v.7.0.5, ο πίνακας σύγχυσης, η συνολική ακρίβεια και ο δείκτης Kappa, για κάθε περίοδο μελέτης. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στους πίνακες **5-9**, **5-10** και **5-11**. Συνολικά παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά.

Συνοπτικά, για το σύνολο των ταξινομήσεων ο δείκτης K υπολογίζεται πάνω από 0,90, η συνολική ακρίβεια πάνω από 92%, η ακρίβεια του χρήστη για κάθε κατηγορία πάνω από 62% και η αντίστοιχη του ταξινομητή πάνω από 58%. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5.2.8, οι περιοχές εκπαίδευσης είναι πανομοιότυπες χωρικά και για τις τρεις περιόδους μελέτης και όπως αναφέρθηκε παραπάνω ισχύει το ίδιο για τις περιοχές αναφοράς. Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι οι δείκτες ακρίβειας των ταξινομήσεων υπολογίστηκαν στα ίδια επίπεδα, γεγονός που επιδιώχθηκε να επιτευχθεί, μέσω της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, ώστε οι ταξινομήσεις να θεωρούνται συγκρίσιμες. Οι αποκλίσεις που υπάρχουν οφείλονται στην απουσία δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης για τις δύο

πρώτες περιόδους μελέτης, η οποία οδήγησε στην επιλογή περιοχών εκπαίδευσης με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5.2.4, η οποία όπως φαίνεται από τους δείκτες ακρίβειας οδήγησε και στην επιλογή λανθασμένων περιοχών ή λανθασμένης προσαρμογής των ορίων κάποιων περιοχών. Επίσης, αποκλίσεις είναι δυνατόν να οφείλονται «στην υψηλότερη ποιότητα δεδομένων (λόγος σήματος προς θόρυβο) και τη βελτιωμένη ραδιομετρική ανάλυση-βάθος χρώματος (12-bit) των δεκτών του δορυφόρου Landsat 8, σε σχέση με τους προηγούμενους». (<https://landsat.usgs.gov/how-does-landsat-8-differ-previous-landsat-satellites>).

Τα σφάλματα τα οποία προκύπτουν αιτιολογούνται παρακάτω για κάθε κατηγορία:

- «112-Δόμηση»: Σύγχυση με διάφορα είδη βλάστησης αποδίδεται στον επαρχιακό χαρακτήρα των οικισμών, όπου η δόμηση δεν είναι συνεχής και συνυπάρχει με αυτήν.
- «211-Θερμοκήπια»: Σύγχυση με δόμηση λόγω υψηλής ανακλαστικότητας του υλικού που καλύπτει τις καλλιέργειες, η οποία εμφανίζεται και σε υλικά δόμησης. Σύγχυση με κάποια είδη βλάστησης, διότι τα θερμοκήπια δεν καλύπτονται καθόλη τη διάρκεια του έτους, με αποτέλεσμα εικόνες από εκείνες τις περιόδους να προκαλούν την ταξινόμηση των περιοχών σε κατηγορίες βλάστησης.
- «223-Ελαιώνες»: Σύγχυση με διάφορα είδη βλάστησης λόγω της συνύπαρξης «άγριας» βλάστησης με τις ελιές, κυρίως σε ελαιώνες στο ορεινό τμήμα της περιοχής μελέτης.
- «242-Σύνθ. Συστ. Καλλιέργειας»: Σύγχυση κυρίως με την κατηγορία «321-Φυσικοί Βοσκότοποι». Οι περιοχές αυτές κατά τη χειμερινή περίοδο δεν καλλιεργούνται, οπότε η βλάστηση η οποία παρουσιάζεται μοιάζει με εκείνη των φυσικών βοσκότοπων.
- «311-Πλατύφυλλα»: Συγγέεται κυρίως με σκληροφυλλική βλάστηση και ελαιώνες, λόγω της συνύπαρξης των τριών αυτών καλύψεων, ειδικά στις ορεινές περιοχές της περιοχής μελέτης. Αποδίδεται στο γραμμικό μοτίβο των πλατύφυλλων, κατηγορία που στην πλειοψηφία της περιλαμβάνει πλάτανους, οι οποίοι φύονται κατά μήκος ρεμάτων. Λόγω της αρχικής χωρικής ανάλυσης των 30m και της προκύπτουσας των 15m, είναι αναμενόμενη η φασματική «επιμόλυνση» γραμμικών καλύψεων μικρού πλάτους από γειτονικές καλύψεις, η οποία προκαλεί τη σύγχυση της συγκεκριμένης κατηγορίας. Ουσιαστικά, τα εικονοστοιχεία της κατηγορίας αυτής είναι συνήθως μικτής κάλυψης με τα πλατύφυλλα να υπερέχουν ποσοστιαία
- «312-Κωνοφόρα»: Συγγέεται κυρίως με φυσικούς βοσκότοπους και σκληροφυλλική βλάστηση, κυρίως σε περιοχές οι οποίες τα κωνοφόρα παρουσιάζουν περισσότερο αραιή διάταξη.
- «321-Φυσικοί Βοσκότοποι»: Συγγέεται με διάφορες κατηγορίες για τους λόγους που αναφέρονται σε αυτές.
- «323-Σκληροφυλλική-Βλάστηση»: Συγγέεται με τις υπόλοιπες κατηγορίες βλάστησης λόγω της συνύπαρξης με αυτές.
- «331-Παραλίες/Αμμόλοφοι»: Συγγέεται με την κατηγορία της δόμησης λόγω τις υψηλής ανακλαστικότητας και των δύο και με την κατηγορία των φυσικών βοσκότοπων λόγω της παρουσίας θαμνώδους βλάστησης σε αμμοθίνες.
- «512-Συλλογές Υδάτων»: Δεν παρουσιάζεται σύγχυση.

Κεφάλαιο 5. Μεθοδολογία Ταξινόμησης σε Δεδομένα Πολλαπλών Ημερομηνιών

- «525-Χιόνι»: Σύγκριση με φυσικούς βοσκότοπους, διότι οι δύο αυτές κατηγορίες εναλλάσσονται στις εικόνες κάθε περιόδου, λόγω της εποχικής χιονοκάλυψης των περιοχών.

Ταξινόμηση 1987-1988													
Κατηγορία	112 - Δόμηση	211 - Θερμοκήπια	223 - Ελαιώνες	242 - Σύνθ. Συστ. καλλιέργειας	311 - Πλατύφυλλα	312 - Κωνοφόρα	321 - Φυσικοί Βοσκότοποι	323 - Σκληροφυλλική	331 - Παραλίες/ Αμμόλοφοι	512 - Συλλογές Υδάτων	525 - Χιόνι	Σύνολο	Ακρίβεια Χρήστη (%)
112-Δόμηση	523	41	0	0	0	0	14	0	26	0	0	604	86.59
211-Θερμοκήπια	0	138	0	2	0	0	0	0	0	0	0	140	98.57
223-Ελαιώνες	1	0	540	20	3	0	0	0	0	0	0	564	95.74
242-Σύνθ. Συστ. καλλιέργειας	11	1	0	1115	0	0	0	0	0	0	0	1127	98.94
311-Πλατύφυλλα	0	0	48	0	276	0	0	117	0	0	0	441	62.59
312-Κωνοφόρα	0	0	55	0	0	3022	0	7	0	0	0	3084	97.99
321-Φυσικοί Βοσκότοποι	40	56	0	29	0	401	3529	0	40	0	55	4150	85.04
323-Σκληροφυλλική Βλάστηση	0	0	73	0	26	25	67	1103	0	0	0	1294	85.24
331-Παραλίες/ Αμμόλοφοι	0	0	0	0	0	0	0	0	209	0	0	209	100
512-Συλλογές Υδάτων	0	0	0	0	0	0	0	0	0	378	0	378	100
525-Χιόνι	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5222	5222	100
Σύνολο	575	236	716	1166	305	3448	3610	1227	275	378	5277	17213	
Ακρίβεια Αναλυτή (%)	90.96	58.47	75.42	95.63	90.49	87.65	97.76	89.89	76.00	100	99		
Δείκτης Κ: 0.916633 Ακρίβεια ταξινόμησης (%): 93.27													

Πίνακας 5-9: Πίνακας σύγκρισης ταξινόμησης περιόδου μελέτης 1987-1988.

Κεφάλαιο 5. Μεθοδολογία Ταξινόμησης σε Δεδομένα Πολλαπλών Ημερομηνιών

Ταξινόμηση 2000													
Κατηγορία	112 - Δόμηση	211 - Θερμοκήπια	223 - Ελαιώνες	242 - Σύνθ. Συστ. καλλιέργειας	311 - Πλατύφυλλα	312 - Κωνοφόρα	321 - Φυσικοί Βοσκότοποι	323 - Σκληροφυλλική	331 - Παραλίες/ Αμμόλοφοι	512 - Συλλογές Υδάτων	525 - Χιόνι	Σύνολο	Ακρίβεια Χρήστη (%)
112-Δόμηση	553	13	0	8	0	7	0	9	16	0	0	606	91.25
211-Θερμοκήπια	3	211	0	7	0	0	0	0	0	0	0	221	95.48
223-Ελαιώνες	0	0	542	10	16	0	0	1	0	0	0	569	95.25
242-Σύνθ. Συστ. καλλιέργειας	5	0	13	1030	0	0	4	0	0	0	0	1052	97.91
311-Πλατύφυλλα	0	0	67	0	270	0	0	47	0	0	0	384	70.31
312-Κωνοφόρα	0	0	16	0	0	2896	0	2	0	0	0	2914	99.38
321-Φυσικοί Βοσκότοποι	14	12	13	110	0	115	3503	10	43	0	163	3983	87.95
323-Σκληροφυλλική Βλάστηση	0	0	65	1	19	430	103	1158	0	0	0	1776	65.20
331-Παραλίες/ Αμμόλοφοι	0	0	0	0	0	0	0	0	216	0	0	216	100
512-Συλλογές Υδάτων	0	0	0	0	0	0	0	0	0	378	0	378	100
525-Χιόνι	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5114	5114	100
Σύνολο	575	236	716	1166	305	3448	3610	1227	275	378	5277	17213	
Ακρίβεια Αναλυτή (%)	96.17	89.41	75.70	88.34	88.52	83.99	97.04	94.38	78.55	100	96.91		
Δείκτης Κ: 0.903887 Ακρίβεια ταξινόμησης (%): 92.20													

Πίνακας 5-10: Πίνακας σύγκρισης ταξινόμησης περιόδου μελέτης 2000.

Ταξινόμηση 2015-2016													
Κατηγορία	112 - Δόμηση	211 - Θερμοκήπια	223 - Ελαιώνες	242 - Σύνθ. Συστ. καλλιέργειας	311 - Πλατύφυλλα	312 - Κωνοφόρα	321 - Φυσικοί Βοσκότοποι	323 - Σκληροφυλλική	331 - Παραλίες/ Αμμόλοφοι	512 - Συλλογές Υδάτων	525 - Χιόνι	Σύνολο	Ακρίβεια Χρήστη (%)
112-Δόμηση	541	37	1	42	0	38	0	6	3	0	0	668	80.99
211-Θερμοκήπια	0	187	0	4	0	0	0	0	0	0	0	191	98
223-Ελαιώνες	2	0	699	35	1	0	0	0	0	0	0	737	94.84
242-Σύνθ. Συστ. καλλιέργειας	2	0	0	957	1	1	0	0	0	0	0	961	99.58
311-Πλατύφυλλα	0	0	0	0	295	0	0	74	0	0	0	369	79.95
312-Κωνοφόρα	0	0	0	0	0	2819	0	0	0	0	0	2819	100
321-Φυσικοί Βοσκότοποι	30	12	7	128	0	443	3571	15	78	0	40	4324	82.59
323-Σκληροφυλλική Βλάστηση	0	0	9	0	8	146	39	1132	0	0	0	1334	84.86
331-Παραλίες/ Αμμόλοφοι	0	0	0	0	0	0	0	0	194	0	0	194	100
512-Συλλογές Υδάτων	0	0	0	0	0	0	0	0	0	378	0	378	100
525-Χιόνι	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5237	5238	99.98
Σύνολο	575	236	716	1166	305	3448	3610	1227	275	378	5277	17213	
Ακρίβεια Αναλυτή (%)	94.09	79.24	97.63	82.08	96.72	81.76	98.92	92.26	71	100	99		
Δείκτης Κ: 0.913465 Ακρίβεια ταξινόμησης (%): 93.01													

Πίνακας 5-11: Πίνακας σύγκρισης ταξινόμησης περιόδου μελέτης 2015-2016.

