

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
*AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS*

*ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ*  
*ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ*  
Π.Μ.Σ. «Φυσικοί Πόροι, Γεωπεριβάλλον και Γεωργική Μηχανική»  
Κατεύθυνση «Γεωπληροφορική και Χωρική Ανάλυση»

*ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ*

---

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ  
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SENTINEL ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ  
ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ ΣΕ ΥΓΡΟΤΟΠΙΚΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ  
ΛΙΜΝΩΝ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ – ΒΟΛΒΗΣ**

---

ΑΝΔΡΟΜΑΧΗ Τ. ΧΑΤΖΗΑΝΤΩΝΙΟΥ

ΑΘΗΝΑ,  
ΜΑΙΟΣ 2017

Γεώργιος Πετρόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής (*Επιβλέπων*)

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ  
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SENTINEL ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ  
ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ ΣΕ ΥΓΡΟΤΟΠΙΚΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ  
ΛΙΜΝΩΝ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ – ΒΟΛΒΗΣ**

---

ΑΝΔΡΟΜΑΧΗ Τ. ΧΑΤΖΗΑΝΤΩΝΙΟΥ

Γεώργιος Πετρόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής *(Επιβλέπων)*

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Γεώργιος Πετρόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής *(Επιβλέπων)*

Διονύσιος Καλύβας, Αναπληρωτής Καθηγητής

Εμμανουήλ Ψωμιάδης, Διδάκτωρ Τηλεπισκόπησης & GIS

Οι υγρότοποι είναι σύνθετα οικοσυστήματα που καλύπτονται μόνιμα ή εποχιακά από τρεχούμενο ή στάσιμο νερό και τυρφώδης γαίες και χαρακτηρίζονται από έντονη βιοποικιλότητα. Ουσιώδη γνωρίσματα των υγροτοπικών περιοχών είναι η παρουσία υδροχαρούς βλάστησης και η ύπαρξη υδρομορφικών εδαφών. Η ανάπτυξη αξιόπιστων τεχνικών για τη χαρτογράφηση και την παρακολούθηση αλλαγών στα υγροτοπικά οικοσυστήματα είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

Η απόκτηση δεδομένων για τις ανάγκες της χαρτογράφησης και της παρακολούθησης υγροτόπων είναι συχνά δύσκολη λόγω της πολυπλοκότητας των εν λόγω περιοχών. Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης προσφέρει την δυνατότητα να αποκτώνται -συχνά χωρίς καθόλου κόστος- δορυφορικά δεδομένα, σε τακτά χρονικά διαστήματα, τα οποία καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις. Η εκτόξευση νέων, εξελιγμένων οργάνων για την παρατήρηση της Γης (EO), όπως η σειρά των δορυφόρων Sentinel από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA), δημιουργεί νέες ευκαιρίες για την ανάπτυξη τεχνικών που θα βοηθήσουν στην χαρτογράφηση και παρακολούθηση υγροτόπων.

Το αντικείμενο της παρούσας μελέτης συνίσταται στη διερεύνηση των δυνατοτήτων των δεδομένων των Sentinel, σε συνδυασμό με τον προηγμένο αλγόριθμο εκμάθησης Support Vector Machines (SVMs) για την ταξινόμηση των χρήσεων γης/κάλυψης γης (ΧΓ/ΚΓ) (Land Use/Land Cover). Η δημιουργία ενός χάρτη ΧΓ/ΚΓ με τη χρήση κανόνων για την βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης αποτέλεσε έναν από τους βασικούς στόχους της μελέτης. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το Εθνικό Πάρκο Λιμνών Κορώνειας και Βόλβης στη Θεσσαλονίκη, που αποτελεί ένα τυπικό Μεσογειακό υγροτοπικό οικοσύστημα, λόγω του υψηλού περιβαλλοντικού ενδιαφέροντός του. Η αξιολόγηση της ακρίβειας της ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε με βάση την αξιολόγηση των πινάκων σφάλματος (error matrix) και του συντελεστή kappa.

Η μελέτη ανέδειξε την καταλληλότητα, τόσο της χωρικής όσο και της φασματικής ανάλυσης, των δεδομένων Sentinel 2 για ακριβέστερη, ταχύτερη και χαμηλότερου κόστους χαρτογράφηση των υγροτόπων, ενώ σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης, η συνέργεια με τα δεδομένα του S1 συνέβαλε στην αύξηση της ακρίβειας κατά ένα μικρό μόνο ποσοστό. Ο αλγόριθμος SVMs αποδείχθηκε ιδιαίτερα ικανός για τις ανάγκες της χαρτογράφησης των υγροτόπων καθώς επίσης και η μέθοδος με την χρήση κανόνων παρόλο που παρουσιάζει το σημαντικό μειονέκτημα ότι δεν είναι μεταβιβάσιμη. Τέλος, η αξιοποίηση πληροφοριών όπως η *τοπογραφία*, η *υφή*, οι *φασματικοί δείκτες* που χρησιμοποιήθηκαν (NDVI, NDWI) και οι *μετασχηματισμοί* των δεδομένων (PCA, MNF) συνεισέφεραν στην βελτίωση της συνολικής ακρίβειας, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις η βελτίωση ήταν οριακή. Το αποτέλεσμα αυτό έχει σημαντική επιστημονική και πρακτική αξία, δεδομένου ότι μπορεί να βελτιώσει την ικανότητά μας να κατανοήσουμε καλύτερα τις φυσικές διαδικασίες ενός υγροτοπικού οικοσυστήματος. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η παρούσα μελέτη αποτελεί την πρώτη που αξιοποιεί τα δεδομένα των πρόσφατων αποστολών Sentinel για την ταξινόμηση των χρήσεων γης/κάλυψης γης στο Εθνικό Πάρκο Κορώνειας – Βόλβης.

**Λέξεις κλειδιά:** υγροβιότοποι, Sentinel, SVM, SAR, υφή, GLCM, ταξινόμηση, χρήσεις γης, χαρτογράφηση

## **“An investigation of the use of Sentinel 1 and Sentinel 2 data for mapping wetlands: the case of National Park of Koronia & Volvi Lakes.”**

Wetlands are complex and dynamic water – logged ecosystems, hosting a great amount of species of plant and animal communities, also supporting water regulation and peat related processes. Thus, developing accurate and robust techniques for mapping and monitoring changes in wetland ecosystems is of crucial importance in water resources management.

Earth Observation (EO) offers a great advantages in this respect thanks to its capability of acquiring - often at no cost - spectral data over large areas and at regular time intervals. The recent launch of sophisticated EO instruments by Space Agencies such as that of Sentinels series from the European Space Agency (ESA) opens up new opportunities for exploring the developing of techniques that will allow improving our ability to map wetland ecosystems using such data.

The aim of this study has been to evaluate the use of Sentinel data combined with the advanced machine learning image classification algorithm Support Vector Machines (SVMs) for mapping a typical wetland ecosystem in Greece. As a case study is selected the National Park of Koronia & Volvi lakes in Thessaloniki due to its high environmental interest. Accuracy assessment of the derived wetland maps was conducted on the basis of the estimation of standard classification error matrix statistics and kappa coefficient.

In overall, results exemplified the appropriateness of the spatial and spectral resolution of the Sentinel imagery combined with the machine learning algorithms in obtaining a rapid and cost-effective wetlands mapping. This is of considerable scientific and practical value, as it provides additional evidence on the suitability of Sentinel data for improving our ability to understand better the physical processes embedded in wetland ecosystems.

**Keywords:** wetlands, Sentinel, SVM, SAR, texture, GLCM, shape, classification

Το ενδιαφέρον μου και η ενασχόλησή μου με την Δορυφορική Τηλεπισκόπηση ξεκίνησε από τις προπτυχιακές μου σπουδές και κορυφώθηκε με αφορμή το συνέδριο Living Planet Symposium της ESA στην Πράγα στο οποίο παρευρέθηκα τον Μάιο του 2016. Στο συνέδριο αυτό παρακολούθησα με πολύ ενδιαφέρον θέματα που αφορούν στην παρατήρηση της Γης με σκοπό την προστασία τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς καταστροφές, καθώς και στην διαχείριση των φυσικών πόρων. Αυτό με έκανε να αντιληφθώ την σημασία και την αναγκαιότητα να υπάρξουν περισσότερες μελέτες με σκοπό την καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων και του γήινου περιβάλλοντος και με οδήγησε να μελετήσω περισσότερο πάνω σε σχετικά αντικείμενα. Μετά από εκτεταμένη έρευνα και συζητήσεις, τόσο με τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γιώργο Πετρόπουλο, όσο και με άλλα άτομα που σχετίζονται με το αντικείμενο, κατέληξα να ασχοληθώ με ένα θέμα που αφορά στην παρακολούθηση υγροτόπων, καθώς οι υγρότοποι αποτελούν περιοχές με ιδιαίτερο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον.

Ολοκληρώνοντας την διπλωματική μου εργασία πάνω στην χαρτογράφηση και παρακολούθηση ενός υγροτοπικού περιβάλλοντος με την χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel και έχοντας ήδη καταφέρει να παρουσιάσω μέρος της δουλειά μου σε δύο σχετικά συνέδρια, θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή και καθοδηγητή μου, κ. Γιώργο Πετρόπουλο, που χωρίς την πολύτιμη βοήθεια και παρότρυνσή του δεν θα βρισκόμουν σε αυτό το σημείο σήμερα. Εξαιτίας της δικής του προτροπής παρακολούθησα το συνέδριο που διαμόρφωσε την σκέψη μου ώστε να επιλέξω τον συγκεκριμένο κλάδο και με την συνεχή και ακούραστη υποστήριξή του, καθώς και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατάφερα να ολοκληρώσω την μελέτη μου.

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Εμμανουήλ Ψωμιάδη του εργαστηρίου Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών για τις συμβουλές και την καθοδήγησή του καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της μελέτης μου. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ. Διονύση Καλύβα, υπεύθυνο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Γεωπληροφορικής & Χωρικής Ανάλυσης, για την υλική και πνευματική του υποστήριξη κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο εν λόγω ΠΜΣ.

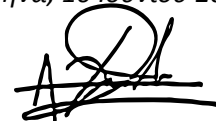
Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση της, ηθική και υλική, όλα αυτά τα χρόνια.

Αθήνα,  
Μάιος 2017

Ανδρομάχη  
Χατζηαντωνίου

Η κάτωθι υπογεγραμμένη, *Ανδρομάχη Χατζηαντωνίου* δηλώνω ότι το κείμενο της μελέτης αποτελεί δικό μου, μη υποβοηθούμενο πόνημα. Υποβάλλεται σε μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην Κατεύθυνση «Γεωπληροφορική και Χωρική Ανάλυση» του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Δεν έχει υποβληθεί ποτέ πριν για οποιοδήποτε λόγο ή για εξέταση σε οποιοδήποτε άλλο πανεπιστήμιο ή εκπαιδευτικό ίδρυμα της χώρας ή του εξωτερικού.

*Ανδρομάχη Χατζηαντωνίου*  
*Αθήνα, 10 Ιουνίου 2017*



ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT.....	3
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
Κατάλογος Πινάκων.....	8
Κατάλογος Σχημάτων.....	8
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 Γενικά.....	10
1.2 Σκοπός Μελέτης.....	12
1.3 Δομή της μελέτης.....	13
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	15
2.1 Ραντάρ Συνθετικού Διαφράγματος (SAR).....	15
2.2 Support Vector Machines.....	16
2.3 Χρήση κανόνων για την βελτίωση της ταξινόμησης των χρήσεων γης/κάλυψης γης.....	18
2.4 Μελέτες τηλεπισκόπησης στην περιοχή του Εθνικού Πάρκου Κορώνειας και Βόλβης.....	19
2.5 Σύνοψη κεφαλαίου.....	20
3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	22
3.1 Γενικά.....	22
3.2 Ζώνες Προστασίας.....	25
4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	26
4.1 Εργαλεία.....	26
4.2 Περιγραφή δεδομένων.....	26
4.3 Προ-επεξεργασία / Παράγωγα δεδομένα.....	27
4.3.1 Sentinel 1.....	27
4.3.2 Sentinel 2.....	29
4.3.3 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (SRTM).....	34
4.3.4 Σύνθεση εικόνων.....	34
4.3.5 Επιλογή κατηγοριών ταξινόμησης.....	35
4.3.6 Επιλογή δειγμάτων εκπαίδευσης.....	36
4.4 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση με SVMs.....	36

4.4.1	Παραμετροποίηση SVM.....	36
4.4.2	Ταξινόμηση με SVMs .....	37
4.5	Ταξινόμηση με χρήση κανόνων.....	41
4.5.1	Κατάτμηση εικόνας και εξαγωγή γεωμετρικών χαρακτηριστικών .....	41
4.5.2	Δημιουργία κανόνων .....	43
4.5.3	Δημιουργία τελικού χάρτη .....	44
4.6	Εκτίμηση της ακρίβειας ταξινόμησης .....	45
4.7	Σύνοψη κεφαλαίου.....	46
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	47
5.1	Αποτελέσματα Ταξινόμησης .....	50
5.1.1	Ταξινόμηση με SVMs .....	50
5.1.2	Ταξινόμηση με χρήση εμπειρικών κανόνων .....	58
5.2	Συζήτηση.....	60
5.2.1	Δεδομένα και παράγωγα.....	60
5.2.2	Support Vector Machines .....	61
5.2.3	Χρήση κανόνων.....	62
5.2.4	Χαρτογράφηση υγροτόπων .....	63
5.2.5	Εργαλεία .....	63
6	ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	65
6.1	Συμπεράσματα .....	65
6.2	Μελλοντικές κατευθύνσεις .....	66
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	68
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	76



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Table 2.1: Δημοσιευμένες μελέτες που κάνουν χρήση SVMs.....	18
Table 4.1: Συνοπτική περιγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν .....	27
Table 4.2: Τα ποσοστά πληροφορίας που περιέχουν οι νέες συνιστώσες.....	32
Table 4.3: Οι επιλεγμένες κατηγορίες χρήσεων γης/ κάλυψης γης για το πρώτο στάδιο της ταξινόμησης .....	35
Table 4.4: Οι κατηγορίες χρήσεων γης/ κάλυψης γης όπως τροποποιήθηκαν για να το δεύτερο στάδιο της ταξινόμησης.....	35
Table 4.5: Επιλογή δειγμάτων εκπαίδευσης και ελέγχου .....	36
Table 4.6: Αναλυτική παρουσίαση των σεναρίων ταξινόμησης και των συνιστωσών που διερευνώνται σε κάθε σενάριο.....	39
Table 4.7: Οι κανόνες που εφαρμόστηκαν για τον διαχωρισμό των καλλιεργήσιμων εκτάσεων .....	43
Table 5.1: Οι ακρίβειες του χρήστη και του αναλυτή (User's Accuracy - Producer's Accuracy) για τις κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ του καλύτερου και του χειρότερου σεναρίου (v2.4.7 και v2.2.1 αντίστοιχα).....	52
Table 5.2: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης της ακρίβειας της ταξινόμησης με χρήση εμπειρικών κανόνων.....	58
Table 0.1: Αναλυτικές ακρίβειες χρήστη και αναλυτή (User's Accuracy, Producer's Accuracy) για όλες τις κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ σε όλα τα σενάρια που εφαρμόστηκαν .....	76

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Figure 2.1: Παράδειγμα γραμμικού SVM (Πηγή: Burges, 1998) .....	16
Figure 3.1: Ο Νομός Θεσσαλονίκης και η λεκάνη απορροής των λιμνών της Κορώνειας και της Βόλβης.....	22
Figure 3.2: Η λίμνη Κορώνεια όπως φαίνεται από το βουνό του Χορτιάτη .....	23
Figure 3.3: Το δάσος της Απολλωνίας .....	23
Figure 3.4: Το ρέμα του Μελισουργού εκβάλλει στη νότια όχθη της Βόλβης .....	24
Figure 3.5: Η χρήση γης της περιοχής μελέτης σύμφωνα με το CORINE 2012 .....	24
Figure 3.6: Οι περιοχές του δικτύου NATURA 2000 της περιοχής μελέτης .....	25
Figure 4.1: Διάγραμμα ροής της προεπεξεργασίας των δεδομένων SAR και της εξαγωγής των παράγωγων προϊόντων (H-α, σ0) .....	29
Figure 4.2: Η μάσκα νερού για την καλοκαιρινή εικόνα .....	31
Figure 4.3: Διάγραμμα ροής της προεπεξεργασίας των δεδομένων Sentinel 2 και της εξαγωγής των παράγωγων προϊόντων .....	33
Figure 4.4: Διάγραμμα ροής της προεπεξεργασίας των δεδομένων αναγλύφου SRTM DEM και της εξαγωγής των παράγωγων προϊόντων .....	34
Figure 4.5: Η περιοχή μελέτης όπως απεικονίζεται από την RGB σύνθεση της εικόνας Sentinel 2.....	34
Figure 4.6: Η βελτιστοποίηση της παραμέτρου C .....	37
Figure 4.7: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας παραμετροποίησης και στη συνέχεια της εξαγωγής των ταξινομημένων εικόνων και των πινάκων σφάλματος.....	38
Figure 4.8: Διάγραμμα ροής όλων των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν μέχρι αυτό το σημείο .....	40

Figure 4.9: Το αποτέλεσμα της κατάτμησης σε ένα τμήμα της εικόνας.....	43
Figure 4.10: Το αποτέλεσμα της εξαγωγής των καλλιερχειών ως διανυσματικό αρχείο (shapefile).....	44
Figure 4.11: Τμήμα του συνόλου των κανόνων ως παράδειγμα της διαδικασίας .....	45
Figure 5.1: Οι φασματικές υπογραφές των επιλεγμένων κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ .....	47
Figure 5.2: Οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ συνίστανται από τις τιμές τους σε κάθε φασματικό κανάλι.....	48
Figure 5.3: Οι μέσες τιμές των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ για τους φασματικούς δείκτες NDVI και NDWI της καλοκαιρινής περιόδου .....	49
Figure 5.4: Οι μέσες τιμές των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ για τα μετασχηματισμένα κανάλια του MNF και PCA.....	49
Figure 5.5: Οι μέσες τιμές των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ για τα κανάλια της υφής.....	50
Figure 5.6: Η ολική ακρίβεια για όλα τα σενάρια που δοκιμάστηκαν.....	51
Figure 5.7: Ο συντελεστής kappa για όλα τα σενάρια που δοκιμάστηκαν.....	52
Figure 5.8: Οι ακρίβειες ταξινόμησης κάθε κατηγορία ΧΓ/ΚΓ για όλα τα σενάρια που δοκιμάστηκαν.....	53
Figure 5.9: Σκηνή 1 από την περιοχή μελέτης όπως προέκυψε στα 24 διαφορετικά σενάρια SVMs που εξετάστηκαν.....	54
Figure 5.10: Σκηνή 2 από την περιοχή μελέτης όπως προέκυψε στα 24 διαφορετικά σενάρια SVMs που εξετάστηκαν.....	55
Figure 5.11: Σκηνή 3 από την περιοχή μελέτης όπως προέκυψε στα 24 διαφορετικά σενάρια SVMs που εξετάστηκαν.....	56
Figure 5.12: Σκηνή 4 από την περιοχή μελέτης όπως προέκυψε στα 24 διαφορετικά σενάρια SVMs που εξετάστηκαν.....	57
Figure 5.13: Η ακρίβεια χαρτογράφησης των επιμέρους κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ .....	58
Figure 5.14: Η τελική ταξινομημένη εικόνα με τη μέθοδο της χρήσης εμπειρικών κανόνων.....	59
Figure 0.1: Η μέση τιμή (mean), η τυπική απόκλιση (standard deviation) και η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή κάθε κατηγορία ΧΓ/ΚΓ για τα κανάλια του Sentinel 2.....	79

## 1.1 Γενικά

Σύμφωνα με την σύμβαση Ramsar για τους Υγροβιότοπους Διεθνούς Σημασίας «οι Υγροβιότοποι είναι φυσικές ή τεχνητές περιοχές [...] μόνιμα ή προσωρινά κατακλυζόμενες από νερό το οποίο είναι στάσιμο ή τρεχούμενο, γλυκό, υφάλμυρο ή αλμυρό και περιλαμβάνουν επίσης εκείνες τις εκτάσεις που καλύπτονται από θαλασσινό νερό το βάθος του οποίου κατά τη ρηχία δεν υπερβαίνει τα έξι μέτρα. Ουσιώδη γνωρίσματα της μεταβατικής ζώνης που παρεμβάλλεται μεταξύ των μόνιμα κατακλυσμένων και των καθαρά χερσαίων περιοχών είναι η παρουσία υδροχαρούς βλάστησης και η ύπαρξη υδρομορφικών εδαφών, δηλαδή εδαφών που ανέπτυξαν ειδικά γνωρίσματα ως αποτέλεσμα της υψηλής υπόγειας στάθμης νερού.» (Ramsar Convention Secretariat, 2016).

Οι υγρότοποι αντιπροσωπεύουν ένα από τα σημαντικότερα είδη οικοσυστημάτων παγκοσμίως και ταυτόχρονα ένα από τα περισσότερο απειλούμενα εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας. Τα υγροτοπικά οικοσυστήματα παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην κλιματική αλλαγή, την βιοποικιλότητα, την υδρολογία και την παγκόσμια υγεία (Ramsar Convention Secretariat, 2016). Σχετικά με την κλιματική αλλαγή, οι υγρότοποι επιδρούν σε παγκόσμια και τοπική κλίμακα λόγω της εξατμισοδιαπνοής και της απορρόφησης διοξειδίου του άνθρακα (Russi et al. 2016). Παρόλο που οι υγρότοποι με γλυκό νερό καλύπτουν μόλις το 1% της γήινης επιφάνειας, αυτές οι περιοχές παρέχουν καταφύγιο σε παραπάνω από 40% της παγκόσμιας χλωρίδας και πανίδας (Mitra, Wassmann and Vlek, 2003). Η ισορροπία τους μπορεί να διαταραχθεί από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων η υπεράντληση ύδατος, η ρίψη αποβλήτων, η χρήση φυτοφαρμάκων και άλλων γεωργικών προϊόντων που εισχωρούν στο έδαφος και επηρεάζουν τα υπόγεια ύδατα και γενικά η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτινων στοιχείων (Perivolioti et al., 2016). Η ανάγκη για την προστασία των υγροτόπων είναι διεθνώς αναγνωρισμένη, καθώς αποτελούν έναν απαραίτητο πόρο για τους ανθρώπους (Hu et al., 2017). Η ανάπτυξη αξιόπιστων τεχνικών για τη χαρτογράφηση και την παρακολούθηση αλλαγών στα υγροτοπικά οικοσυστήματα είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

Η απώλεια και η υποβάθμιση των υγροτόπων είναι μία αδιαμφισβήτητη πραγματικότητα και αυτό οφείλεται κυρίως στην ανθρώπινη δραστηριότητα (Max Finlayson, 2012). Η έκταση και χωρική κατανομή των υγροτόπων στην γήινη επιφάνεια παραμένει ένα άλυτο ζήτημα, πιθανώς εξαιτίας των διαφορών σχετικά με τον ορισμό των υγροτόπων, την δυναμική των υδρολογικών συστημάτων και τα χαρακτηριστικά της εποχιακής βλάστησης (Gómez et al., 2016) καθώς και τα φασματικά χαρακτηριστικά (Gong et al., 2013). Ο Dugan (1993), χρησιμοποιώντας τον ορισμό της σύμβασης Ramsar (βλ. παραπάνω), υπολόγισε την παγκόσμια έκταση των υγροτόπων σε 5.6 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά τέτοια οικοσυστήματα (γλυκού και υφάλμυρου νερού) όπως λίμνες, δέλτα ποταμών και παράκτια οικοσυστήματα. Στην

ελληνική νομοθεσία έχουν θεσπιστεί αρκετοί νόμοι και έχουν υπογραφεί εθνικές και διεθνείς συμβάσεις για την προστασία των υγροτόπων.