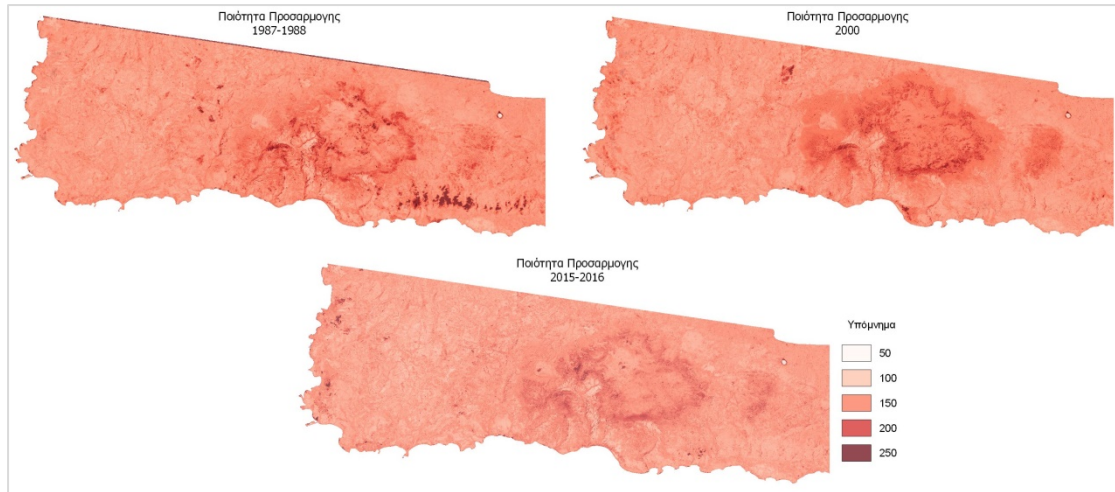
5.8. Χωρική Θέση Κύριων Σφαλμάτων

Σημαντική είναι, όμως, και η χωρική διάσταση της αξιολόγησης, η οποία μπορεί να υποδείξει τις περιοχές στις οποίες εμφανίζονται τα μεγαλύτερα σφάλματα, ώστε να εξαχθούν πιθανά συμπεράσματα για την αξιοπιστία των ταξινομήσεων. Για το λόγο αυτόν εξάχθηκε, μέσω του GRASS GIS, το raster επίπεδο της «Ποιότητας Προσαρμογής» (Goodness of Fit) για κάθε ταξινόμηση. Σύμφωνα με την ιστοσελίδα του εργαλείου i.smap (<https://grass.osgeo.org/grass73/manuals/i.smap.html>): «Ο βαθμός λανθασμένης ταξινόμησης μπορεί να διερευνηθεί μέσω του επιπέδου της 'ποιότητας προσαρμογής'. Τα εικονοστοιχεία που κατατάσσονται στο άνω 5-15% των τιμών του ίσως χρειάζονται επανεξέταση». Οι τιμές του συγκεκριμένου επιπέδου αντιπροσωπεύουν την απόσταση του κάθε εικονοστοιχείου από την κατηγορία στην οποία ταξινομήθηκε, οπότε οι χαμηλότερες τιμές αποτελούν δείγμα μεγαλύτερης πιθανότητας να έχει ταξινομηθεί ορθά.

Στην **Εικόνα 5-18** παρουσιάζονται τα επίπεδα της ποιότητας προσαρμογής για κάθε ταξινόμηση. Μία πρώτη παρατήρηση είναι το γεγονός της εμφάνισης υψηλών τιμών στην περιοχή των Λευκών Ορέων, γεγονός αναμενόμενο διότι όπως παρουσιάστηκε και στην **Εικόνα 5-3**, στη συγκεκριμένη περιοχή έχουν ληφθεί ελάχιστες περιοχές εκπαίδευσης, λόγω εποχικής χιονοκάλυψης. Επίσης, για την εκπαίδευση του ταξινομητή για την κατηγορία «525-Χιόνι», λήφθηκαν περιοχές πυκνής χιονοκάλυψης κοινές και για τις τρεις περιόδους μελέτης. Συμπερασματικά, ο ταξινομητής δεν έχει λάβει πληροφορία για να μπορέσει να ταξινομήσει με βεβαιότητα τις περιοχές εκείνες στις οποίες η χιονοκάλυψη δεν είναι τόσο πυκνή. Για το λόγο αυτό παρατηρούμε στην **Εικόνα 5-18** να σχηματίζεται ένας δακτύλιος υψηλών τιμών γύρω από τα Λευκά Όρη, ο οποίος εκφράζει την αβεβαιότητα της ταξινόμησης της συγκεκριμένης περιοχής ανάμεσα στην κατηγορία «525-Χιόνι» και σε κατηγορίες φυσικής βλάστησης.

Επίσης, έχουμε έντονα υψηλές τιμές ποιότητας προσαρμογής, εάν υπάρχει νεφοκάλυψη σε μία εκ των εικόνων που ταξινομήθηκαν. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα στο νοτιοανατολικό τμήμα του επιπέδου της ποιότητας προσαρμογής για την περίοδο 1987-1988, που προκύπτει από την ύπαρξη σύννεφων στη δορυφορική εικόνα LT41820361988341. Οι υψηλές τιμές σε περιοχές με νεφοκάλυψη είναι επίσης αναμενόμενες, διότι δε δόθηκαν περιοχές εκπαίδευσης για κατηγορία σύννεφου η φασματική υπογραφή της οποίας, απέχει σημαντικά από των δοθέντων κατηγοριών.

Κεφάλαιο 5. Μεθοδολογία Ταξινόμησης σε Δεδομένα Πολλαπλών Ημερομηνιών



Εικόνα 5-18: Ποιότητας Προσαρμογής ταξινομήσεων (Goodness of Fit).

6. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ

Οι στατιστικοί υπολογισμοί επί των ταξινομημένων εκτάσεων, οι οποίοι θα πραγματοποιηθούν παρακάτω, πρέπει να αναφερθεί ότι συνοδεύονται από τα σφάλματα των ταξινομήσεων, όπως αυτά περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 5.6. Οι ταξινομήσεις δεν είναι δυνατόν να είναι αλάνθαστες, δόθηκε όμως ιδιαίτερο βάρος, ώστε τα σφάλματά τους να είναι κοινά, οπότε να αποφεύγονται ψευδείς εντοπισμοί αλλαγών. Εάν για παράδειγμα, λόγω λανθασμένων περιοχών εκπαίδευσης, ο ταξινομητής εντοπίζει περιοχές της κατηγορίας «321-Φυσικοί Βοσκότοποι» σε περιοχές που στην πραγματικότητα καλύπτονται από την κατηγορία «323-Σκληροφυλλική Βλάστηση», λόγω των κοινών περιοχών εκπαίδευσης και για τις τρεις περιόδους μελέτης, δεν θα εντοπιστεί στατιστικά εσφαλμένη αλλαγή κάλυψης από τη μία περίοδο στην άλλη, διότι το ίδιο λάθος θα υπάρχει και στις τρεις ταξινομήσεις. Οι παρακάτω ενέργειες έγιναν ώστε να καταστήσουν τις ταξινομήσεις συγκρίσιμες, σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βαθμό:

- Επιλογή δορυφορικών εικόνων για τις τρεις περιόδους μελέτης, οι οποίες έχουν ληφθεί όσο το δυνατόν πιο κοντά ημερολογιακά.
- Κοινή τακτική προεπεξεργασίας των εικόνων (ατμοσφαιρική διόρθωση, σχετική ραδιομετρική κανονικοποίηση, βελτίωση χωρικής ανάλυσης).
- Κοινές περιοχές εκπαίδευσης για τις τρεις ταξινομήσεις.
- Συμμετοχή αντίστοιχων φασματικών και βοηθητικών επιπέδων σε κάθε ταξινόμηση.
- Σύγκριση των στατιστικών μόνο για το κοινό τμήμα των τριών ταξινομήσεων.

6.1. Προεπεξεργασία Αποτελεσμάτων

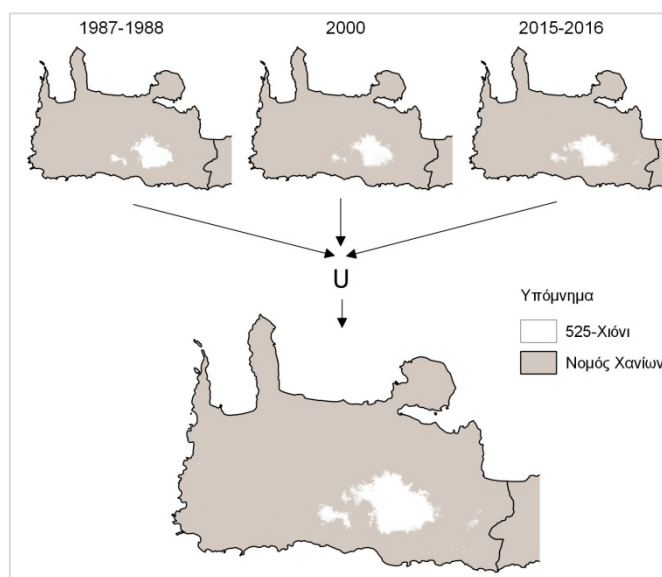
Για να παρουσιαστούν συγκριτικά διαγράμματα των διαφόρων κατηγοριών που ταξινομήθηκαν επιλέχθηκε να αποκλειστεί η κατηγορία «525-Χιόνι». Το χιόνι αποτελεί μεν φασματική κατηγορία, αλλά όχι σταθερή κάλυψη εντός της κάθε περιόδου που εξετάζεται. Εάν είχαν πραγματοποιηθεί ανεξάρτητες ταξινομήσεις για κάθε εικόνα της κάθε περιόδου, η έκταση της κάλυψης για την κατηγορία του χιονιού θα άλλαζε σημαντικά ανάλογα με την εποχή λήψης της εκάστοτε δορυφορικής εικόνας. Επίσης, υπάρχει εξάρτηση της αναγνώρισης της συγκεκριμένης κατηγορίας από την ημερομηνία λήψης των εικόνων που επιλέχθηκαν για την κάθε ταξινόμηση, οι οποίες δεν συμπίπτουν μεταξύ τους ανά περίοδο μελέτης. Αλλά, και στην ιδεατή περίπτωση, όπου θα ήταν δυνατή η εφαρμογή ταξινομήσεων με εικόνες που συμπίπτουν ημερολογιακά για κάθε έτος μελέτης, η αναγνώριση της συγκεκριμένης κατηγορίας δεν θα ήταν αντικειμενική, λόγω πιθανών διαφορετικών ετήσιων καιρικών συνθηκών.

Οι κατηγορίες, οι οποίες καλύπτονται φασματικά από το χιόνι, μπορεί να είναι διαφορετικές ανά περιοχή και ανά περίοδο μελέτης. Λόγω της μεθοδολογίας η οποία ακολουθήθηκε για την ταξινόμηση, δεν είναι δυνατόν οι κατηγορίες αυτές να αναγνωριστούν. Σε συνδυασμό με το γεγονός της διαφορετικής έκτασης και χωρικής

διασποράς της κατηγορίας «525-Χιόνι» σε κάθε περίοδο μελέτης, η σύγκριση στατιστικών κάλυψης, συμπεριλαμβάνοντας τη συγκεκριμένη κατηγορία, δε θεωρείται αξιόπιστη.

Για να γίνει σαφής ο λόγος ανάγκης αποκλεισμού της συγκεκριμένης κατηγορίας από τη διαδικασία σύγκρισης των στατιστικών κάλυψης, δίνεται το ακραίο παράδειγμα, όπου, για μία συγκεκριμένη περιοχή, κατά το έτος α η χιονόπτωση ήταν μηδενική, ενώ κατά το έτος β η χιονόπτωση ήταν η τυπική. Εάν συγκρίναμε στατιστικά κάλυψης των δύο αυτών ετών θα προέκυπταν αυξημένες τιμές μεταβολής για τις καλύψεις οι οποίες μπορούν να αναγνωριστούν στο έτος α, αλλά καλύπτονται από χιόνι στο έτος β, τιμές οι οποίες όμως θα συνέπιπταν, εάν πραγματοποιούσαμε ταξινόμηση μόνο με εικόνες καλοκαιρινών μηνών, οπότε και για τα δύο έτη η χιονοκάλυψη θα ήταν μηδενική.