Η ταξινόμηση είναι η διαδικασία καταχώρισης των ψηφίδων μιας ψηφιακής εικόνας σε ένα ορισμένο πλήθος ατομικών τάξεων, ή κατηγοριών που βασίζεται στις φασματικές τιμές των δεδομένων. Η απόφαση, η οποία αφορά την τάξη στην οποία πρέπει να καταχωρισθεί η κάθε ψηφίδα, είναι μία στατιστική υπόθεση που έχει πιθανότητες σφάλματος. Σε κάθε απόφαση σχετική με την ταξινόμηση απαιτείται η ελαχιστοποίηση κάποιου κριτηρίου σφάλματος (Tsakiri, 2010). Η επιλογή του κατάλληλου ταξινομητή και των κατάλληλων φασματικών καναλιών είναι απαραίτητη για την βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης όταν χρησιμοποιούνται δεδομένα τηλεπισκόπησης (Erener, 2012).

Στις περιοχές υγροτόπων η ακριβής ταξινόμηση των τύπων κάλυψης του εδάφους παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες. Η παρουσία του νερού τόσο στο έδαφος όσο και στην βλάστηση μπορεί να προκαλέσει σύγχυση στον διαχωρισμό των χαρακτηριστικών. Επιπλέον, στους υγροτόπους, εκτός από το νερό που κυριαρχεί, περιλαμβάνονται πολλά διαφορετικά είδη κάλυψης γης, τόσο αστικά όσο και φυσικά και με παρόμοιες φασματικές τιμές. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την εποχικότητα τόσο των λιμνών όσο και των διαφορετικών ειδών βλάστησης, συνθέτουν ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο οικοσύστημα στο οποίο η απόκτηση δεδομένων πεδίου μπορεί να αποδειχτεί δύσκολη.

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) αποτελούν πολύτιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της γήινης επιφάνειας. Η διαθεσιμότητα των δορυφορικών εικόνων προσφέρει νέες δυνατότητες για την παρακολούθηση μεγάλων περιοχών ξηράς και θάλασσας ακόμα και σε περιοχές που η άμεση πρόσβαση είναι δύσκολη ή αδύνατη (Kennedy *et al.*, 2009). Ακόμα, τα δεδομένα αυτά είναι διαθέσιμα συχνά χωρίς καθόλου κόστος και με μεγάλη χωρική και χρονική ανάλυση. Αυτό δίνει την δυνατότητα για τον εντοπισμό αλλαγών και την παρακολούθηση τέτοιων ευαίσθητων βιοτόπων τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα (Bassa *et al.*, 2016). Η εκτόξευση νέων, εξελιγμένων οργάνων για την παρατήρηση της Γης (EO), όπως η σειρά των δορυφόρων Sentinel από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA), δημιουργεί νέες ευκαιρίες για την ανάπτυξη τεχνικών που θα βοηθήσουν στην χαρτογράφηση και παρακολούθηση υγροτόπων. Τα όργανα αυτά προσφέρουν συνεχή δεδομένα με υψηλή χωρική, χρονική και φασματική ανάλυση καθώς και μία ποικιλία αισθητήρων (ραντάρ, οπτικούς, θερμικούς) (Moreno *et al.*, 2012).

Οι δορυφόροι Sentinel αποτελούν μέρος του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Παρακολούθησης της Γης «Copernicus». Το Copernicus αφορά την διαχείριση φυσικών πόρων, την παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής, την διασφάλιση της ασφάλειας των πολιτών και την πρόληψη και διαχείριση καταστροφών. Τα δεδομένα του Copernicus είναι ανοιχτά και δωρεάν μέσω της πλατφόρμας του Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>). Μέχρι σήμερα έχουν εκτοξευθεί οι αποστολές Sentinel 1 (A & B), Sentinel 2 (A & B) και Sentinel 3 (A). Η αποστολή Sentinel 1 παρέχει εικόνες

καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας και σε όλες τις καιρικές συνθήκες μέσω ενός Ραντάρ Συνθετικού Διαφράγματος (Synthetic Aperture Radar – SAR). Τα δεδομένα αυτά είναι χρήσιμα για την παρακολούθηση της ξηράς και της θάλασσας (land service, ocean service). Η αποστολή Sentinel 2 αποτελεί κατεξοχήν μέρος του προγράμματος για την παρακολούθηση της ξηράς (land service) και παρέχει οπτικές εικόνες υψηλής χωρικής (από 10m) και φασματικής (13 φασματικά κανάλια) ανάλυσης και παγκόσμια κάλυψη κάθε 5 ημέρες.

## 1.2 Σκοπός Μελέτης

Για λόγους που αναλύθηκαν παραπάνω, η αναγνώριση και η εξαγωγή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των υγροτόπων απαιτούν προηγμένες μεθόδους ανάλυσης και επεξεργασίας. Για τον λόγο αυτό, η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε, με την χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 1 & 2, στην εφαρμογή μεθόδων και αλγορίθμων (όπως μετασχηματισμοί, δείκτες και άλλα) και στην αξιολόγηση της συνεισφοράς τους στην ακρίβεια της ταξινόμησης των χρήσεων γης/κάλυψης γης (ΧΓ/ΚΓ) – Land Use Land Cover (LULC). Επίσης, επιχειρήθηκε η ανάπτυξη ενός εξειδικευμένου προϊόντος χαρτογράφησης της εν λόγω περιοχής χρησιμοποιώντας τα βέλτιστα αποτελέσματα των προηγούμενων διαδικασιών. Επειδή τα δεδομένα των Sentinel είναι πολύ πρόσφατα, η μελέτη αυτή είναι μάλλον μία από τις πρώτες μελέτες που διερευνούν σε βάθος τα χαρακτηριστικά τους και τον συνδυασμό τους με προηγμένους αλγορίθμους ταξινόμησης. Σκοπός είναι να αναλυθεί μια σειρά παράγωγων προϊόντων που προέκυψαν από τους αισθητήρες που αναφέρθηκαν παραπάνω καθώς και διάφοροι συνδυασμοί τους για την αναγνώριση και τον διαχωρισμό των φυσικών χαρακτηριστικών των υγροτόπων.

Το αντικείμενο της παρούσας μελέτης συνίσταται στη διερεύνηση των δυνατοτήτων των δεδομένων των Sentinel, σε συνδυασμό με προηγμένους αλγόριθμους εκμάθησης για την ταξινόμηση των χρήσεων γης / κάλυψης γης (Land Use/Land Cover – LULC). Η δημιουργία ενός χάρτη LULC με τη χρήση κανόνων για την βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης αποτέλεσε έναν από τους βασικούς στόχους της μελέτης.

Οι ειδικότεροι στόχοι της έρευνας είναι:

- Η διερεύνηση της καταλληλότητας των εικόνων Sentinel 2 και της συνεργιστικής χρήσης τους με εικόνες Sentinel 1 για την χαρτογράφηση υγροτόπων σε συνδυασμό με προηγμένους αλγορίθμους ταξινόμησης
- Η αξιολόγηση της προστιθέμενης αξίας παράγωγων προϊόντων από τις εικόνες Sentinel 1 και Sentinel 2 στην συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης των χρήσεων γης/κάλυψης γης (ΧΓ/ΚΓ) (ανάλυση χαρακτηριστικών υψής, τοπογραφική πληροφορία, φασματικοί δείκτες)
- Η βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης χρησιμοποιώντας δεδομένα που εξήχθησαν από τα προηγούμενα βήματα σε συνδυασμό με βοηθητικά δεδομένα και λογικούς κανόνες και η δημιουργία ενός ακριβέστερου χάρτη χρήσεων γης/κάλυψης γης της περιοχής

Πιο συγκεκριμένα, για τον πρώτο στόχο χρησιμοποιήθηκαν μία οπτική εικόνα Sentinel 2 (S2) (02|08|2016) και μία εικόνα Sentinel 1 (S1) Single Look Complex (SLC) (02|08|2016). Για τον δεύτερο στόχο χρησιμοποιήθηκε ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model – DEM) (Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, 1 arcsec, v2) καθώς και παράγωγες εικόνες από τις αρχικές S2 και S1 που προέκυψαν μετά από την ανάλυση των χαρακτηριστικών υψής από την εκτέλεση του Grey Level Co-Occurance Matrix (GLCM). Για τον τρίτο στόχο εφαρμόστηκαν και συγκρίθηκαν οι μετασχηματισμοί εικόνας Principal Component Analysis (PCA) και Minimum Noise Transfer (MNF). Ο αλγόριθμος που επιλέχθηκε για την ταξινόμηση είναι ο Support Vector Machines (SVMs). Τέλος, όλα τα παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με την χρήση λογικών κανόνων για την παραγωγή ενός ακριβέστερου χαρτογραφικού προϊόντος της εν λόγω περιοχής.

Αξίζει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι η παρούσα μελέτη αποτελεί την πρώτη μελέτη που αξιοποιεί τα δεδομένα των πρόσφατων αποστολών Sentinel για την ταξινόμηση των χρήσεων γης/κάλυψης γης στο Εθνικό Πάρκο Κορώνειας – Βόλβης.

### 1.3 Δομή της μελέτης

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει δομηθεί ως ακολούθως:

Το **δεύτερο κεφάλαιο** εστιάζει στην κριτική ανασκόπηση της βιβλιογραφικής έρευνας, διερευνώντας τις σύγχρονες τεχνολογίες και προσδιορίζοντας τα κενά στην μέχρι τώρα έρευνα. Μέσα από την σύντομη ανασκόπηση συνοψίζονται ήδη υπάρχουσες δημοσιευμένες μελέτες που κάνουν χρήση παρόμοιων μεθόδων ή που έχουν γίνει στην εν λόγω περιοχή. Στο πρώτο μέρος περιγράφονται συνοπτικά σχετικές μελέτες που έχουν γίνει με τη χρήση του αλγορίθμου SVMs καθώς και η χρήση δορυφορικών δεδομένων Sentinel για περιοχές υδροτόπων. Στο δεύτερο μέρος περιγράφονται συνοπτικά μελέτες που αφορούν στην εν λόγω περιοχή μελέτης. Τέλος, επιχειρείται να εντοπιστούν πιθανά κενά που υπάρχουν στην μέχρι τώρα επιστημονική έρευνα και να συνδεθεί η παρούσα μελέτη με την διεθνή επιστημονική έρευνα.

Το **τρίτο κεφάλαιο** αναφέρεται στην περιοχή μελέτης. Περιγράφονται κάποια γεωμορφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής και γίνεται μία σύντομη αναφορά στις ζώνες προστασίας, τους νόμους και τις συμβάσεις που αφορούν την περιοχή.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίτευξη των στόχων της μελέτης. Το πρώτο μέρος αφορά την αναλυτική περιγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και την προεπεξεργασία τους. Παρουσιάζονται με αναλυτικό τρόπο οι διορθώσεις που ήταν απαραίτητο να προηγηθούν της ταξινόμησης καθώς και όλες οι διαδικασίες για την εξαγωγή των παράγωγων εικόνων από την ανάλυσή τους και η σύνθεση των τελικών εικόνων (datasets). Για τις ανάγκες της μελέτης, κρίθηκε απαραίτητο να πραγματοποιηθεί βελτιστοποίηση των παραμέτρων του αλγορίθμου ταξινόμησης μέσω επαναληπτικής διαδικασίας ταξινομήσεων και αξιολόγησης της ακρίβειάς τους. Στη συνέχεια αναλύονται οι κατηγορίες χρήσεων γης /

κάλυψης γης που επιλέχθηκαν, τα δείγματα και η διαδικασία της ταξινόμησης με τον αλγόριθμο SVMs, καθώς και η σύνταξη των κανόνων (rules) και η εξαγωγή του τελικού προϊόντος. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται η εκτίμηση της ακρίβειας και αναλύονται οι πίνακες σφάλματος και οι επιμέρους ακρίβειες της κάθε κατηγορίας χρήσης γης/κάλυψης γης.

Η αξιολόγηση και η συζήτηση των αποτελεσμάτων καλύπτεται στο **πέμπτο κεφάλαιο**. Αναλύονται οι ολικές ακρίβειες, οι επιμέρους ακρίβειες και αξιολογείται η προστιθέμενη αξία των πρόσθετων εικόνων στην συνολική ακρίβεια της κάθε ταξινόμησης. Στην συζήτηση γίνεται σύνθεση των αποτελεσμάτων, κριτική ανασκόπησή, καθώς επίσης η σύνδεσή και σύγκρισή τους με την μέχρι τώρα βιβλιογραφία. Παρουσιάζονται πολλές πτυχές της μελέτης, συμπεριλαμβανομένων των περιορισμών που εντοπίστηκαν.

Τέλος, στο **έκτο κεφάλαιο** παρατίθεται η σύνοψη της μελέτης και προτείνονται κατευθύνσεις για μελλοντική συνέχιση της εργασίας που εκτελέστηκε.

## 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 Ραντάρ Συνθετικού Διαφράγματος (SAR)

Τα Ραντάρ Συνθετικού Διαφράγματος (Synthetic Aperture Radar - SAR) έχουν μεγάλη χρησιμότητα για την παρακολούθηση υγροτοπικών οικοσυστημάτων εξαιτίας της ικανότητας τους να ξεχωρίζουν τις υδάτινες επιφάνειες, διαφορετικά είδη βλάστησης καθώς επίσης και υδάτινες επιφάνειες κάτω από περιοχές με φυτοκάλυψη (Hess, Melack and Simonett, 1990; Brisco *et al.*, 2009). Οι αισθητήρες SAR πλεονεκτούν ως προς το ότι έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας και σε όλες τις καιρικές συνθήκες συμπεριλαμβανομένης και της νεφοκάλυψης. Σε πολλές μελέτες φαίνεται να αυξάνεται η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης υγροτόπων όταν συνδυάζονται οπτικά δεδομένα με δεδομένα ραντάρ (Töyrä *et al.*, 2002; Corcoran, Knight and Gallant, 2013; Aslan *et al.*, 2016; Furtado, Silva and Novo, 2016). Οι υδάτινες επιφάνειες έχουν πολύ χαμηλότερη οπισθοσκέδαση (backscatter) από ότι άλλα χαρακτηριστικά όπως η βλάστηση και οι μη διαπερατές επιφάνειες. Για τον λόγο αυτό τα ραντάρ είναι πολύ αποτελεσματικά στον διαχωρισμό των υδάτινων επιφανειών. Ωστόσο, όταν υπάρχουν καιρικά φαινόμενα όπως έντονος αέρας που δημιουργούν κυματισμό ή σε ανοιχτή θάλασσα, ο διαχωρισμός αυτός είναι δυσκολότερος (Churyumov and Kravtsov, 2000). Σε πολλές μελέτες χρησιμοποιούνται δεδομένα από ραντάρ για την οριοθέτηση πλημμυρισμένων περιοχών (Gan *et al.*, 2012; Schlaffer *et al.*, 2015; Qiu *et al.*, 2017). Από αποτελέσματα σχετικών μελετών φαίνεται ότι η χρήση μονού καναλιού (single channel) δεν κρίνεται τόσο αποτελεσματική για τον διαχωρισμό πλημμυρισμένων περιοχών με βλάστηση όσο η χρήση συνδυασμών διπλής ή τετραπλής πόλωσης (dual or quad polarization) (Hong *et al.*, 2015; White *et al.*, 2015; Abdikan *et al.*, 2016). Αρκετές μελέτες υποδεικνύουν την χρήση δεδομένων τετραπλής πόλωσης ως καταλληλότερη για την ταξινόμηση υγροτόπων (Atwood, Small and Gens, 2012; Marechal *et al.*, 2012; Banks *et al.*, 2014; Furtado, Silva and Novo, 2016). Οι Muro *et al.* (2016) χρησιμοποιούν χρονοσειρές εικόνων Sentinel 1 για τον εντοπισμό μεταβολών σε περιοχή ενός υγροτόπου στη Γαλλία. Οι χρονοσειρές του Sentinel 1 αποδείχτηκαν ικανές να εντοπίσουν στον χώρο και τον χρόνο τις αλλαγές που προκύπτουν από την δυναμική των επιφανειακών υδάτων και την γεωργία. Η μέθοδος αυτή παρουσίασε καλύτερα αποτελέσματα στην ανίχνευση αλλαγών από την χρήση απλών ζευγών S1 και φάνηκε πολλά υποσχόμενη για την αυτοματοποιημένη παρακολούθηση αλλαγών και την ακριβή οριοθέτηση περιοχών με υψηλή μεταβλητότητα.

Τα ραντάρ χρησιμοποιούνται ευρέως για την αναγνώριση μη διαπερατών επιφανειών (όπως για παράδειγμα κτίρια και δρόμοι) (Leinenkugel, Esch and Kuenzer, 2011; Zhang, Zhang and Lin, 2012; Zhang *et al.*, 2016). Συγκεκριμένα, οι τελευταίοι χρησιμοποίησαν δεδομένα SAR για τον διαχωρισμό των οικισμών με τη βοήθεια αλγορίθμων με βάση τα αντικείμενα. Οι Zhang *et al.* (2016), συνέκριναν δεδομένα απλής και διπλής πόλωσης και βρήκαν ότι τα δεδομένα διπλής πόλωσης υπερέρχουν των δεδομένων απλής πόλωσης για τον εντοπισμό μη διαπερατών επιφανειών. Επιπλέον, σε άλλη μελέτη (Zhang, Zhang and Lin, 2012) χρησιμοποίησαν συνδυαστικά οπτικά δεδομένα με ραντάρ για τον εντοπισμό



των μη διαπερατών επιφανειών με τη βοήθεια προηγμένων αλγορίθμων ταξινόμησης (Support Vector Machines, Artificial Neural Networks).

## 2.2 Support Vector Machines

Οι προηγμένοι αλγόριθμοι εκμάθησης έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ευρέως στην τηλεπισκόπηση τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της δυνατότητάς τους να εκτελούν ταξινόμηση των χρήσεων γης (Rogan *et al.*, 2008). Ένας από τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο αριθμό μελετών είναι ο αλγόριθμος Support Vector Machines (SVM) που συχνά παρουσιάζει υψηλή απόδοση σε σχέση με άλλους κοινούς αλγορίθμους ταξινόμησης (Shang and Chisholm, 2014).

Τα SVMs είναι αλγόριθμος επιβλεπόμενης ταξινόμησης που βασίζεται στη στατιστική θεωρία και αναπτύχθηκε από τον Vapnik (2000) για την επίλυση δυαδικών προβλημάτων ταξινόμησης. Η κύρια ιδέα των SVMs είναι να κατασκευαστεί ένα υπερεπίπεδο (hyperplane), έτσι ώστε η απόσταση του διαχωρισμού μεταξύ των θετικών και αρνητικών παραδειγμάτων να μεγιστοποιείται. Βλέποντας τα δεδομένα εισόδου σαν δύο σύνολα διανυσμάτων σε ένα  $n$ -διάστατο χώρο, τα SVMs θα κατασκευάσουν ένα

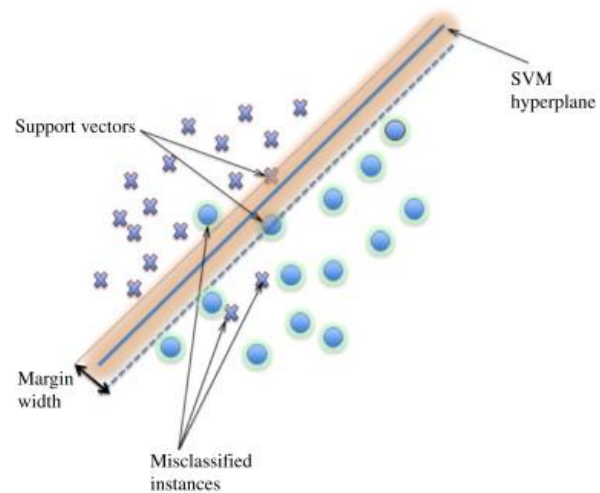


Figure 2.1: Παράδειγμα γραμμικού SVM (Πηγή: Burges, 1998)

διαχωριστικό υπερεπίπεδο σε αυτόν το χώρο, που θα μεγιστοποιεί την απόσταση μεταξύ των δύο συνόλων. Για τον υπολογισμό της απόστασης αυτής, κατασκευάζονται δύο παράλληλα υπερεπίπεδα, ένα σε κάθε πλευρά του διαχωριστικού υπερεπιπέδου, τα οποία “σπρώχνονται” πάνω στα δύο σύνολα δεδομένων. Ένας καλός διαχωρισμός επιτυγχάνεται από το υπερεπίπεδο που έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τα γειτονικά σημεία δεδομένων και των δύο συνόλων, δεδομένου ότι σε γενικές γραμμές όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση τόσο καλύτερο είναι το λάθος γενίκευσης του ταξινομητή. Το διπλάσιο της απόστασής αυτής ονομάζεται περιθώριο (margin). Το μέγεθος του περιθωρίου εκφράζεται από την παράμετρο  $C$ . Τα SVMs επιλέγουν εκείνο το υπερεπίπεδο το οποίο ισαπέχει από τα πλησιέστερα σε αυτό διανύσματα των δύο συνόλων. Αυτά τα διανύσματα ονομάζονται διανύσματα υποστήριξης (support vectors), εξ ου και το όνομα του αλγορίθμου (Mountrakis, Im and Ogole, 2011). Τα SVMs σπανίως χρησιμοποιούν όλα τα training samples πράγμα που βοηθά στη μείωση των υπολογιστικών αναγκών. Μέχρι στιγμής έχουμε απασχοληθεί με τα προβλήματα τα οποία αποσκοπούν στο βέλτιστο διαχωρισμό κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ όταν αυτές μπορούν να διαχωριστούν γραμμικά. Στην περίπτωση που τα δεδομένα δεν είναι γραμμικώς διαχωρίσιμα, τότε ανάλογα με τις τιμές που μπορεί να δώσει ο χρήστης στην παράμετρο  $C$  ελέγχει και τη σωστή ταξινόμηση των δεδομένων. Όμως η γραμμική προσέγγιση σε

ορισμένες περιπτώσεις παρουσιάζει αρκετά σφάλματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ορισμένες συναρτήσεις πυρήνα (kernel functions). Οι πιο γνωστές είναι η πολυωνυμική (polynomial), η σιγμοειδής (sigmoid) και η συνάρτηση ακτινικής βάσης (RBF) (Wang, 2014). Η RBF θεωρείται από πολλούς η πιο υποσχόμενη σε προβλήματα με δεδομένα πολλών διαστάσεων (Paneque-Gálvez *et al.*, 2013). Η RBF έχει δύο παραμέτρους: την  $C$  (που αναλύθηκε παραπάνω) και την  $\gamma$ , η οποία εκφράζει τον βαθμό στον οποίο μπορεί να επηρεάσει ένα training sample εντός του περιθωρίου την τελική απόφαση (Sonobe *et al.*, 2014). Η σωστή επιλογή των παραμέτρων μπορεί να βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια του αλγορίθμου.

Σε πολλές μελέτες βλάστησης έχει ήδη αξιολογηθεί η απόδοση των SVMs για την ταξινόμηση χρήσεων γης και έχουν πραγματοποιηθεί συγκρίσεις με άλλες μεθόδους (Kavzoglu and Colkesen, 2009; Waske *et al.*, 2009; Otukei and Blaschke, 2010; Szuster *et al.*, 2011; Petropoulos *et al.*, 2012; Zhang and Xie, 2013; Barrett *et al.*, 2014). Οι Szuster *et al.* (2011) συνέκριναν τα SVMs με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας (MLC) και τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANNs) για την ταξινόμηση τροπικής παράκτιας ζώνης με δεδομένα του ASTER. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι τα SVMs αποδίδουν καλύτερα από τις άλλες μεθόδους για τον διαχωρισμό των ανθρώπινων υποδομών από την άμμο και τα βράχια. Πιο συγκεκριμένα, ενώ στην ολική ακρίβεια τα αποτελέσματα των ANN ήταν λίγο καλύτερα (94.99% έναντι 94.15% των SVMs και 93.9% της MLC), στις επιμέρους ακρίβειες των αναφερθέντων κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ τα SVMs είχαν αρκετά καλύτερη απόδοση (~10% έναντι των άλλων δύο μεθόδων).