Με δεδομένη την αδυναμία αναγνώρισης των κατηγοριών, οι οποίες καλύπτονται από την κατηγορία «525-Χιόνι», αυτή αποκλείεται από των υπολογισμό ποσοστιαίων καλύψεων. Τέλος, για να είναι αντικειμενική η σύγκριση και διαχρονικά πρέπει να εφαρμοστεί σε ταυτόσημες εκτάσεις, οπότε η περιοχή η οποία αποκλείεται αποτελεί την ένωση (union) των περιοχών, όλων των περιόδων μελέτης, οι οποίες ταξινομήθηκαν στην κατηγορία «525-Χιόνι». Στην **Εικόνα 6-1** παρουσιάζεται η αποκλεισμένη, από την εξαγωγή ποσοστιαίων καλύψεων, περιοχή.

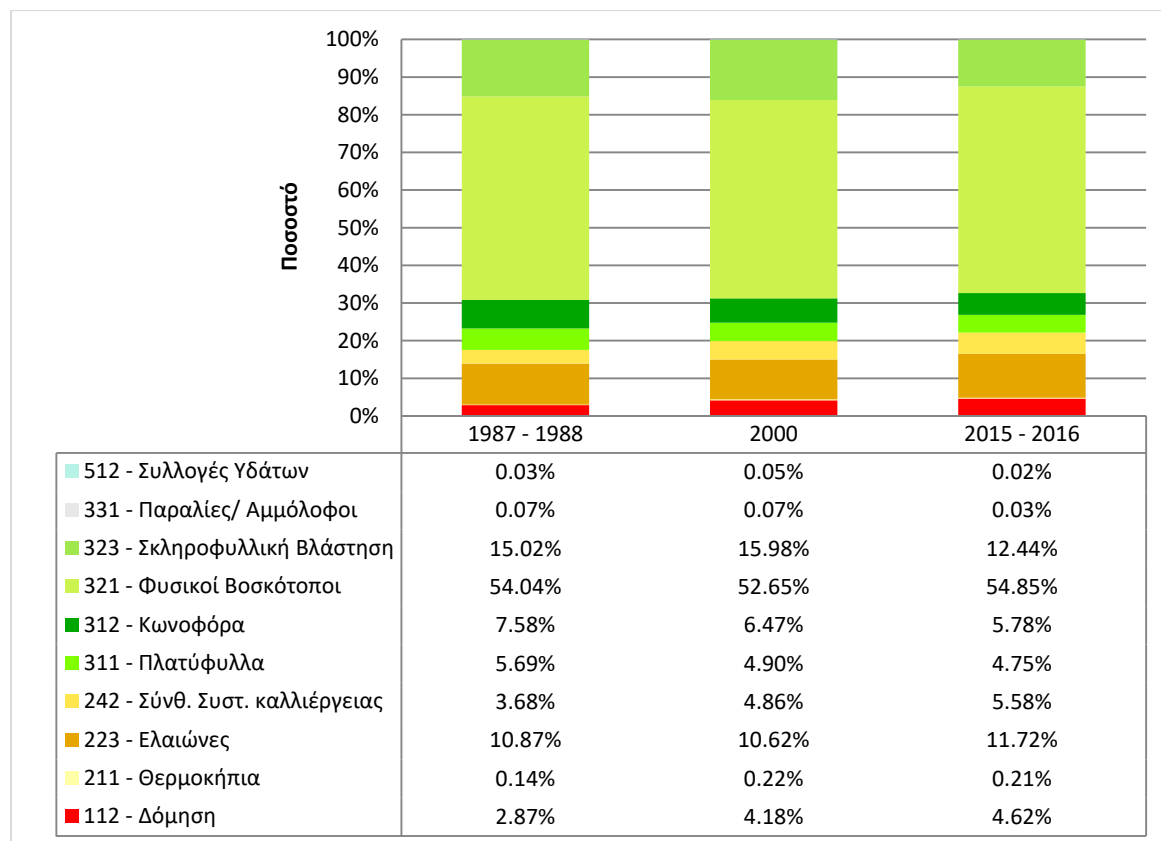


Εικόνα 6-1: Η περιοχή που αποκλείεται από την εξαγωγή ποσοστιαίων καλύψεων.

6.2. Συγκριτικά Στατιστικά για τις Αρχικές Κατηγορίες

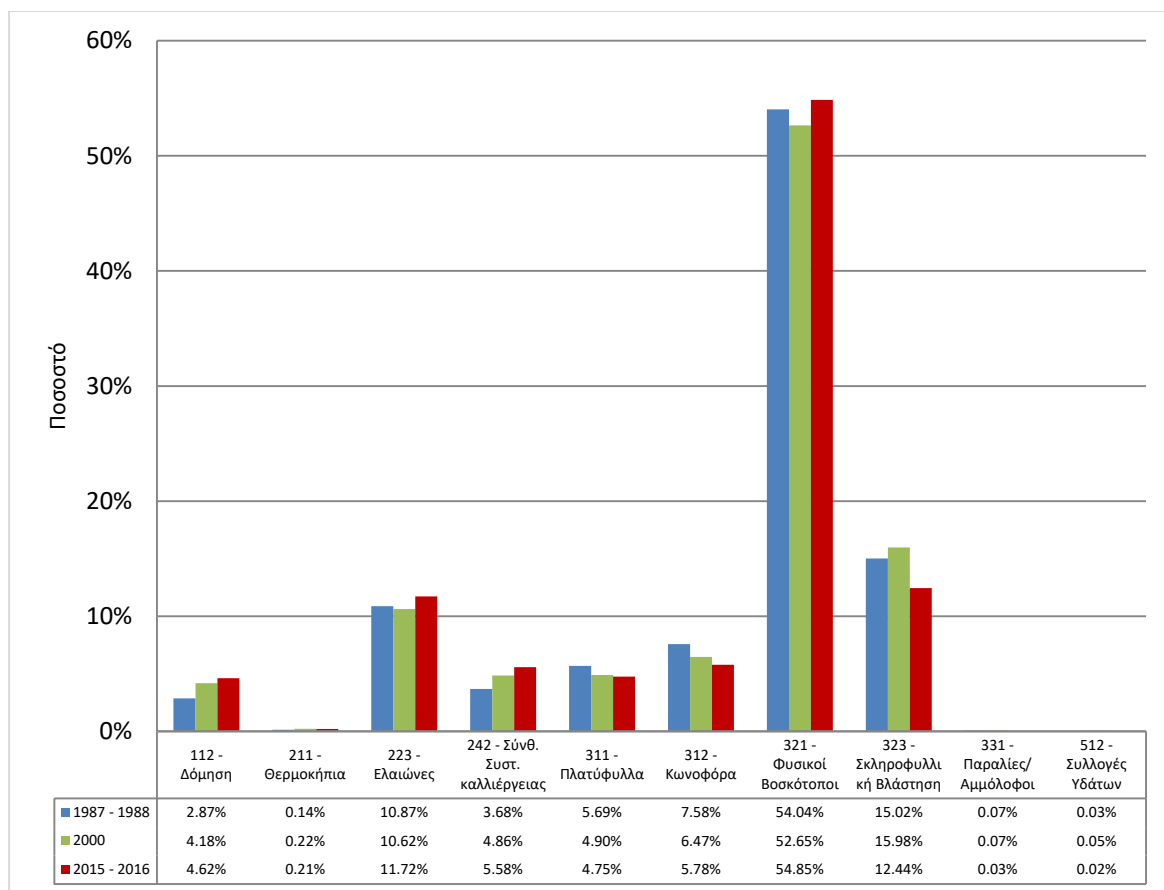
Έπειτα από τον αποκλεισμό της ένωσης των περιοχών με χιονοκάλυψη, η έκταση η οποία εξετάζεται είναι περίπου 1620km². Στο **Διάγραμμα 6-1** παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή των ταξινομημένων κατηγοριών κάλυψης γης ανά περίοδο μελέτης. Από το διάγραμμα αυτό μπορούμε να βγάλουμε βασικά συμπεράσματα για το χαρακτήρα και τις δραστηριότητες της περιοχής. Βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνεται από φυσική βλάστηση (βοσκότοποι, σκληροφυλλική βλάστηση, δασικές εκτάσεις), ενώ η

πλειοψηφία της αγροτικής δραστηριότητας αφορά ελιές και δευτερεύουσες έρχονται άλλες μη δενδρώδεις καλλιέργειες, καθώς και θερμοκήπια.



Διάγραμμα 6-1: Ποσοστιαία κατανομή καλύψεων γης ανά περίοδο μελέτης.

Για την ανάλυση των μεταβολών των κατηγοριών χρησιμοποιείται το **Διάγραμμα 6-2**. Εδώ παρατηρούμε ότι γενικά οι μεταβολές στην περιοχή δεν είναι δραστικές και κυμαίνονται, σε απόλυτες τιμές, από 0% έως 3.5%. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα μπορούμε να παρατηρήσουμε τη σταθερά αυξητική πορεία, την οποία ακολουθούν οι κατηγορίες οι οποίες αφορούν ανθρώπινη δραστηριότητα, και την αντίστοιχα πτωτική εκείνων που αφορούν το φυσικό τοπίο. Εξάιρεση, όσον αφορά το φυσικό τοπίο, αποτελεί η κατηγορία «321-Φυσικοί Βοσκότοποι» η οποία παρουσιάζει αύξηση, γεγονός λογικό, εάν σκεφτούμε ότι ειδικά οι δασικές εκτάσεις, οι οποίες μειώθηκαν κατά βάση από πυρκαγιές, λόγω νομοθετικού πλαισίου, δε θα μπορούσαν να αλλάξουν χρήση, οπότε μέχρι πιθανή αναγέννηση τους, φασματικά, ομοιάζουν με την κατηγορία των βοσκότοπων.



Διάγραμμα 6-2: Ποσοστά Καλύψεων Γης ανά Περίοδο Μελέτης.

6.3. Συγκριτικά Στατιστικά έπειτα από Συγχώνευση Κατηγοριών

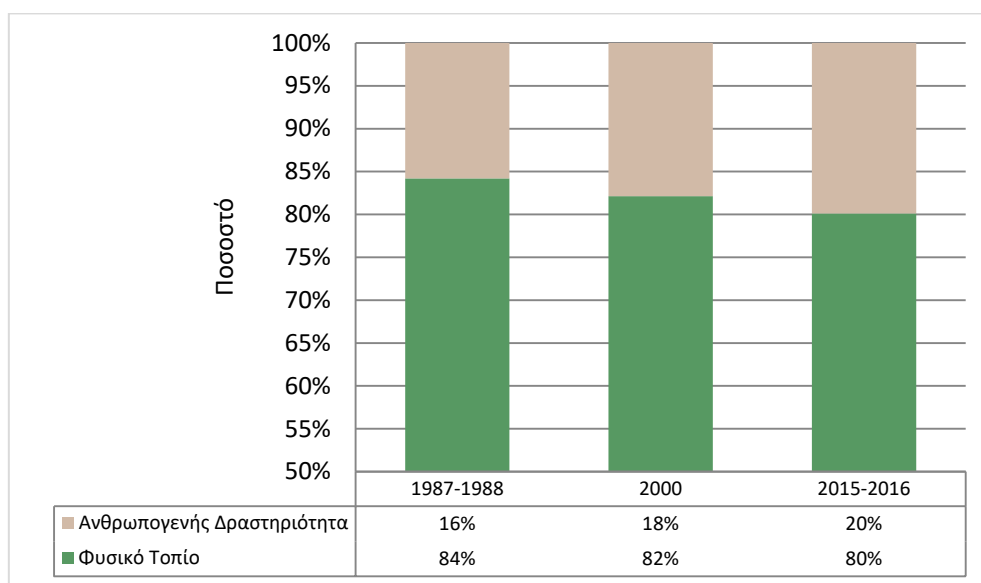
6.3.1. Σύγκριση ανθρωπογενούς δραστηριότητας-φυσικού τοπίου

Έχοντας παρατηρήσει προηγουμένως την αυξητική τάση κατηγοριών που σχετίζονται με ανθρωπογενείς δραστηριότητες και την αντίστοιχα πτωτική εκείνων που αφορούν το φυσικό τοπίο, θεωρήθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθεί περαιτέρω ανάλυση. Έπειτα από επανακατηγοριοποίηση των ταξινομημένων κατηγοριών στις δύο αυτές κατηγορίες, με την αντιστοίχιση που παρουσιάζεται στον πίνακα 6-1, οι ποσοστιαίες κατανομές τους, ανά περίοδο μελέτης, παρουσιάζονται στο **διάγραμμα 6-3**. Να σημειωθεί ότι για τη συγκεκριμένη ανάλυση η κατηγορία «525-Χιόνι» δεν υπάρχει λόγος να αφαιρεθεί, διότι θεωρείται ότι οι κατηγορίες οι οποίες καλύπτονται από αυτήν αντιστοιχούν σε μία ή περισσότερες εκ των κατηγοριών του φυσικού τοπίου, και συγκεκριμένα στις κατηγορίες «312-Κωνοφόρα», «321-Φυσικοί Βοσκότοποι» και «323-Σκληροφυλλική Βλάστηση».