Οι Petropoulos *et al.*, 2012b συνέκριναν επίσης τους αλγορίθμους MLC, ANN και SVMs για την ταξινόμηση των ΧΓ/ΚΓ με σκοπό την οριοθέτηση καμένης έκτασης στην περιοχή της Αττικής. Χρησιμοποίησαν και συνέκριναν δεδομένα από τους αισθητήρες ALI (EO-1) και TM (Landsat) και τα αποτελέσματά τους απέδειξαν τα οφέλη από τη συνδυαστική χρήση SVM και δεδομένων ALI υποδηλώνοντας ότι η τεχνολογία του αισθητήρα ALI μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά πολύτιμη στη χαρτογράφηση των καμένων περιοχών και των ΧΓ/ΚΓ. Συγκεκριμένα, η υψηλότερη ακρίβεια επετεύχθη με την χρήση SVMs και δεδομένων ALI και TM (94.93% και 93.55% αντίστοιχα) ενώ με την χρήση των ταξινομητών MLC και ANN η ακρίβειες έφτασαν στο 90.78% και 93.58% αντίστοιχα για τα δεδομένα ALI και 90.32% και 86.18% αντίστοιχα για τα δεδομένα TM.

Οι Huang *et al.* (2008) πραγματοποίησαν ταξινόμηση με SVMs για να αξιολογήσουν την επιρροή της κλίσης (slope) και άποψης (aspect) του εδάφους, του ύψους του ήλιου (solar elevation), του αζιμούθιου και της σχετικής θέσης των δέντρων στην ακρίβεια της ταξινόμησης. Παρατηρήθηκε ότι η ακρίβεια αυξάνεται έως 3.6% όταν πραγματοποιηθεί τοπογραφική διόρθωση. Οι Lardeux *et al.* (2009) χρησιμοποίησαν SVMs για την ταξινόμηση πυκνής τροπικής βλάστησης με δεδομένα SAR. Η μελέτη έδειξε ότι τα SVMs έφτασαν περίπου 20% υψηλότερη ακρίβεια από την ταξινόμηση Wishart. Οι Boyd *et al.* (2006) συνέκριναν τα SVMs με τεχνικές βασισμένες σε δέντρα απόφασης (decision trees) σε μία περιοχή ημι-φυσικών οικοτόπων (fenlands). Η απόδοση των SVMs ήταν ελαφρώς

καλύτερη από εκείνη των decision trees. Οι Camps-Valls et al.(2004) βρήκαν ότι τα SVMs είναι λιγότερο ευαίσθητα στον αριθμό των δειγμάτων εκπαίδευσης από άλλους ταξινομητές και ότι είναι σε θέση να εντοπίζουν τα κανάλια με θόρυβο. Οι Karimi et al. (2006) χρησιμοποίησαν υπερφασματικά δεδομένα σε συνδυασμό με SVMs για την αυτόματη ανίχνευση ζιζανίων και αζώτου σε καλλιέργειες καλαμποκιών.

Τα SVMs έχουν συνεισφέρει πολύ στην τηλεπισκόπηση και την τελευταία δεκαετία η χρήση τους αυξάνεται συνεχώς. Φαίνεται ότι οι περισσότερες μελέτες έχουν γίνει με δεδομένα Landsat και για μελέτες χρήσεων γης ή δασικές. Επίσης πολλές μελέτες ασχολούνται με την συνάρτηση πυρήνα (kernel function) και την συνεισφορά της στην ακρίβεια της ταξινόμησης. Τέλος, οι περισσότερες συγκριτικές μέθοδοι σχετίζονται με τα νευρωνικά δίκτυα, την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας και τα δέντρα απόφασης (Mountrakis, Im and Ogole, 2011). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται μερικές από τις μελέτες που έχουν γίνει με την χρήση SVMs.

Table 2.1: Δημοσιευμένες μελέτες που κάνουν χρήση SVMs

Purpose	Datasets	Study Area	Overall Accuracy	Source
Vegetation	AVIRIS	Indiana	95.90%	(Gualtieri and Crompt, 1998)
	IKONOS	Lake Kerkini	72%	(Keramitsoglou <i>et al.</i> , 2006)
	Landsat	Carpathian Mountains	96%	(Knorn <i>et al.</i> , 2009)
Impervious surfaces	IKONOS	Connecticut	99%	(Song and Civco, 2004)
	SPOT 5	France / USA	~80%	(Inglada, 2007)
	ASTER	Israel	~89%	(Zhu and Blumberg, 2002)
LULC	QuickBird	Hefei city of China	~90%	(Li <i>et al.</i> , 2010)
	MERIS	Wisconsin	73.20%	(Dash <i>et al.</i> , 2007)
	AVIRIS	Indiana	~92%	(Melgani and Bruzzone, 2004)
	HYPERION	Crete, Greece	76.23%	(Petropoulos <i>et al.</i> , 2012)
Soil erosion	ASTER, SRTM, Aerial	Himalayas	76.60%	(Andermann and Gloaguen, 2009)
Burnt area delineation	Landsat TM	Parnitha, Greece	95.87%	(Petropoulos <i>et al.</i> , 2011)

Στην βιβλιογραφία δεν υπάρχουν ακόμα επαρκείς μελέτες που να συνδυάζουν τα νέα δεδομένα Sentinel 2 με τον αλγόριθμο SVMs. Σε κάποιες μελέτες έχει επιχειρηθεί η αξιολόγηση του αλγορίθμου SVMs σε συνδυασμό με προσομοιωμένα δεδομένα Sentinel 2 (Pelletier *et al.*, 2016; Vaglio Laurin *et al.*, 2016). Για τον λόγο αυτό, στην παρούσα μελέτη γίνεται μία προσπάθεια να αξιολογηθεί η απόδοση του αλγορίθμου χρησιμοποιώντας τα δεδομένα αυτά.

### 2.3 Χρήση κανόνων για την βελτίωση της ταξινόμησης των χρήσεων γης/ κάλυψης γης

Τα τελευταία χρόνια σε πολλές μελέτες έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς αλγόριθμοι αυτόματης ταξινόμησης, επιβλεπόμενης και μη, όπως τα SVMs που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Ενώ οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται είναι σε αρκετές περιπτώσεις αρκετά υψηλές, ωστόσο εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό τόσο από τον ίδιο τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται όσο και από την πολυπλοκότητα της περιοχής μελέτης αλλά και από την επιλογή των δεδομένων (Manandhar *et al.*, 2009). Για τον λόγο

αυτό, έχουν αναπτυχθεί τεχνικές βελτίωσης της ακρίβειας της ταξινόμησης με την βοήθεια λογικών κανόνων που αφορούν την φασματική απόκριση, την υφή, το σχήμα και άλλες παραμέτρους. Σε αυτό το πλαίσιο, η δημιουργία μεθόδων που βασίζονται στην γνώση της περιοχής και των χαρακτηριστικών της (knowledge ή rule based method) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο καθώς είναι σε θέση να διαχειριστεί διαφορετικές πηγές δεδομένων (Li *et al.*, 2011).

Τέτοιες μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί σε μία πληθώρα μελετών για την επίτευξη διάφορων στόχων. Οι Li *et al.* (2011) χρησιμοποίησαν δεδομένα TM για την ταξινόμηση πετρωμάτων και ορυκτών σε ηφαιστειακή λεκάνη της Νοτίου Αφρικής. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η μέθοδος αυτή υπερέχει σε σχέση με την απλή ταξινόμηση με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας (MLC) και συγκεκριμένα η ολική ακρίβεια αυξήθηκε από 54.3% σε 83.2%. Οι Zhang and Zhu (2011) χρησιμοποίησαν δεδομένα πολύ υψηλής ακρίβειας Quickbird για την ταξινόμηση των χρήσεων γης σε αστικές και ημιαστικές περιοχές του Πεκίνου. Η ακρίβεια της ταξινόμησης που επιτεύχθηκε ήταν αρκετά υψηλή (90.91%) και τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι με την βοήθεια των κανόνων που χρησιμοποίησαν μπόρεσε να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά το πρόβλημα των παρόμοιων φασματικών υπογραφών μεταξύ των αντικειμένων του εδάφους. Οι Manandhar *et al.* (2009) χρησιμοποίησαν δεδομένα Landsat με σκοπό την εξαγωγή ενός αξιόπιστου χάρτη χρήσεων γης της περιοχής Lower Hunter στην Νέα Νότια Ουαλία της Αυστραλίας. Εφάρμοσαν σε 3 διαφορετικές εικόνες Landsat τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας και στη συνέχεια χρησιμοποίησαν βοηθητικά δεδομένα και λογικούς κανόνες βασισμένους στην γνώση για την βελτίωση των αποτελεσμάτων. Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης αυξήθηκε 8%, 14% και 19% στις 3 εικόνες, πράγμα που έδειξε ότι η συνολική βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης με την χρήση βοηθητικών κανόνων είναι σημαντική. Παρομοίως, οι Barkhordari and Vardanian (2012) εφαρμόζοντας την ίδια μέθοδο στην περιοχή του Ιράν πέτυχαν την αύξηση της ακρίβειας της ταξινόμησης από 72% σε 91%.

Μέχρι στιγμής δεν έχει εντοπιστεί κάποια μελέτη στη βιβλιογραφία που να χρησιμοποιεί δεδομένα Sentinel σε συνδυασμό με την μέθοδο των κανόνων (rule-based) για την βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης των ΧΓ/ΚΓ σε περιοχή υγροβιοτόπου. Στην παρούσα μελέτη η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται αφενός για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την αγροτική βλάστηση και τον διαχωρισμό τους από την φυσική και αφετέρου για την παραγωγή ενός αξιόπιστου χάρτη των ΧΓ/ΚΓ της περιοχής μελέτης. Η παρούσα μελέτη είναι σίγουρα η πρώτη μελέτη που συνδυάζει την μέθοδο αυτή με τα δεδομένα Sentinel για την περιοχή του Εθνικού Πάρκου Κορώνειας και Βόλβης και ίσως η πρώτη στην Ελλάδα.

#### 2.4 Μελέτες τηλεπισκόπησης στην περιοχή του Εθνικού Πάρκου Κορώνειας και Βόλβης

Η Σύμβαση Ραμσάρ έφερε στο προσκήνιο περιβαλλοντικές ανησυχίες σχετικά με την υποβάθμιση των υγροτόπων. Οι γεωργικές δραστηριότητες, η αστικοποίηση και

βιομηχανοποίηση αναγνωρίζονται ως οι βασικές αιτίες της αυξανόμενης απειλής των υγροτόπων. Η ευαισθησία αυτών οικοσυστημάτων προκάλεσε στην διεθνή κοινότητα την ανάγκη να δημιουργηθεί μια συντονισμένη δράση για την παρακολούθηση και την διαχείρισή τους, και κατ' επέκταση οδήγησε σε μια πληθώρα μελετών προς αυτήν την κατεύθυνση. Τα υδάτινα οικοσυστήματα (λίμνες, ποτάμια, κ.α) απειλούνται κυρίως από την απόρριψη βιομηχανικών και γεωργικών αποβλήτων. Αυτό καθιστά το νερό των λιμνών και των ποταμών λιγότερο κατάλληλο για χρήσεις όπως η αναψυχή, ο τουρισμός και η αλιεία, αλλά και για την φιλοξενία πολλών ειδών χλωρίδας και πανίδας.