Αρχική Κατηγορία	Τελική Κατηγορία
112 - Δόμηση	Ανθρωπογενής Δραστηριότητα
211 - Θερμοκήπια	
223 - Ελαιώνες	
242 - Σύνθ. Συστ. Καλλιέργειας	
311 - Πλατύφυλλα	Φυσικό Τοπίο
312 - Κωνοφόρα	
321 - Φυσικοί Βοσκότοποι	
323 - Σκληροφυλλική Βλάστηση	
331 - Παραλίες/ Αμμόλοφοι	
512 - Συλλογές Υδάτων	
525 - Χιόνι	

Πίνακας 6-1: Επανακατηγοριοποίηση αρχικών κατηγοριών ταξινόμησης σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες και φυσικό τοπίο.

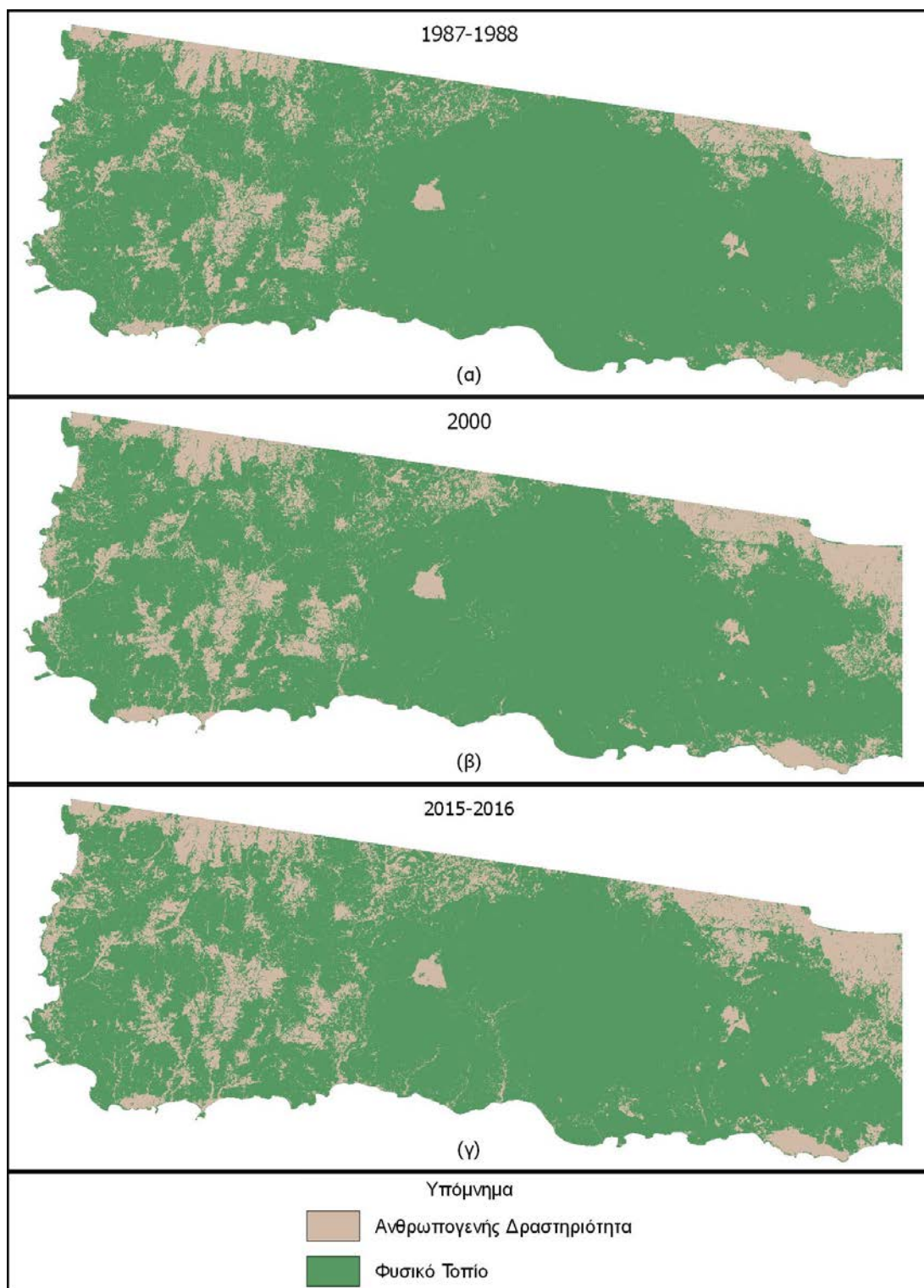
Στο **Διάγραμμα 6-3** παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή των καλύψεων γης για τις νέες κατηγορίες, με εμφανή την προσχώρηση ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε εκτάσεις φυσικής βλάστησης. Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται, κυρίως, ως ανάπτυξη της αγροτικής δραστηριότητας στην περιοχή μελέτης, και δευτερευόντως ως οικιστική ανάπτυξη.



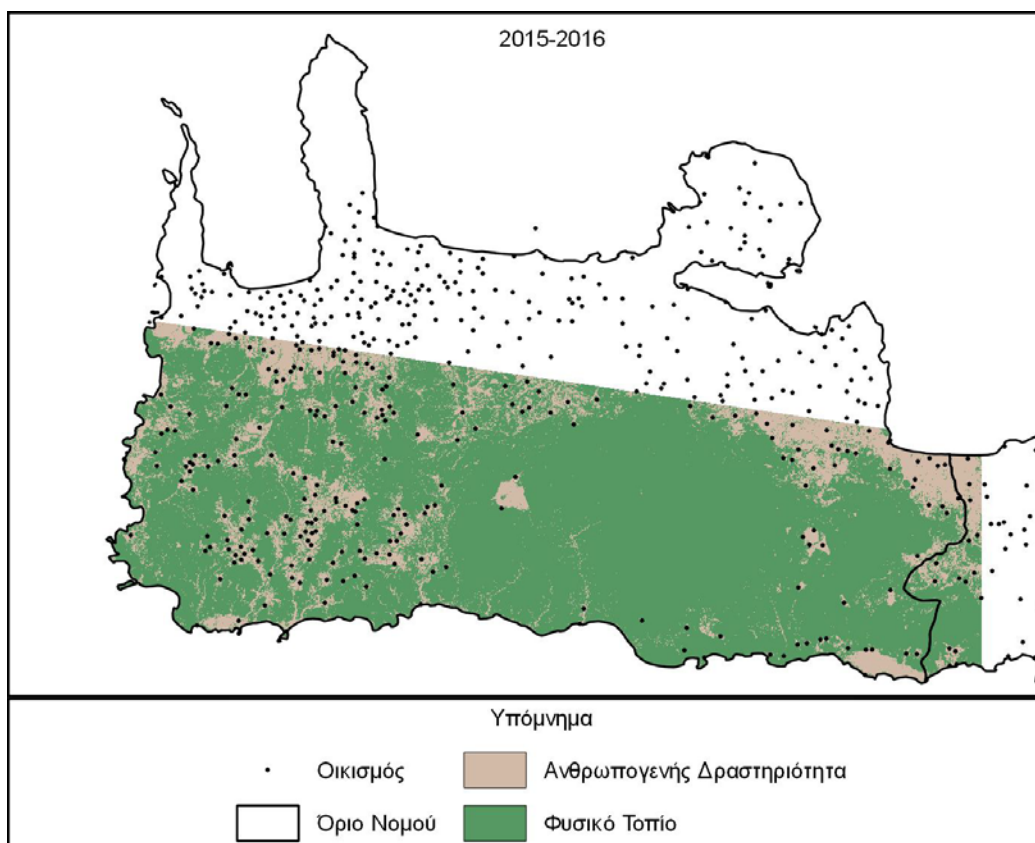
Διάγραμμα 6-3: Ποσοστιαία κατανομή καλύψεων γης ανά περίοδο μελέτης, σύγκριση φυσικού τοπίου με ανθρωπογενή δραστηριότητα.

Το **διάγραμμα 6-3** παρουσιάζεται και χαρτογραφικά στην **εικόνα 6-2**, ώστε να γίνει σαφής η χωρική διασπορά των κατηγοριών. Όπως είδαμε, οι καλύψεις οι οποίες σχετίζονται με ανθρωπογενή δραστηριότητα, αποτελούνται κατά βάση από καλλιέργειες. Με υπέρθεση διανυσματικού επιπέδου των οικισμών της περιοχής (<http://geodata.gov.gr/dataset/oikismoι>) παρατηρούμε στην **εικόνα 6-3** το ευνόητο συμπέρασμα της χωρικής διασποράς των καλύψεων που σχετίζονται με ανθρωπογενή

δραστηριότητα στο κατοικημένο τμήμα της περιοχής μελέτης ή αντίστροφα την ανάπτυξη ανθρωπογενούς δραστηριότητας στις περιοχές με δυνατότητα αγροτικής ανάπτυξης.



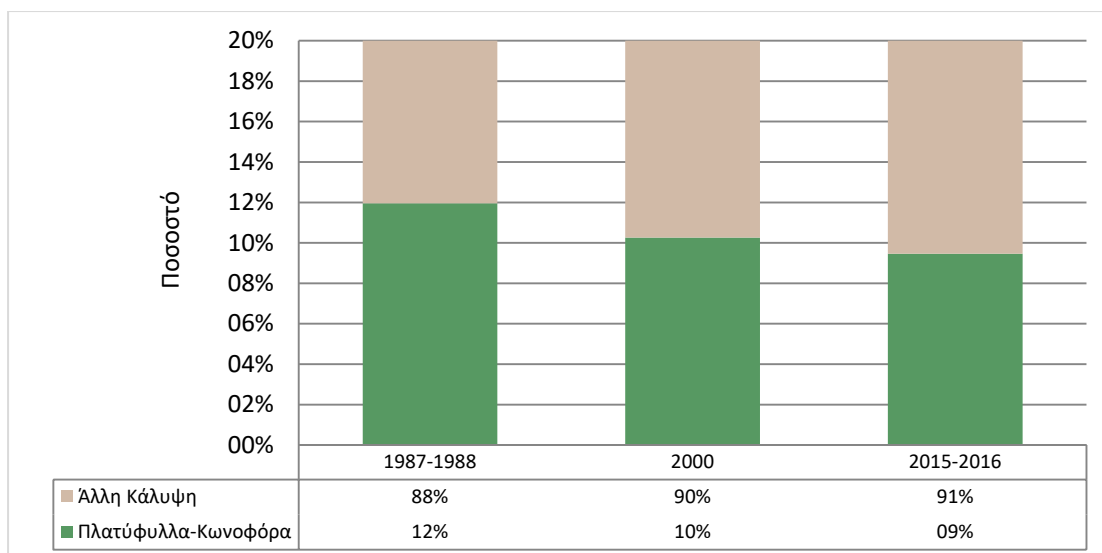
Εικόνα 6-2: Χάρτης ποσοστιαίας κατανομής καλύψεων γης ανά περίοδο μελέτης, σύγκριση φυσικού τοπίου με ανθρωπογενή δραστηριότητα.



Εικόνα 6-3: Χάρτης καλύψεων γης για την περίοδο 2015-2016, σύγκριση φυσικού τοπίου με ανθρωπογενή δραστηριότητα και υπέρθεση διανυσματικού επιπέδου οικισμών.