Το Εθνικό Πάρκο των λιμνών Κορώνειας – Βόλβης και η ευρύτερη περιοχή της υδρολογικής λεκάνης της Μυγδονίας αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών, λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη σημασία που έχει η λίμνη για τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας στο χώρο αυτό καθώς επίσης και το γεγονός ότι η όλη περιοχή έχει ενταχθεί στη σύμβαση RAMSAR (Tzimopoulos and Pliatsika, 2005). Επί σειρά ετών έχει πραγματοποιηθεί ένα πλήθος μελετών στην ευρύτερη περιοχή, με αντικείμενα όπως η στρωματογραφική εξέλιξη της λεκάνης της Μυγδονίας (Psilonikos, 1977), η τεκτονική γεωλογία και τα ρήγματα (Mercier *et al.*, 1979), οι υδρογεωλογικές συνθήκες και το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης (Tzimopoulos and Pliatsika, 2005; Tzimopoulos *et al.*, 2005). Μέχρι στιγμής δεν έχει εντοπιστεί στην βιβλιογραφία κάποια μελέτη που να απασχολείται με την ταξινόμηση των ΧΓ/ΚΓ της εν λόγω περιοχής και την οριοθέτηση του υγροτόπου, αξιοποιώντας δορυφορικά δεδομένα, ειδικά των αποστολών Sentinel.

Η έρευνα έχει δείξει ότι συχνά οι υγρότοποι είναι δύσκολο να διαχωριστούν και συγχέονται άλλες περιοχές που έχουν παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά (Ozesmi and Bauer, 2002; Baker *et al.*, 2007; Wright and Gallant, 2007). Συνήθως για την ταξινόμηση των υγροτόπων χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως η Ανάλυση στις Κύριες Συνιστώσες (Principal Component Analysis – PCA), ο μετασχηματισμός Tasseled Cap (TC), ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) και ο κανονικοποιημένος δείκτης νερού (NDWI) (Ouma and Tateishi, 2006; El-Asmar and Hereher, 2011; Dong *et al.*, 2014). Ωστόσο, οι περισσότερες μελέτες βασίζονται σε δεδομένα μίας ημερομηνίας, παραμελώντας την εποχική φαινολογία που μπορεί να έχει ένα υδάτινο οικοσύστημα εξαιτίας του κύκλου της βλάστησης και των υδατικών αλλαγών (Siachalou *et al.*, 2014). Οι Perivolioti *et al.* (2016) χρησιμοποίησαν εικόνες Landsat 30 ετών (1984-2016) για να εκτιμήσουν την ποιότητα του νερού στις λίμνες Κορώνεια και Βόλβη. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έγινε με δεδομένα in-situ. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν η θερμοκρασία του νερού, το pH, η διαφάνεια, η χλωροφύλλη a, η αγωγιμότητα, το βάθος και η κατανομή της επιπλέουσας βλάστησης. Η έρευνά τους έδειξε ότι τα δορυφορικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόκτηση των βασικών ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού με πολύ υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση.

## 2.5 Σύνοψη κεφαλαίου

Από την βιβλιογραφική έρευνα προκύπτει ότι η χαρτογράφηση υγροτόπων είναι μία δύσκολη διαδικασία εξαιτίας όλων των ιδιαιτεροτήτων που αναφέρθηκαν παραπάνω

(φασματικά χαρακτηριστικά, εποχικότητα, πολυπλοκότητα, κλπ). Τα δεδομένα αισθητήρων SAR έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικά για την χαρτογράφηση υγροτόπων, ειδικά όταν συνδυάζονται με οπτικά δεδομένα (Whyte, 2016). Ο αλγόριθμος SVMs θεωρείται από τους πιο προηγμένους αλγορίθμους εκμάθησης που είναι διαθέσιμοι μέχρι σήμερα και φαίνεται να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός σε μελέτες ΧΓ/ΚΓ. Τέλος, από την βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει πως λίγες μελέτες έχουν γίνει μέχρι σήμερα στο Εθνικό Πάρκο Κορώνειας – Βόλβης αξιοποιώντας δορυφορικά δεδομένα και καμία από αυτές δεν έχει γίνει με δεδομένα Sentinel. Οι περισσότερες μελέτες που έχουν δημοσιευθεί για την περιοχή βασίζονται σε δεδομένα πεδίου (in situ) και έχουν επικεντρωθεί στην παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων και των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών. Η παρούσα μελέτη μπορεί να είναι η πρώτη που προσφέρει μία οικονομική και υψηλής ακρίβειας τεχνική για την παρακολούθηση των χρήσεων γης, λόγω των ελεύθερων δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Μέχρι στιγμής δεν έχουν εντοπιστεί παρόμοιες μελέτες που έχουν διεξαχθεί στην συγκεκριμένη περιοχή, χρησιμοποιώντας συνδυαστική προσέγγιση οπτικών δεδομένων και δεδομένων ραντάρ. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι μελέτη αυτή αποτελεί την πρώτη μελέτη η οποία επιχειρεί να συνδυάσει τα νέα δεδομένα των δορυφόρων Sentinel 1 και 2 μαζί με τον προηγμένο αλγόριθμο SVMs για την ταξινόμηση LULC στην περιοχή του Εθνικού Πάρκου λιμνών Κορώνειας – Βόλβης.

### 3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα παρακάτω στοιχεία έχουν συλλεχθεί από τον Φορέα Διαχείρισης των Λιμνών Κορώνειας και Βόλβης (<http://www.foreaskv.gr>) και το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων Υγροτόπων (<http://www.ekby.gr>).



#### 3.1 Γενικά

Το Εθνικό Πάρκο Κορώνειας και Βόλβης βρίσκεται εντός της υδρολογικής λεκάνης της Μυγδονίας, στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και πιο συγκεκριμένα στο Ν. Θεσσαλονίκης. Σύμφωνα με προηγούμενη μελέτη (Chatziantoniou *et al.*, 2017) η έκταση της υδρολογικής λεκάνης ισούται με 2066 km<sup>2</sup>, ενώ σύμφωνα με τον Φορέα Διαχείρισης Κορώνειας – Βόλβης η έκτασή της είναι ίση με 2120 km<sup>2</sup> και σύμφωνα με το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων είναι ίση με 2026 km<sup>2</sup>. Η λίμνη Βόλβη είναι η δεύτερη σε μεγαλύτερη φυσική λίμνη της Ελλάδας μετά την Τριχωνίδα. Σύμφωνα με τον Φορέα Διαχείρισης των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης, έχει έκταση 68.000 στρέμματα και το βάθος της φτάνει τα 20 μέτρα. Η λίμνη Κορώνεια βρίσκεται στα δυτικά της Βόλβης και σε μεγαλύτερο υψόμετρο από αυτήν και είναι αρκετά πιο μικρή. Η έκτασή της, κατά την δεκαετία του '70, υπολογίζονταν σε 46.000 στρέμματα ενώ από το 2000 είναι αισθητά μικρότερη. Η στάθμη της λίμνης Κορώνειας πέφτει συνεχώς, εξαιτίας της σπατάλης και της μη ορθολογικής διαχείρισης των υδάτων. Εκτός από την ταπείνωση της στάθμης, στην Κορώνεια παρουσιάζονται και υψηλά επίπεδα ρύπων εξαιτίας της βιομηχανικής ανάπτυξης της περιοχής (Tzimopoulos and Pliatsika, 2005; Tzimopoulos, *et al.*, 2005; Perivolioti *et al.*, 2016).



Figure 3.1: Ο Νομός Θεσσαλονίκης φαίνεται με πράσινο χρώμα. Με κίτρινο χρώμα εμφανίζεται η λεκάνη απορροής των λιμνών της Κορώνειας και της Βόλβης, δηλαδή η περιοχή μελέτης. **Πηγή:** (Chatziantoniou *et al.*, 2017)



Figure 3.2: Η λίμνη Κορώνεια όπως φαίνεται από το βουνό του Χορτιάτη. Στη φωτογραφία φαίνεται η ταπείνωση της στάθμης της λίμνης. Πηγή: Προσωπικό αρχείο (2015)

Ο υγροβιότοπος περιλαμβάνει, εκτός από τις δύο λίμνες, αρκετά δάση μεγάλης οικολογικής σημασίας, όπως το παραλίμνιο δάσος της Απολλωνίας και το παραποτάμιο δάσος της νέας Ρεντίνας (Μακεδονικά Τέμπη). Το παραλίμνιο δάσος της Απολλωνίας αποτελεί μια μοναδική περιοχή στην Ελλάδα καθώς είναι από τα ελάχιστα εναπομείναντα δάση αυτού του τύπου και χαρακτηρίζεται ως «το βασίλειο των γκρίζων Ερωδιών». Τα φυτικά είδη που το συγκροτούν είναι δύσκολο να βρεθούν σήμερα συνενωμένα σε δάσος. Στο παρελθόν, το δάσος εκτείνονταν σε έκταση 3.000 στρεμμάτων, όμως σήμερα λόγω της ανεξέλεγκτης υλοτομίας έχουν παραμείνει μόλις 150 στρέμματα. Στα στενά της Ρεντίνας ρέει ο ποταμός Ρήχιος, ο οποίος αποτελεί και τον φυσικό εκχυλιστή της Βόλβης στον Στρυμονικό κόλπο. Στο παραποτάμιο δάσος της Ρεντίνας φιλοξενούνται πολλά σπάνια είδη αρπακτικών, θηλαστικών, ερπετών, αμφίβιων καθώς και προστατευόμενα είδη φυτών. Έχει χαρακτηριστεί ως «Ειδικά Προστατευόμενη Μεσογειακή Περιοχή» και ως «Περιοχή Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους». Ανάμεσα στις λίμνες συναντάμε τους δύο υπεραιώνόβιους πλάτανους του Σχολαρίου, οι οποίοι αποτελούν καταφύγιο τουλάχιστον 100 ζευγών ερωδιών και άλλων πτηνών και έχουν χαρακτηριστεί ως «Μνημείο της Φύσης». Αυτό, καθιστά την συγκεκριμένη περιοχή ιδιαίτερα σημαντική όχι μόνο για την Ελλάδα αλλά και για ολόκληρη την Ευρώπη.



Figure 3.3: Το δάσος της Απολλωνίας. Πηγή: Προσωπικό αρχείο (2015)





Figure 3.4: Το ρέμα του Μελισσουργού εκβάλλει στη νότια όχθη της Βόλθης. Πηγή: Προσωπικό αρχείο (2015)

Εκτός από την χλωρίδα, τα οικοσυστήματα στις λίμνες και γύρω από αυτές βρίσκουν καταφύγιο 19 είδη αμφίβιων και ερπετών, 34 είδη θηλαστικών εκ των οποίων τα 3 αποτελούν είδη κοινωτικού ενδιαφέροντος και 248 είδη πτηνών (αριθμός που αναλογεί στο 58% του συνολικού αριθμού της Ελλάδος), εκ των οποίων τα 62 υπόκεινται σε αυστηρό καθεστώς προστασίας. Τέλος, εντός των λιμνών, ζουν και αναπαράγονται 24 είδη ψαριών, εκ των οποίων τα 2 είναι ενδημικά και το 1 είναι ιδιαίτερα σπάνιο.

Κατά κύριο λόγο, η περιοχή είναι αγροτική με αρκετά μεγάλες εκτάσεις φυσικής βλάστησης. Σημαντικό μέρος της περιοχής καταλαμβάνεται από βοσκότοπους. Η αστική δόμηση είναι αραιή και διακεκομμένη, με μικρούς οικισμούς.