6.3.2. Σύγκριση δενδρωδών δασικών εκτάσεων-άλλες καλύψεις

Μία ακόμη γενικευμένη κατηγορία, η διαχρονική πορεία της οποίας παρουσιάζει ενδιαφέρον να αναλυθεί, είναι αυτή των δενδρωδών δασικών εκτάσεων, δηλαδή οι κατηγορίες «311-Πλατύφυλλα» και «312-Κωνοφόρα». Πραγματοποιήθηκε, όπως παραπάνω μία επαναταξινόμηση των αρχικών κατηγοριών σε δύο νέες, σε αυτή των κωνοφόρων-πλατύφυλλων και στις λοιπές κατηγορίες. Στο **διάγραμμα 6-4** βλέπουμε την ποσοστιαία κατανομή κάλυψης ανά περίοδο μελέτης των δύο νέων κατηγοριών. Παρατηρούμε σταθερή πορεία προσχώρησης των υπόλοιπων κατηγοριών σε εκτάσεις κωνοφόρων-πλατύφυλλων, της τάξης του 1%-2% ανά περίοδο μελέτης.



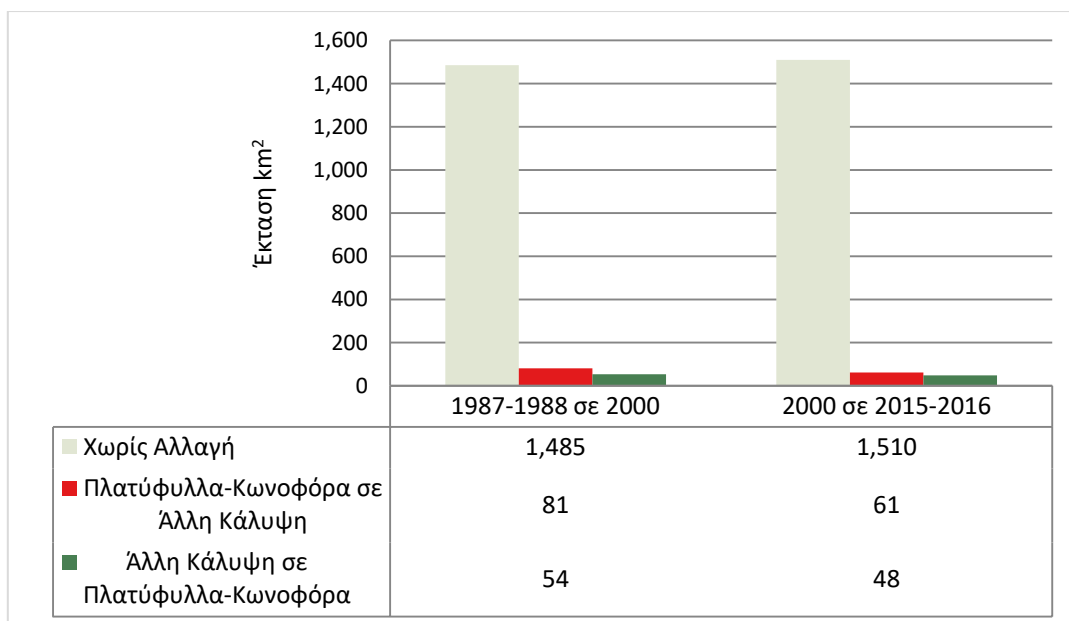
Διάγραμμα 6-4: Ποσοστιαία κατανομή καλύψεων γης ανά περίοδο μελέτης, σύγκριση πλατύφυλλων-κωνοφόρων με άλλη κάλυψη.

Στο **διάγραμμα 6-5** παρουσιάζονται οι μεταβολές σε km^2 , ανά ζευγάρια περιόδων μελέτης, ανάμεσα στις παραπάνω κατηγορίες, διότι η μεταβολή η οποία εξήχθη από το παραπάνω διάγραμμα, εξετάζοντας ανεξάρτητα την κάθε περίοδο μελέτης, πρέπει να αναλυθεί σε δύο διαδικασίες, ώστε να μπορέσουμε να κατανοήσουμε την έννοιά της. Οι διαδικασίες αυτές είναι η συρρίκνωση των δενδρωδών δασικών εκτάσεων λόγω πυρκαγιάς ή/και υλοτομίας, και η αναγέννηση νέων δασών φυσικά, είτε μέσω αναδάσωσης. Για τον παραπάνω λόγο, στο **διάγραμμα 6-5** παρουσιάζονται συγκριτικά αποτελέσματα των μεταβολών των καλύψεων ανά ζεύγος περιόδων μελέτης, για τις τρεις πιθανές περιπτώσεις. Οι περιπτώσεις αυτές είναι: (α) ένα εικονοστοιχείο να ταξινομήθηκε στην ίδια κατηγορία για τις δύο περιόδους μελέτης του κάθε ζεύγους, είτε αυτή η κατηγορία είναι των πλατύφυλλων-κωνοφόρων είτε των άλλων καλύψεων, (β) ένα εικονοστοιχείο το οποίο είχε ταξινομηθεί ως πλατύφυλλα-κωνοφόρα στην πρώτη περίοδο μελέτης του ζεύγους, ταξινομήθηκε στις λοιπές κατηγορίες στη δεύτερη, (γ) ένα εικονοστοιχείο το οποίο είχε ταξινομηθεί στις λοιπές κατηγορίες στην πρώτη περίοδο μελέτης του ζεύγους, ταξινομήθηκε ως πλατύφυλλα-κωνοφόρα στη δεύτερη.

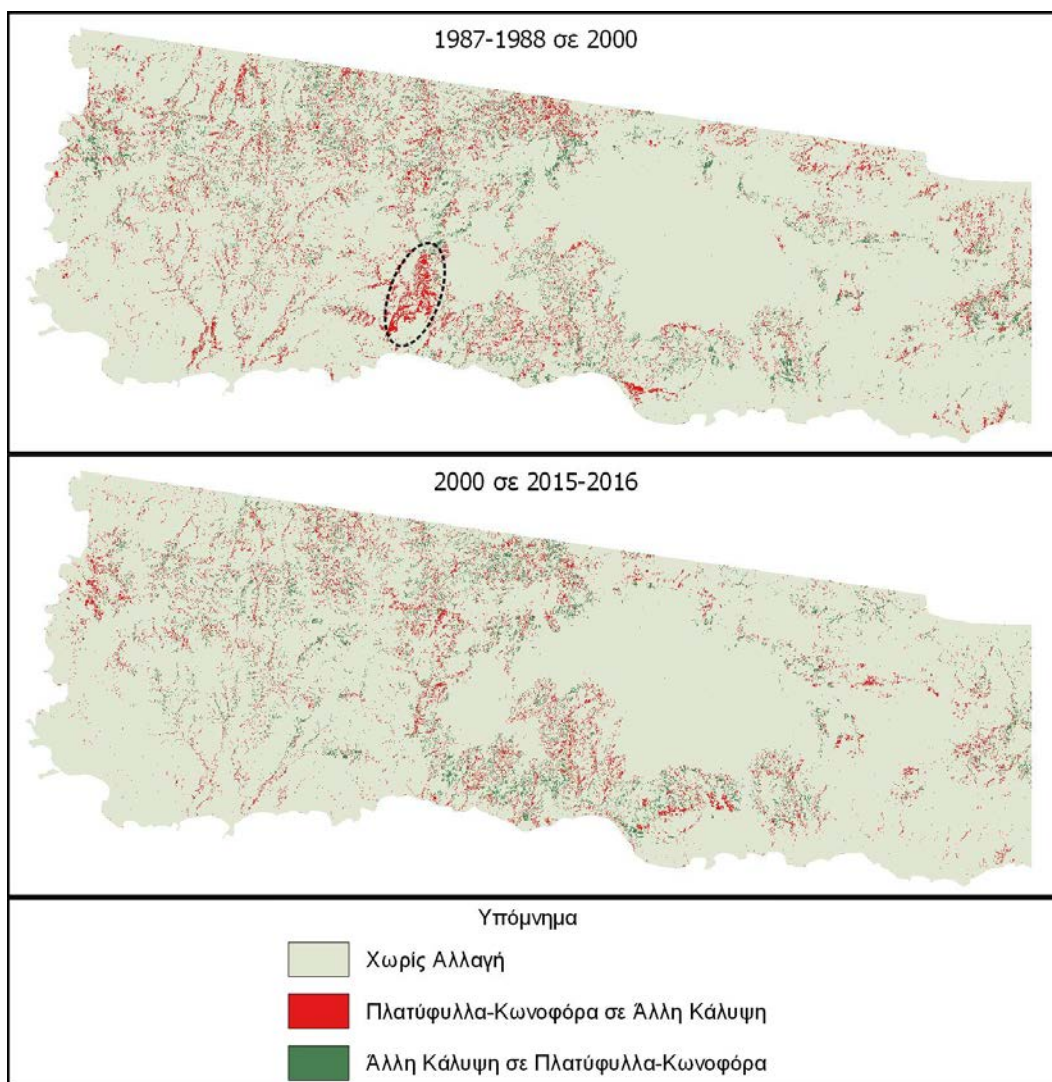
Παρατηρούμε, εξετάζοντας το διάγραμμα, ότι η μείωση του 1%-2% που αναφέρθηκε παραπάνω, η οποία αντιστοιχεί σε περίπου $16\text{-}32\text{km}^2$ ανά περίοδο μελέτης, αντιστοιχεί ουσιαστικά σε απώλεια πλατύφυλλων-κωνοφόρων έκτασης $61\text{-}81\text{km}^2$ ανά περίοδο μελέτης, η οποία όμως αντισταθμίζεται από δασική αναγέννηση.

Στην **εικόνα 6-4** παρουσιάζονται χαρτογραφικά οι αλλαγές, οι οποίες εντοπίστηκαν στο **διάγραμμα 6-5**.

Κεφάλαιο 6. Συγκριτικά Στατιστικά Κατηγοριών Κάλυψης Γης



Διάγραμμα 6-5: Μεταβολές καλύψεων γης, σύγκριση πλατύφυλλων-κωνοφόρων με άλλη κάλυψη.



Εικόνα 6-4: Χαρτογραφική απεικόνιση μεταβολών καλύψεων γης, σύγκριση πλατύφυλλων-κωνοφόρων με άλλη κάλυψη.

Από την **εικόνα 6-4** μπορούν να εξαχθούν ενδιαφέροντα συμπεράσματα σχετικά με τη σχέση ανάπτυξης της ανθρωπογενούς δραστηριότητας και υποχώρησης των δενδρωδών δασικών καλύψεων. Παρατηρούμε επίσης, στην περιοχή εντός της έλλειψης, την ορθή αναγνώριση συρρίκνωσης δάσους κωνοφόρων, έπειτα από πυρκαγιά στην περιοχή Σούγια-Φαράγγι Αγίας Ειρήνης στις αρχές της δεκαετίας του 1990.

6.4. Σύγκριση Αποτελεσμάτων με το Corine Land Cover

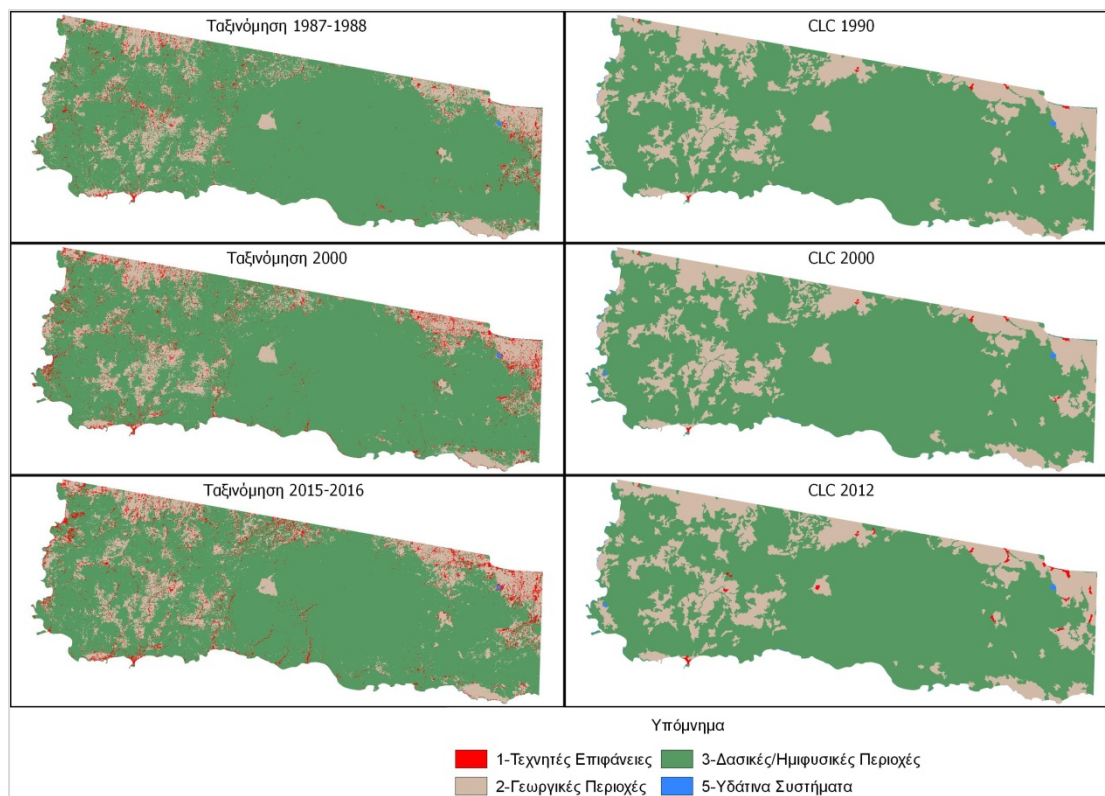
Όπως και στον πίνακα 5-4 του κεφαλαίου 5.2.1, πραγματοποιήθηκε επανακατηγοριοποίηση των ταξινομήσεων και των πλησιέστερων σε αυτές CLC, σύμφωνα με το επίπεδο 1 του CLC. Για την ταξινόμηση της περιόδου 1987-1988 χρησιμοποιήθηκε το CLC 1990, για εκείνη της περιόδου 2000 χρησιμοποιήθηκε το CLC 2000 και για της περιόδου 2015-2015 το CLC 2012.

Τα ποσοστά που προκύπτουν παρουσιάζονται στον πίνακα 6-2. Οι αποκλίσεις από τη σύγκριση των ταξινομήσεων με τα CLC κυμαίνονται σε απόλυτες τιμές από 0.02% έως και 12.21%. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις εμφανίζονται στις κατηγορίες 2 και 3, οι οποίες αντιπροσωπεύουν βλάστηση, γεωργική και δασική/ημιφυσική αντίστοιχα.

Κατηγορία (Επίπεδο 1 CLC)	Ποσοστό % Εμβαδού Ταξινόμησης 1987-1988	Ποσοστό % Εμβαδού κατά CLC 1990	Ποσοστό % Εμβαδού Ταξινόμησης 2000	Ποσοστό % Εμβαδού κατά CLC 2000	Ποσοστό % Εμβαδού Ταξινόμησης 2015-2016	Ποσοστό % Εμβαδού κατά CLC 2012
1-Τεχνητές Επιφάνειες	2.59	0.12	3.75	0.12	4.15	0.33
2-Γεωργικές Περιοχές	13.21	21.07	14.11	21.23	15.72	27.93
3-Δασικές/Ημιφυσικές Περιοχές	84.18	78.78	82.10	78.62	80.11	71.69
5-Υδάτινα Συστήματα	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.05
Σύνολο	100	100	100	100	100	100

Πίνακας 6-2: Σύγκριση αποτελεσμάτων ταξινομήσεων και CLC, έπειτα από επανακατηγοριοποίηση σε επίπεδο 1 του CLC.

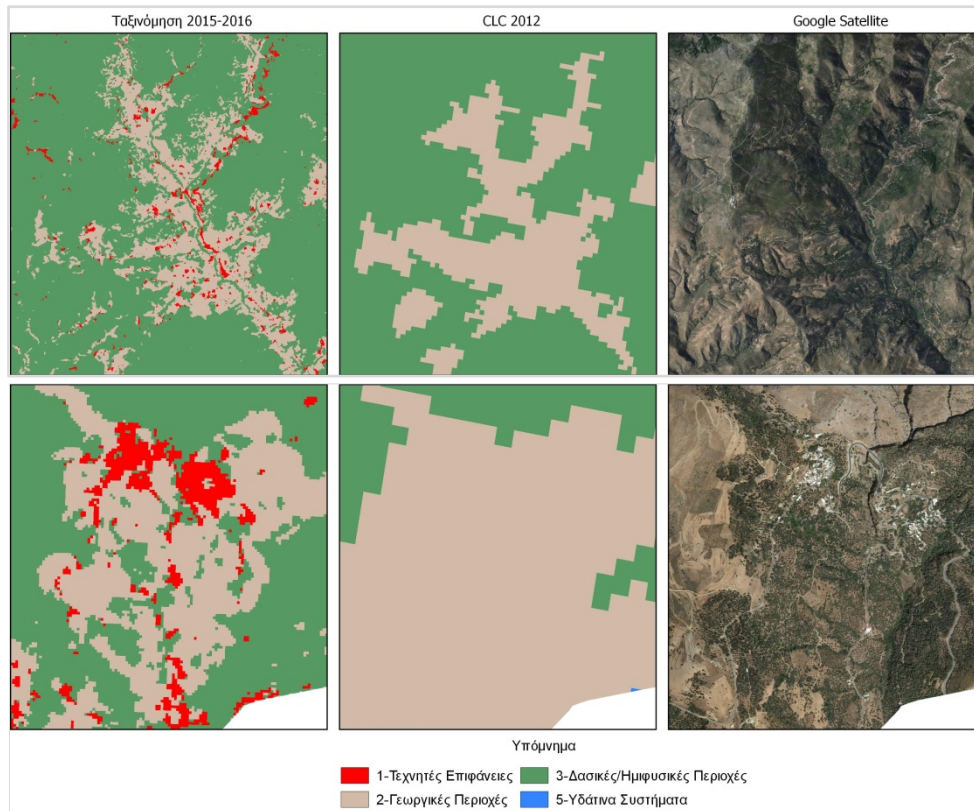
Στην **εικόνα 6-5** παρουσιάζονται και χωρικά οι συγκρίσεις. Παρατηρούμε ότι τα μοτίβα είναι κοινά ανάμεσα στις ταξινομήσεις και τα CLC, η διαφορετική, όμως, χωρική ανάλυση των 15m για τις ταξινομήσεις και των 100m για τα CLC, δημιουργεί ένα ποσοστό των παραπάνω αποκλίσεων. Επίσης, η ελάχιστη χαρτογραφική μονάδα (Minimum Mapping Unit – MPU) του CLC είναι τα 0.25km², ενώ οι περιοχές εκπαίδευσης έχουν μέσο εμβαδόν 0.084 km² και ελάχιστο 0.01km².



Εικόνα 6-5: Σύγκριση αποτελεσμάτων ταξινομήσεων και CLC.

Για τους παραπάνω λόγους δεν θα μπορούσαν, για παράδειγμα, να παρουσιαστούν στο CLC οι οικισμοί τις περιοχής μελέτης. Η διαφορά αυτή προκαλεί αποκλίσεις, κατά τη σύγκριση ταξινομήσεων και CLC για την κατηγορία 1, από 2.47% έως 3.82%. Οι μεγάλες αποκλίσεις στις κατηγορίες 2 και 3, οφείλονται, επίσης, εν μέρει στους παραπάνω λόγους. Στην **εικόνα 6-6** παρατηρούμε το διαφορετικό επίπεδο λεπτομέρειας με το οποίο καταγράφονται οι καλύψεις στις περιπτώσεις της ταξινόμησης και του CLC. Οι αποκλίσεις, λοιπόν, στα ποσοστά οφείλονται πέραν των σφαλμάτων, είτε των ταξινομήσεων είτε του CLC, και στον παραπάνω λόγο.

Κεφάλαιο 6. Συγκριτικά Στατιστικά Κατηγοριών Κάλυψης Γης



Εικόνα 6-6: Ενδεικτικές περιπτώσεις σύγκρισης ταξινομήσεων και CLC.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Στη συγκεκριμένη εργασία η κύρια πρωτοτυπία έγκειται στο αναπτυγμένο μεθοδολογικό πλαίσιο για την ταξινόμηση κάλυψης γης σε διαφορετικές περιόδους, με χρήση πολλαπλών δορυφορικών εικόνων ανά περίοδο μελέτης. Βασικό στόχο αποτέλεσε η αξιοποίηση των εποχικών χαρακτηριστικών στις κατηγορίες κάλυψης γης για τον ακριβέστερο διαχωρισμό τους. Συγκεκριμένα, υλοποιήθηκαν τρεις ανεξάρτητες ταξινομήσεις για διαφορετικές χρονικές περιόδους. Αρχικά πραγματοποιήθηκε η επιλογή των δορυφορικών εικόνων (καταλληλότητα και χρονική διασπορά), η προεπεξεργασία τους (ραδιομετρική διόρθωση και βελτίωση χωρικής ανάλυσης), η επιλογή των περιοχών εκπαίδευσης και η εφαρμογή αλγόριθμου επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε πολλαπλά επίπεδα εικόνων και βοηθητικών χαρακτηριστικών. Έγινε, τέλος, προσπάθεια σύνδεσης των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων και των μεταβολών που εντοπίστηκαν με τη χωρική διασπορά της ανθρωπογενούς δραστηριότητας στην περιοχή μελέτης και σύγκριση των αποτελεσμάτων για κάθε περίοδο μελέτης με το CLC αντίστοιχων περιόδων. Από τα αποτελέσματα και την αξιολόγησή τους προέκυψαν συγκεκριμένα συμπεράσματα που συνοπτικά αναλύονται στα παρακάτω πεδία.

7.1. Συμπεράσματα για τη Διαχρονική Εξέλιξη της Περιοχής Μελέτης

Η περιοχή, η οποία επιλέχθηκε να μελετηθεί, παρουσιάζει γενικά ήπια ανάπτυξη, με την ανθρώπινη παρέμβαση να εξαπλώνεται ακτινικά από την υπάρχουσα δόμηση της πρώτης περιόδου μελέτης περιοριζόμενη, από τον παράγοντα του αναγλύφου. Ειδικά στα ορεινά τμήματα εμφανίζεται κορεσμός της περαιτέρω ανάπτυξης ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ενώ στα πεδινά τμήματα παρουσιάζεται εντονότερη τάση εξάπλωσής τους κατά τις περιόδους μελέτης, λόγω του διαφορετικού αναγλύφου.

Η φυσική βλάστηση μειώνεται αναλογικά σε σχέση με την παραπάνω δραστηριότητα, κυρίως φυσικοί βοσκότοποι και εκτάσεις αραιής σκληροφυλλικής βλάστησης μετατρέπονται κατά την πορεία των περιόδων μελέτης σε αγροτικές εκτάσεις. Παρατηρούμε επίσης συρρίκνωση και κατά περιοχές αναγέννηση των δενδρωδών δασικών εκτάσεων της περιοχής, οι οποίες όπως αναφέρθηκε και στην περιγραφή της περιοχής μελέτης, αποτελούν προστατευόμενες περιβαλλοντικά περιοχές, ιδιαίτερης σημασίας. Παρά το παραπάνω γεγονός σημαντικά τμήματα των εκτάσεων αυτών εκλείπουν κατά το πέρασμα των περιόδων μελέτης, οπότε η λήψη περαιτέρω μέτρων για την προστασία τους επιβάλλεται.

Επίσης συμπεράσματα σχετικά με την εξάρτηση της οικονομίας της περιοχής από τις αγροτικές δραστηριότητες, προκύπτουν από τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων. Προφανώς, οι ορεινές περιοχές παρουσιάζουν μεγαλύτερη έως απόλυτη εξάρτηση, με εκτάσεις που σχετίζονται με αγροτικές καλύψεις να εξαπλώνονται κατά τις περιόδους μελέτης, όπου το ανάγλυφο το επιτρέπει. Στις πεδινές και παραλιακές περιοχές παρατηρούμε αναλογική εξάπλωση δόμησης και αγροτικών εκτάσεων, αρκετά εντονότερη από εκείνη των ορεινών, γεγονός που μεταφράζεται, ειδικά στα παραλιακά τμήματα, σε ταυτόχρονη ανάπτυξη δραστηριοτήτων που σχετίζονται τόσο με τον πρωτογενή όσο και με

τον τριτογενή τομέα. Τα παραπάνω συμπεράσματα επιβεβαιώνονται και από τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του πίνακα 2-1, στον οποίο παρατηρούμε μεγαλύτερη αυξητική τάση στους πεδινούς δήμους.

7.2. Συμπεράσματα για την Αποτελεσματικότητα της Αναπτυγμένης Μεθόδου Ταξινόμησης

Η διαχρονική μελέτη μίας περιοχής, με χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων, παρουσιάζει ποικίλες δυσκολίες και απαιτεί κρίσιμες επιλογές για επεξεργασίες οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά την αξιοπιστία της. Από την επιλογή των δορυφορικών εικόνων που θα αξιοποιηθούν έως την τελική εφαρμογή των ταξινομήσεων και των συγκρίσεων, πραγματοποιήθηκαν παραδοχές και υιοθετήθηκαν μεθοδολογίες, είτε αυτούσιες από τη βιβλιογραφία, είτε προσαρμοσμένες στα δεδομένα της συγκεκριμένης εργασίας.