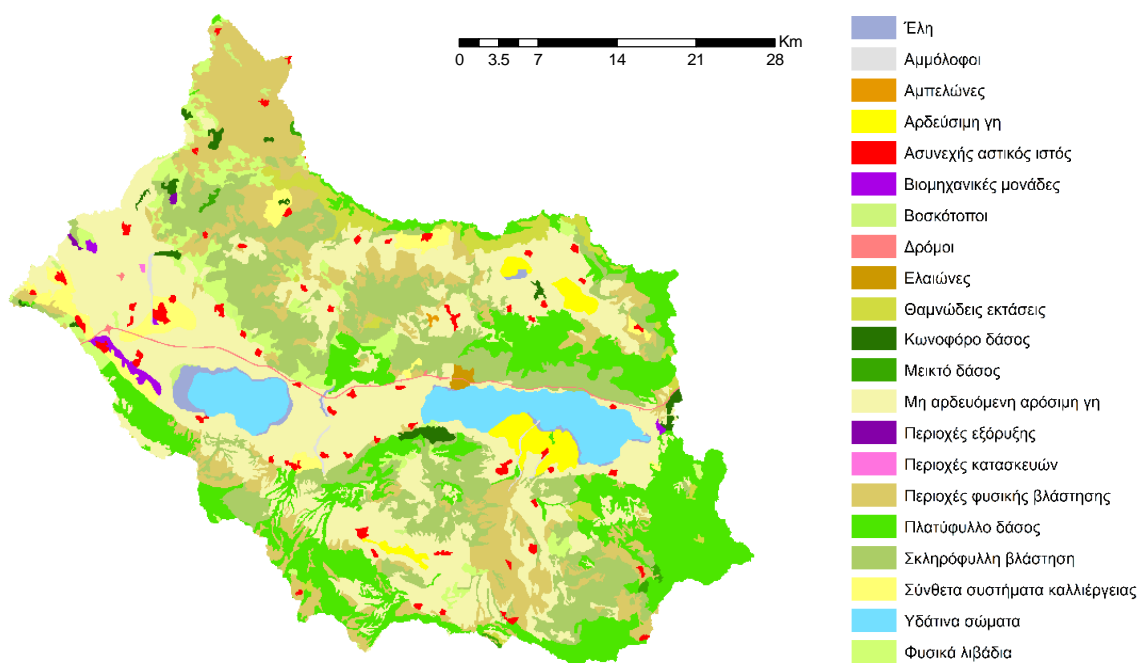


Figure 3.5: Η χρήσεις γης της περιοχής μελέτης σύμφωνα με το CORINE 2012

### 3.2 Ζώνες Προστασίας

Σε ό,τι αφορά την εθνική νομοθεσία, οι προστατευόμενες περιοχές στις οποίες εντάσσεται η περιοχή ή τμήμα αυτής, είναι οι ακόλουθες:

*Εθνικά Πάρκα (Ν. 1650/86)* : Το Εθνικό Πάρκο των Υγροτόπων Κορώνειας – Βόλβης και Μακεδονικών Τεμπών προστατεύεται από την εθνική νομοθεσία σύμφωνα με την απόφαση 6919, ΦΕΚ 248/Δ/05.03.2004

*Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης (Ν. 996/71)* : Οι δύο πλάτανοι του Σχολαρίου προστατεύονται από την εθνική νομοθεσία σύμφωνα με τον Δασικό Κώδικα, ΦΕΚ 281/Β/1975

*Περιοχές Προστασίας της Φύσης (Ν. 1650/86)* : Η Ζώνη Α2 (Μακεδονικά Τέμπη) του Εθνικού Πάρκου των Υγροτόπων Κορώνειας – Βόλβης και Μακεδονικών Τεμπών προστατεύεται από την εθνική νομοθεσία σύμφωνα με την απόφαση 6919, ΦΕΚ 248/Δ/05.03.2004

*Περιοχές Απόλυτης Προστασίας της Φύσης (Ν. 1650/86)* : Η Ζώνη Α1 (Δάσος Απολλωνίας) του Εθνικού Πάρκου των Υγροτόπων Κορώνειας – Βόλβης και Μακεδονικών Τεμπών προστατεύεται από την εθνική νομοθεσία σύμφωνα με την απόφαση 6919, ΦΕΚ 248/Δ/05.03.2004

Σε ό,τι αφορά τις διεθνείς συμβάσεις, οι προστατευόμενες περιοχές στις οποίες εντάσσεται η περιοχή ή τμήμα αυτής, είναι οι ακόλουθες:

*Υγρότοποι Διεθνούς Σημασίας σύμφωνα με τη Σύμβαση Ραμσάρ (ΝΔ 191/74)* : Οι λίμνες Κορώνεια – Βόλβη προστατεύονται από την διεθνή σύμβαση σύμφωνα με τον ΝΔ 191/74, ΦΕΚ 305/4/1974 και τον Ν. 1950/91, ΦΕΚ 84/4/1991

Ακόμα, ο υγρότοπος των λιμνών εντάσσεται στο *Ευρωπαϊκό Δίκτυο NATURA 2000*, σύμφωνα με την οδηγία 92/43/ΕΟΚ για «τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων και της άγριας πανίδας και χλωρίδας». Σύμφωνα με την παραπάνω οδηγία, καθορίστηκαν δύο κατηγορίες: οι Ζώνες Κοινοτικής Σημασίας (Site of Community Importance (SCI) και οι Ειδικές Ζώνες Διατήρησης (Special Areas of Conservation (SAC). Στην παρακάτω εικόνα, φαίνονται οι δύο ζώνες για την περιοχή μελέτης.



Figure 3.6: Οι περιοχές του δικτύου NATURA 2000 της περιοχής μελέτης. Πηγή: (Chatziantoniou et al., 2017)

#### 4.1 Εργαλεία

Στην παρούσα μελέτη, για την αποτελεσματική επεξεργασία και διαχείριση των δορυφορικών εικόνων, χρησιμοποιήθηκαν ελεύθερα αλλά και εμπορικά λογισμικά ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Συγκεκριμένα, η βασική προεπεξεργασία των εικόνων και οι διορθώσεις εφαρμόστηκαν στο περιβάλλον του SNAP v5.0 (Sentinel Application Platform) και με τη βοήθεια του πρόσθετου λογισμικού Sen2cor της ESA (European Space Agency)<sup>1</sup>. Οι μετασχηματισμοί των εικόνων (PCA, MNF), η εξαγωγή των παράγωγων εικόνων (φασματικοί δείκτες, ανάλυση χαρακτηριστικών υψής, κλπ.), η επιλογή των δειγμάτων (training & validation) καθώς και οι ταξινομήσεις με τον αλγόριθμο SVMs εφαρμόστηκαν στο περιβάλλον του εμπορικού λογισμικού ENVI v5.1. Η σύνταξη των κανόνων και η παραγωγή του τελικού χάρτη πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον του λογισμικού ERDAS Imagine 2016.

Τέλος, για την επεξεργασία του υψομετρικού μοντέλου εδάφους, για την παραγωγή των τελικών χαρτών και την διόρθωση των προβολικών συστημάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό της Esri, ArcGIS 10.1.

#### 4.2 Περιγραφή δεδομένων

Οι εικόνες Sentinel 1 και Sentinel 2 που χρησιμοποιήθηκαν αποκτήθηκαν μέσω της πλατφόρμας του Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>). Η επιλογή τους βασίστηκε στα εξής κριτήρια: (1) για τις εικόνες Sentinel 2 να μην υπάρχει συννεφοκάλυψη που να περιορίζει την αναγνώριση των χαρακτηριστικών του εδάφους, (2) η καταγραφή της εικόνας Sentinel 1 έπρεπε να συμπίπτει χρονικά με την εικόνα Sentinel 2, πράγμα που για το έτος 2016 ικανοποιούνταν μόνο στις 02|08 και (3) η δεύτερη εικόνα Sentinel 2 επιλέχθηκε με απόσταση περίπου 6 μήνες από την πρώτη (28|01|2016) ώστε να καλυφθεί τόσο η καλοκαιρινή όσο και η χειμερινή περίοδος.

Η εικόνα του Sentinel 1 (C-band 5.405 GHz) (Table 4.1) που χρησιμοποιήθηκε βρίσκεται σε επίπεδο επεξεργασίας Level 1 και είναι της μορφής Single Look Complex (SLC). Πρόκειται για Interferometric Wide Swath Mode (IW) με διπλή πόλωση VV+VH. Η λωρίδα σάρωσης (swath) είναι 250 km και έχει ανάλυση 5x20 m. Η ημερομηνία καταγραφής είναι 02|08|2016.

Οι δύο οπτικές εικόνες του Sentinel 2 (**Error! Reference source not found.**) προέρχονται από τον αισθητήρα Multi-Spectral Imager (MSI). Ο αισθητήρας καταγράφει σε 13 φασματικά κανάλια από 443nm έως 2190nm. Η χωρική ανάλυση είναι στα 10 m (μπλέ, πράσινο, κόκκινο, εγγύς υπέρυθρο – B,G,R, NIR), 20 m (ακμές του κόκκινου, εγγύς και μέσο υπέρυθρο – Red Edges 5,6,7, NIR2, SWIR1, SWIR2) και 60 m (κανάλια ατμοσφαιρικής διόρθωσης – B1, B9, B10). Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν

<sup>1</sup> <http://step.esa.int/main/download/>, <http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>

διερευνητικά όλα τα κανάλια σε διάφορους συνδυασμούς, εκτός από αυτά που προορίζονται για την ατμοσφαιρική διόρθωση.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model – DEM) (**Error! Reference source not found.**) της αποστολής Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ακρίβειας 1 arc-sec. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του DEM η οριζόντια ακρίβεια είναι περίπου 20m και η ακρίβεια υψομέτρου περίπου 16m (Smith and Sandwell, 1467). Παρόλα αυτά η ακρίβεια υψομέτρου μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλότερα επίπεδα σύμφωνα με την έρευνα του Elkrachy (2017). Το DEM αποκτήθηκε αυτόματα από το λογισμικό SNAP κατά τη διαδικασία της τοπογραφικής διόρθωσης της εικόνας.

Table 4.1: Συνοπτική περιγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν

Αισθητήρας	Τύπος	Ημερομηνία Καταγραφής	Κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν	Χωρική Ανάλυση
<b>Sentinel 1</b>	C-band Radar	02 08 2016	VV+VH	5x20 m
<b>Sentinel 2</b>	Optical	02 08 2016 & 28 01 2016	B,G,R,RE5,RE6,RE7, NIR1, NIR2, SWIR1, SWIR2	10 m -20 m
<b>SRTM</b>	C-band Radar	2014	DEM	30 m

### 4.3 Προ-επεξεργασία / Παράγωγα δεδομένα

#### 4.3.1 Sentinel 1

Για την προεπεξεργασία της εικόνας του Sentinel 1 χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα SNAP, η οποία προσφέρει ένα μεγάλο εύρος εργαλείων κατάλληλων για την επεξεργασία εικόνων radar. Σαν πρώτο βήμα, κρίθηκε αναγκαίο να μειωθεί το μέγεθος της ζώνης σάρωσης (swath), στην έκταση της περιοχής μελέτης, ώστε να μειωθεί ο χρόνος επεξεργασίας. Κάθε sub-swath αποτελείται από ένα σύνολο δεσμών (bursts), οι οποίες στη συνέχεια συνενώθηκαν (de-burst). Μετά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, εφαρμόστηκε στην εικόνα το “precise orbit file”, δηλαδή το αρχείο που περιλαμβάνει ακριβή στοιχεία σχετικά με την τροχιά και προσφέρει την μέγιστη γεωμετρική ακρίβεια για να βαθμονομηθεί η εικόνα (calibration).