Το πρώτο πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί σε τέτοιου είδους εφαρμογές είναι η εύρεση των κατάλληλων δεδομένων. Η νεφοκάλυψη αποτελεί βασικό περιοριστικό παράγοντα, ο οποίος υποχρεώνει στην επιλογή δορυφορικών εικόνων βάσει αυτού, ενώ ιδανικά θα ήταν επιθυμητό να χρησιμοποιούνταν εικόνες με μεγαλύτερη χρονική σύμπτωση εντός των περιόδων μελέτης ή ακόμα και συστηματικότερη παρακολούθηση μίας περιοχής με χρήση περισσότερων περιόδων.

Το δεύτερο πρόβλημα εμφανίζεται στην επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων. Εδώ οι βασικές διεργασίες αφορούν την ατμοσφαιρική διόρθωση, τη σχετική ραδιομετρική κανονικοποίηση και τη βελτίωση της χωρικής ανάλυσης των εικόνων. Ο βαθμός πολυπλοκότητας των υπαρχόντων μεθόδων και οι απαιτήσεις της συγκεκριμένης εργασίας, επηρέασαν εξίσου τις τελικές επιλογές. Η εφαρμογή βελτιωμένων μεθόδων δεν επιλέχθηκε, σε περιπτώσεις που κρίθηκε ότι τα αποτελέσματά τους δε θα απέφεραν σημαντικές βελτιώσεις και στο τελικό αποτέλεσμα των ταξινομήσεων.

Το τρίτο πρόβλημα εμφανίζεται κατά τις ταξινομήσεις, με τις ιδιαιτερότητες της περιοχής μελέτης και τον τελικό στόχο της εξαγωγής συγκρίσιμων ταξινομήσεων να απαιτεί συνδυασμό επιλογών, οι οποίες δεν θα υποβίβαζαν την ποιότητα αποτελεσμάτων. Από την επιλογή των περιοχών εκπαίδευσης, έως και τη διαδικασία σύγκρισης έγιναν παραδοχές για την επίτευξη του παραπάνω στόχου.

Στην πλειοψηφία των σταδίων της μεθοδολογίας, πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι ακριβείας, ώστε να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των τελικών αποτελεσμάτων. Οποιοδήποτε σημαντικό σφάλμα σε κάποιο από τα ενδιάμεσα βήματα πιθανόν να μεταφερόταν στις τελικές ταξινομήσεις. Λόγω της εξαγωγής των τελικών αποτελεσμάτων σύγκρισης των καλύψεων διαχρονικά, ως διαδικασία η οποία έπεται των ταξινομήσεων (post-classification), τα σφάλματα αυτών θα μεταφέρονταν στα αποτελέσματα, καθιστώντας την αξιοπιστία τους αμφίβολης ποιότητας (Henits et al., 2016). Οπότε, οι έλεγχοι θεωρήθηκαν επιβεβλημένοι, ώστε να αποτραπεί κατά το δυνατόν η μεταφορά σφαλμάτων από κάθε στάδιο.

7.3. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Για το στάδιο της επιλογής δορυφορικών δεδομένων, το οποίο αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρονοβόρο, ιδιαίτερα χρήσιμη θα ήταν η σύνταξη μιας διαδικασίας ημι-αυτοματοποίησης

της διαλογής των εικόνων και της εξαγωγής πιθανών υποψήφιων περιόδων μελέτης με εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης, περιορίζοντας την απαίτηση φωτοερμηνευτικού ελέγχου από τον αναλυτή. Επίσης, η επιλογή δορυφορικών δεδομένων από διαφορετικούς δορυφόρους, εκτός των Landsat, θα μπορούσε να διερευνηθεί και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν.

Για το στάδιο της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων προτείνεται η περαιτέρω αξιολόγηση διαφορετικών μεθόδων επεξεργασίας, και η μελέτη της επίδρασης της υιοθέτησης αυτών, στην τελική ποιότητα των αποτελεσμάτων. Επίσης προτείνεται η αξιολόγηση της ίδιας της αναγκαιότητας εφαρμογής της κάθε μίας εξ αυτών, διότι όπως προαναφέρθηκε τα πιθανά σφάλματά τους μεταφέρονται στο τελικό αποτέλεσμα.

Για το στάδιο της ταξινόμησης ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση των αποτελεσμάτων που θα εξαχθούν εάν επιλεγθούν περισσότερες, πιο αναλυτικές, κατηγορίες ταξινόμησης, οι οποίες πιθανόν να περιπλέξουν τη διαδικασία επιλογής περιοχών εκπαίδευσης για τις πρώτες χρονικά περιόδους μελέτης, επηρεάζοντας τους τελικούς δείκτες ακρίβειας. Το επίπεδο της λεπτομέρειας, σε αυτή την περίπτωση, θα επέτρεπε την αναλυτικότερη διαχρονική παρατήρηση της εξέλιξης της περιοχής μελέτης.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε διαφορετικές περιοχές μελέτης, με διαφορετικά χαρακτηριστικά καλύψεων και αναγλύφου, ώστε να εντοπιστούν βελτιώσεις, οι οποίες θα καθιστούσαν δυνατή την εφαρμογή της ανεξάρτητα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής.

Τέλος, σημαντική θεωρείται η γενικότερη αυτοματοποίηση του συνόλου των σταδίων, σε μία πλατφόρμα λογισμικού ανοιχτού κώδικα, γεγονός που θα μείωνε σημαντικά το χρόνο εκτέλεσης της διαδικασίας και θα επέτρεπε την εφαρμογή περισσότερων ελέγχων και δοκιμών εναλλακτικών μεθόδων, με στόχο την επίτευξη του βέλτιστου τελικού αποτελέσματος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Espin, N. T., Gomariz-Castillo, F., Canovas-Garcia, F. & Alonso-Sarria, F. (2015). Comparing satellite imagery classification methods in river Segura basin (Murcia region), *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 67, 521-525
- Fisher, P. F., Comber, A. J., & Wadsworth, R. (2005). Land use and land cover: contradiction or complement. *Re-presenting GIS*, 85-98.
- Gangkofner, U. G., Pradhan, P. S., & Holcomb, D. W. (2008). Optimizing the high-pass filter addition technique for image fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(9), 1107-1118.
- Goward, S. N., & Williams, D. L. (1997). Landsat and earth systems science: development of terrestrial monitoring. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 63(7), 887-900.
- Hall, F. G., Strebel, D. E., Nickeson, J. E., & Goetz, S. J. (1991). Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. *Remote Sensing of Environment*, 35(1), 11-27.
- Henits, L., Jürgens, C., & Mucsi, L. (2016). Seasonal multitemporal land-cover classification and change detection analysis of Bochum, Germany, using multitemporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 37(15), 3439-3454.
- Jensen, J. R. (1996). *Introductory digital image processing: a remote sensing approach*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 7458.
- Kantakumar, L. N., & Neelamsetti, P. (2015). Multi-temporal land use classification using hybrid approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 289-295.
- Kumar, U., Dasgupta, A., Mukhopadhyay, C., & Ramachandra, T. V. (2012, 12-13 April). Sequential Maximum a Posterior (SMAP) Algorithm for Classification of Urban Area using Multi-resolution Spatial Data with Derived Geographical Layers. Paper presented at India Conference on Geo-spatial Technologies & Applications, Department of Computer Science and Engineering, Indian Institute of Technology Bombay (IITB)
- Liang, S. (2004). *Quantitative remote sensing of land surfaces* (Vol. 30). John Wiley & Sons.
- Mas, J. F. (1999). Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International journal of remote sensing*, 20(1), 139-152.
- Rocchio, L. E., & Davis, A. L. (2006, December). Bridging the Divide: Translating Landsat Research Into Usable Science. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- Sterling et al., 2013. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle, *Nature Climate Change* 3, 385–390.

- Tottrup, C. (2004). Improving tropical forest mapping using multi-date Landsat TM data and pre-classification image smoothing. *International Journal of remote sensing*, 25(4), 717-730.
- Tsendbazar et al., 2015. Assessing global land cover reference datasets for different user communities, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 103, 93–114.
- U.S. Geological Survey, 2016a, Product guide: Landsat climate data record (CDR). Surface reflectance, Department of the Interior U.S. Geological Survey. Version 7.0, October 2016
- U.S. Geological Survey, 2016b, Product guide: Provisional Landsat 8 Surface Reflectance Code (LaSRC) Product, Department of the Interior U.S. Geological Survey. Version 3.3, October 2016
- Yang et al., 2013. The role of satellite remote sensing in climate change studies, *Nature Climate Change* 3, 875–883.
- Yang, X., & Lo, C. P. (2000). Relative radiometric normalization performance for change detection from multi-date satellite images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(8), 967-980.
- Yuan, D., & Elvidge, C. D. (1996). Comparison of relative radiometric normalization techniques. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 51(3), 117-126.
- Zeng, et al., 2014. Agricultural Green Revolution as a driver of increasing atmospheric CO2 seasonal amplitude, *Nature* 515, 394–397
- Zhang, H. K., & Roy, D. P. (2016). Computationally inexpensive Landsat 8 operational land imager (OLI) pansharpener. *Remote Sensing*, 8(3), 180.
- «Έρευνα και μελέτη για την αναθεώρηση του περιφερειακού σχεδιασμού διαχείρισης στερεών αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ) της Περιφέρειας Κρήτης» του (2010)
- Μιχαηλίδου, Α., (2015). Διερεύνηση και αξιολόγηση ταξινομήσεων για τη χαρτογράφηση χρήσης/κάλυψης γης από διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π
- Μπιλιζιώτης, Δ., (2016). Ανάπτυξη και αξιολόγηση μεθοδολογίας για την αυτόματη παραγωγή χαρτών κάλυψης γης για την Ελλάδα, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π

Διαδικτυακές Πηγές

- ✓ <http://data.gov.gr/dataset/broxometrikoi-sta8moi-p-e-xaniwn> (last access 02/2017)
- ✓ <http://geodata.gov.gr/> (last access 02/2017)
- ✓ <http://geodata.gov.gr/dataset/oikismoι> (last access 02/2017)
- ✓ <http://geodata.gov.gr/dataset/oria-nomon-okkhe> (last access 02/2017)
- ✓ <http://hub.qgis.org/projects/openlayers/wiki> (last access 02/2017)
- ✓ <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (last access 02/2017)

- ✓ <http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/> (last access 02/2017)
- ✓ <http://landsat.gsfc.nasa.gov/a-landsat-timeline/> (last access 12/2016)
- ✓ http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php (last access 02/2017)
- ✓ <http://uls.eionet.europa.eu/CLC2000/classes/index.html> (last access 02/2017)
- ✓ <http://www.chania-cci.gr/website/el/chania/morfologia-gewgrafia> (last access 02/2017)
- ✓ <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/nationally-designated-areas-national-cdda-11#tab-gis-data> (last access 02/2017)
- ✓ http://www.ekby.gr/ekby/el/EKBY_PP_el.html (last access 02/2017)
- ✓ <http://www.harrisgeospatial.com/docs/FLAASH.html> (last access 12/2016)
- ✓ http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams.html?dr_city=Chania_Souda (last access)
- ✓ <http://www.kallikratis.eu/dimoi-systasi-dimon-nomos-chanion/> (last access 12/2016)
- ✓ <http://www.openstreetmap.org/copyright> (last access 02/2017)
- ✓ <http://www.statistics.gr/> (last access 02/2017)
- ✓ https://github.com/DHI-GRAS/Temporal_profile_tool#temporalspectral-profile-tool (last access 02/2017)
- ✓ https://github.com/GRASS-GIS/grass-ci/tree/master/raster/r_regression.line (last access 02/2017)
- ✓ <https://github.com/NikosAlexandris/i.fusion.hpf> (last access 11/2016)
- ✓ <https://github.com/USGS-EROS/espasurface-reflectance/tree/master/not-validated-prototype-lasrc> (last access 12/2016)
- ✓ <https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/i.gensigset.html> (last access 02/2017)
- ✓ <https://grass.osgeo.org/grass72/manuals/i.maxlik.html> (last access 02/2017)
- ✓ <https://grass.osgeo.org/grass72/manuals/i.smap.html> (last access 02/2017)
- ✓ https://grasswiki.osgeo.org/wiki/Image_classification#Supervised_classification (last access 02/2017)
- ✓ <https://landsat.usgs.gov/how-does-landsat-8-differ-previous-landsat-satellites> (last access 02/2017)
- ✓ <https://landsat.usgs.gov/landsat-surface-reflectance-high-level-data-products> (last access 02/2017)
- ✓ <https://landsat.usgs.gov/provisional-landsat-8-surface-reflectance-data-available> (last access 02/2017)

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1-1: Αρχική Landsat 7 εικόνα και αποτελέσματα όξυνσης: (a) Κανάλια 2-3-4, (b) Παγχρωματικό κανάλι, (c) Αποτέλεσμα βελτιωμένης μεθόδου HPFA, και (d) Αποτέλεσμα μεθόδου βασισμένης σε κυματομορφές (Gangkofner et al. (2008)).	4
Εικόνα 2-1: Όρια περιοχής μελέτης με υπέρθεση δορυφορικής εικόνας LE71820362001264.	7
Εικόνα 2-2: Στατιστικά στοιχεία απασχόλησης 2011 κατά τομέα οικονομικής δραστηριότητας.	9
Εικόνα 2-3: Χάρτης Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων (α) και Κλίσεων % (β) με υπέρθεση επιπέδου καλλικρατικών δήμων.	11
Εικόνα 2-4: Προστατευόμενες περιοχές περιοχής μελέτης.	14
Εικόνα 3-1: Χρονικό διάγραμμα λειτουργίας δορυφόρων Landsat. Πηγή: http://landsat.gsfc.nasa.gov/a-landsat-timeline/	15
Εικόνα 3-2: Εσφαλμένες αναγνωρίσεις χαρακτηριστικών στη cfmask - Περίπτωση σύννεφου - LC81820362014036.	17
Εικόνα 3-3: Εσφαλμένες αναγνωρίσεις χαρακτηριστικών στη cfmask - Περίπτωση χιονιού - LE71820362001072.	17
Εικόνα 3-4: Μετεωρολογικοί σταθμοί περιοχής μελέτης.	19
Εικόνα 3-5: Επιλεγμένες εικόνες για τις ταξινομήσεις	21
Εικόνα 4-1: Δορυφορική εικόνα Landsat 8 (20/01/2014). Στα αριστερά (4-1α – 4-1γ) η εικόνα επιφανειακής ανακλαστικότητας από τον LaSRC v.0.9.0 και στα δεξιά (4-1δ – 4-1στ) η αντίστοιχη raw εικόνα.	25
Εικόνα 4-2: Σύγκριση αποσπάσματος εικόνας LE71820362000086 πριν και μετά την εφαρμογή του i.fusion.hrf.	33
Εικόνα 4-3: Απόσπασμα δορυφορικής εικόνας LE71820362000246 πριν (Εικόνα 4-3α) και μετά (Εικόνα 4-3β) την εφαρμογή του τροποποιημένου i.fusion.hrf.	33
Εικόνα 4-4 Συγκριτικά ιστογράμματα πριν και μετά την παγχρωματική όξυνση.	34
Εικόνα 4-5: Δορυφορική εικόνα LT51820361987202, πριν (Εικόνα 4-5α) και μετά (Εικόνα 4-5β) την εφαρμογή κυβικής παρεμβολής.	34
Εικόνα 5-1: Φωτοερμηνευτική και φασματική σύγκριση περιοχής εκπαίδευσης. Περίπτωση αλλαγής κάλυψης και διαγραφής περιοχής εκπαίδευσης.	48
Εικόνα 5-2: Φωτοερμηνευτική και φασματική σύγκριση περιοχής εκπαίδευσης. Περίπτωση διατήρησης κάλυψης και αποθήκευση περιοχής εκπαίδευσης.	48
Εικόνα 5-3: Χωρική διασπορά περιοχών εκπαίδευσης.	50
Εικόνα 5-4: Επιλεγμένα επίπεδα για την περίοδο μελέτης 2000. Αριστερά τα φασματικά κανάλια δορυφορικών εικόνων και δεξιά τα βοηθητικά δεδομένα.	55
Εικόνα 5-5: Αποτελέσματα ταξινομήσεων.	58
Εικόνα 5-6: Αναγνώριση οδικού δικτύου και αντίστοιχου πρανούς ως «112-Δόμηση», ορθή οριοθέτηση «223-Ελαιώνα».	60
Εικόνα 5-7: Ορθή αναγνώριση κατηγορίας «211-Θερμοκήπια».	60
Εικόνα 5-8: Ορθή αναγνώριση κατηγορίας «242-Σύνθετα Συστήματα Καλλιέργειας».	60
Εικόνα 5-9: Ορθή αναγνώριση έκτασης πλατύφυλλων.	61
Εικόνα 5-10: Ορθή αναγνώριση συρρίκνωσης έκτασης κωνοφόρων.	61

Εικόνα 5-11: Ορθή αναγνώριση κάλυψης, παρά την ύπαρξη σύννεφου σε μία εκ των εικόνων της περιόδου μελέτης.	61
Εικόνα 5-12: Εσφαλμένη αναγνώριση έκτασης κωνοφόρων ως «323-Σκληροφυλλική Βλάστηση» για την περίοδο μελέτης 2015-2016.....	62
Εικόνα 5-13: Εσφαλμένη αναγνώριση βραχύδους έκτασης με σκληροφυλλική βλάστηση ως «112-Δόμηση».....	62
Εικόνα 5-14: Εσφαλμένη αναγνώριση τμήματος λιμνοδεξαμενής ως «321-Φυσικοί Βοσκοτόποι» αντί «512-Συλλογές Υδάτων».	63
Εικόνα 5-15: Τάση αναγνώρισης γυμνού εδάφους ως δόμηση στις πιο πρόσφατες εικόνες.	63
Εικόνα 5-16: Εσφαλμένες αναγνωρίσεις, λόγω μη ύπαρξης αντίστοιχης κατηγορίας.	64
Εικόνα 5-17: Χωρική διασπορά περιοχών ελέγχου/αναφοράς.	65
Εικόνα 5-18: Ποιότητας Προσαρμογής ταξινομήσεων (Goodness of Fit).	70
Εικόνα 6-1: Η περιοχή που αποκλείεται από την εξαγωγή ποσοστιαίων καλύψεων.....	72
Εικόνα 6-2: Χάρτης ποσοστιαίας κατανομής καλύψεων γης ανά περίοδο μελέτης, σύγκριση φυσικού τοπίου με ανθρωπογενή δραστηριότητα.	76
Εικόνα 6-3: Χάρτης καλύψεων γης για την περίοδο 2015-2016, σύγκριση φυσικού τοπίου με ανθρωπογενή δραστηριότητα και υπέρθεση διανυσματικού επιπέδου οικισμών.	77
Εικόνα 6-4: Χαρτογραφική απεικόνιση μεταβολών καλύψεων γης, σύγκριση πλατύφυλλων-κωνοφόρων με άλλη κάλυψη.	79
Εικόνα 6-5: Σύγκριση αποτελεσμάτων ταξινομήσεων και CLC.	81
Εικόνα 6-6: Ενδεικτικές περιπτώσεις σύγκρισης ταξινομήσεων και CLC.	82

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-1: Μέσα τετραγωνικά σφάλματα των μεθόδων σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης (Yuan και Elvidge (1996)).	3
Πίνακας 1-2: Αξιολόγηση ταξινομήσεων (Tottrup 2004).	5
Πίνακας 1-3: Σύγκριση της απόδοσης των μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών Mas (1999).	6
Πίνακας 2-1: Διοικητική διαίρεση και πληθυσμιακά στοιχεία νομού Χανίων.....	8
Πίνακας 2-2: Προστατευόμενες περιοχές περιοχής μελέτης.	13
Πίνακας 3-1: Διαθέσιμα δεδομένα των δορυφόρων Landsat στη διαδικτυακή βάση της USGS για την περιοχή μελέτης.	15
Πίνακας 3-2: Αποτελέσματα ωφέλιμων εικόνων ανά έτος και εποχή.	18
Πίνακας 3-3: Τελική επιλογή εικόνων για τις ταξινομήσεις.	21
Πίνακας 4-1: Διαφορές LEDAPS – LaSRC.....	24
Πίνακας 4-2: Φασματική αντιστοίχιση καναλιών δορυφόρων Landsat.	29
Πίνακας 4-3: Φασματικό εύρος και χωρική ανάλυση Landsat εικόνων.	31
Πίνακας 5-1: Κατηγορίες βάσει των οποίων θα πραγματοποιηθεί ταξινόμηση της περιοχής μελέτης.	36
Πίνακας 5-2: Παραδείγματα περιοχών εκπαίδευσης ανά κατηγορία.	42
Πίνακας 5-3: Αποτελέσματα επιλογής περιοχών εκπαίδευσης για την περίοδο 2015-2016.	43
Πίνακας 5-4: Ποσοστά εμβαδού έπειτα από επανακατηγοριοποίηση στο επίπεδο 1 του CLC.	43

Πίνακας 5-5: Τελικά αποτελέσματα επιλογής κοινών περιοχών εκπαίδευσης για όλες τις περιόδους μελέτης.....	49
Πίνακας 5-6: Ποσοστά εμβαδού έπειτα από επανακατηγοριοποίηση στο επίπεδο 1 του CLC, για την κοινή περιοχή του συνόλου των δορυφορικών εικόνων όλων των περιόδων μελέτης.....	50
Πίνακας 5-7: Περιπτώσεις ταξινομημένων επιπέδων και αντίστοιχων δεικτών ακρίβειας (Kumar et al., 2012).....	54
Πίνακας 5-8: Περιοχές ελέγχου/αναφοράς για όλες τις περιόδους μελέτης.....	65
Πίνακας 5-9: Πίνακας σύγκρισης ταξινόμησης περιόδου μελέτης 1987-1988.....	67
Πίνακας 5-10: Πίνακας σύγκρισης ταξινόμησης περιόδου μελέτης 2000.....	68
Πίνακας 5-11: Πίνακας σύγκρισης ταξινόμησης περιόδου μελέτης 2015-2016.....	68
Πίνακας 6-1: Επανακατηγοριοποίηση αρχικών κατηγοριών ταξινόμησης σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες και φυσικό τοπίο.....	75
Πίνακας 6-2: Σύγκριση αποτελεσμάτων ταξινομήσεων και CLC, έπειτα από επανακατηγοριοποίηση σε επίπεδο 1 του CLC.....	80

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2-1: Ιστόγραμμα κλίσεων περιοχής μελέτης.....	11
Διάγραμμα 3-1: Ομβροθερμικό διάγραμμα.....	20
Διάγραμμα 4-1: Διάγραμμα ροής σχετικής ραδιομετρικής κανονικοποίησης.....	28
Διάγραμμα 4-2: Σύγκριση ιστογραμμάτων εικόνας αναφοράς, αρχικής εικόνας και κανονικοποιημένης για ενδεικτικά κανάλια.....	30
Διάγραμμα 4-3: Ιστογράμματα ενδεικτικών καναλιών της εικόνας αναφοράς και της κανονικοποιημένης εικόνας αναφοράς.....	30
Διάγραμμα 5-1: Διάγραμμα ροής επιλογής περιοχών εκπαίδευσης.....	45
Διάγραμμα 5-2: Διάγραμμα ροής ταξινόμησης σε περιβάλλον GRASS GIS με τη μέθοδο SMAP.....	52
Διάγραμμα 5-3: Διαγράμματα «φασματικών» καμπυλών για την περίοδο μελέτης 2000... ..	57
Διάγραμμα 6-1: Ποσοστιαία κατανομή καλύψεων γης ανά περίοδο μελέτης.....	73
Διάγραμμα 6-2: Ποσοστά Καλύψεων Γης ανά Περίοδο Μελέτης.....	74
Διάγραμμα 6-3: Ποσοστιαία κατανομή καλύψεων γης ανά περίοδο μελέτης, σύγκριση φυσικού τοπίου με ανθρωπογενή δραστηριότητα.....	75
Διάγραμμα 6-4: Ποσοστιαία κατανομή καλύψεων γης ανά περίοδο μελέτης, σύγκριση πλατύφυλλων-κωνοφόρων με άλλη κάλυψη.....	78
Διάγραμμα 6-5: Μεταβολές καλύψεων γης, σύγκριση πλατύφυλλων-κωνοφόρων με άλλη κάλυψη.....	79