Στη συνέχεια, η διαδικασία χωρίζεται σε δύο κλάδους. Στον πρώτο κλάδο χρησιμοποιούμε τις τιμές οπισθοσκέδασης (backscatter) ενώ στον δεύτερο κλάδο χρησιμοποιούμε το σύνθετο αρχείου εξόδου (complex output). Η οπισθοσκέδαση μίας επιφάνειας εκφράζει το πηλίκο της ενέργειας που επιστρέφει στην πηγή του ραντάρ προς την ενέργεια που προσπίπτει αρχικά στην επιφάνεια (Equation 4.1).

$$\sigma^0 = \frac{|DN_i|^2}{A_i^2}$$

Equation 4.1

Το επόμενο σημαντικό βήμα και στους δύο κλάδους είναι η εφαρμογή ενός φίλτρου αποθορυβοποίησης (speckle filter) ώστε να απομακρυνθούν οι ακραίες τιμές που μπορεί να οφείλονται στην κηλίδωση (Whyte, 2016). Ο όρος κηλίδωση (speckle) αναφέρεται σε

χαρακτηριστικά θορύβου που οφείλονται στα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος και δεν αντιστοιχούν σε πραγματική μεταβολή της ραδιομετρίας μεταξύ γειτονικών ψηφίδων. Γι' αυτό και αναφέρεται ως «θόρυβος του συστήματος» και όχι της απεικόνισης (Torouzelis, 2007). Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το φίλτρο “Refined Lee Filter” με παράθυρο 7x7, καθώς τα μέγεθός αυτό έχει φανεί κατάλληλο για μελέτες ταξινόμησης που χρησιμοποιούν δεδομένα παρόμοιας χωρικής ανάλυσης (Zhang, Zhang and Lin, 2014; Whyte, 2016). Το φίλτρο Refined Lee (Lee, 1981) αξιοποιεί την κατανομή των τιμών των ψηφίδων του χρησιμοποιούμενου παραθύρου για να εκτιμήσει την ψηφίδα ενδιαφέροντος, μέσω του συντελεστή διακύμανσης.

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκαν πλήρως οι δυνατότητες των δεδομένων διπλής πόλωσης (dual-polarization) του Sentinel 1, για να εκτιμηθεί καλύτερα η απόδοσή τους στην ταξινόμηση των χρήσεων γης / κάλυψης γης. Για τον λόγο αυτό, εφαρμόστηκε η διπλή διάσπαση H-Alpha (H- $\alpha$  Dual Decomposition) (Cloude and Pottier, 1997) για την εξαγωγή των συνιστωσών *entropy* και *alpha*. Αυτό γίνεται με την δημιουργία ενός πίνακα συνάφειας 2x2 (coherency matrix) αξιοποιώντας το complex output του δεύτερου κλάδου που περιγράφηκε παραπάνω. Η εξίσωση που περιγράφει τον πίνακα είναι η παρακάτω (Equation 4.2):

$$T_{dual} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{12} & T_{22} \end{pmatrix} = U \begin{bmatrix} \lambda_1 & \\ & \lambda_2 \end{bmatrix} U^H = \lambda_1 u_1 u_1^H + \lambda_2 u_2 u_2^H \quad \text{Equation 4.2}$$

Από τα παραπάνω, υπολογίστηκαν οι συνιστώσες *entropy* και *alpha* χρησιμοποιώντας τα ιδιοδιανύσματα του πίνακα ( $\lambda_i$ ) σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις (Equation 4.3, Equation 4.4):

$$H = \sum_{i=1}^2 -P_i \log_2 P_i \quad \text{και} \quad a = \sum_{i=1}^2 P_i \cos^{-1}(|u_{1i}|) \quad \text{Equation 4.3}$$

$$P_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{j=1}^2 \lambda_j} \quad \text{Equation 4.4}$$

Στα παράγωγα των δύο κλάδων (VV  $\sigma^0$ , VH  $\sigma^0$ , *entropy*, *alpha*) εφαρμόστηκε γεωμετρική διόρθωση χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο του SNAP “Range Doppler Terrain Correction” και με την χρήση του SRTM (1 Arc-Sec) DEM. Η γεωμετρική διόρθωση αποσκοπεί στην βελτίωση της αναπαράστασης της εικόνας στην γήινη επιφάνεια. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί κατά τη διάρκεια της καταγραφής οι τοπογραφικές συνθήκες και η γεωμετρική παραμόρφωση μπορεί να διαταράξουν την εικόνα (Wang *et al.*, 2013). Για την διόρθωση χρησιμοποιήθηκε η διγραμμική μέθοδος παρεμβολής (bilinear interpolation resampling method).

Όταν ολοκληρώθηκαν όλα τα βήματα της προεπεξεργασίας, οι παράγωγες εικόνες εξήχθησαν ως αρχείο \*.hdr, στο προβολικό σύστημα UTM Zone 34 του γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς WGS84 σε ανάλυση 10m για να ταιριάζουν με τις οπτικές εικόνες

του Sentinel 2. Στο παρακάτω σχήμα (Figure 4.1) φαίνεται σε διάγραμμα η ροή των εργασιών.

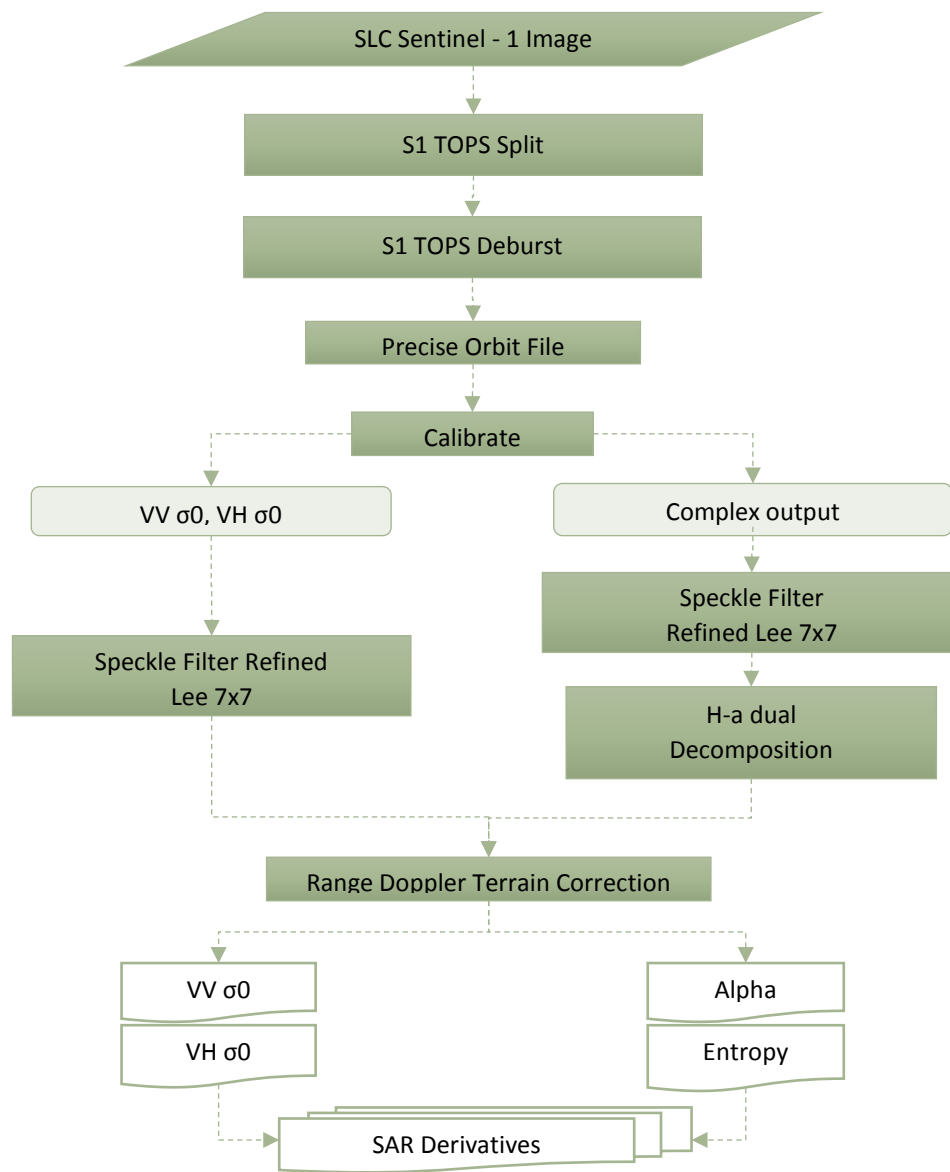


Figure 4.1: Διάγραμμα ροής της προεπεξεργασίας των δεδομένων SAR και της εξαγωγής των παράγωγων προϊόντων (H-α,  $\sigma_0$ ). Η διαδικασία ολοκληρώθηκε στο SNAP.

#### 4.3.2 Sentinel 2

Η ατμοσφαιρική και τοπογραφική διόρθωση των πολυφασματικών εικόνων προηγήθηκαν όλων των υπόλοιπων διαδικασιών. Οι διορθώσεις πραγματοποιήθηκαν στο SNAP με το βοηθητικό plugin sen2cor το οποίο μετατρέπει τις τιμές της εικόνας από “Top of Atmosphere” (TOA) σε “Bottom of Atmosphere” (BOA) ή αλλιώς “Surface Reflectance” (δηλαδή σε τιμές ανάκλασης εδάφους). Επιπρόσθετα, με την χρήση του SRTM DEM, πραγματοποιήθηκε και η διόρθωση των παραμορφώσεων εξαιτίας του ανάγλυφου (τοπογραφική διόρθωση).

Ο αλγόριθμός του sen2cor αποτελεί έναν συνδυασμό διαφόρων τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την ατμοσφαιρική διόρθωση και βασίζεται στην εφαρμογή κατωφλιών (thresholds) σε φασματικούς δείκτες και αναλογίες καναλιών (π.χ. NDVI, NDSI) που συσχετίζονται με ένα επίπεδο εμπιστοσύνης (level of confidence). Χρησιμοποιεί τις ανακλαστικές ιδιότητες των χαρακτηριστικών της σκηνής για να διαπιστώσει την παρουσία ή την απουσία νεφών. Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται στα δεδομένα προκειμένου να ανακτηθούν οι ακριβείς ατμοσφαιρικές και επιφανειακές παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου στην περαιτέρω επεξεργασία. Η διόρθωση πραγματοποιείται με την χρήση ενός συνόλου πινάκων αναζήτησης (look-up tables) που δημιουργούνται μέσω του libRadtran και σχετίζονται με τον τύπο των αερολυμάτων, την γεωγραφική θέση, τις κλιματικές συνθήκες, κ.α.. Στο αποτέλεσμα της διαδικασίας, εκτός από τα φασματικά κανάλια 2-8a, 11 και 12 που βρίσκονται στα 10m κατόπιν επαναδειγματοληψίας, περιλαμβάνονται επίσης ένας χάρτης οπτικού πάχους αερολυμάτων (Aerosol Optical Thickness map), ένας χάρτης υδρατμών (Water Vapor map), μία ταξινομημένη εικόνα (Scene Classification map), ένας δείκτης ποιότητας για την πιθανότητα ύπαρξης σύννεφων και ένας για την πιθανότητα ύπαρξης χιονιού (Quality Indicators) στα 60m.

Όπως προαναφέρθηκε, στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν όλα τα φασματικά κανάλια των πολυφασματικών εικόνων. Για τον λόγο αυτό, κρίθηκε απαραίτητο να γίνει επαναδειγματοληψία (resampling) στα κανάλια με ανάλυση 20m στα 10m, με τη μέθοδο της διγραμμικής παρεμβολής (bilinear interpolation). Επίσης, επιλέχθηκε ένα πολύγωνο που να περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης ώστε να μειωθεί το μέγεθος των εικόνων και να ο υπολογιστικός όγκος. Όλα τα παραπάνω εκτελέστηκαν στο SNAP. Τα κανάλια τόσο της χειμερινής όσο και της καλοκαιρινής εικόνας ενώθηκαν σε ένα ενιαίο dataset, με χωρική ανάλυση 10m και αναφερόμενα στο προβολικό σύστημα αναφοράς του WGS84, UTM Zone 34.

Το παραπάνω dataset χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή φασματικών δεικτών (spectral indices) και για την εφαρμογή μετασχηματισμών εικόνας (image transformations). Οι διαδικασίες αυτές εκτελέστηκαν στο ENVI 5.1.

Στο πρώτο σκέλος, εφαρμόστηκαν δύο φασματικοί δείκτες, ένας για την βλάστηση και ένας για το νερό. Πρόκειται για τον δείκτη NDVI (Normalized Difference Vegetation Index (Rouse *et al.*, 1973)) και NDWI2 (Normalized Difference Water Index 2 (McFeeters, 1996)). Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιήθηκαν για την καλύτερη αναγνώριση και ταξινόμηση των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ που αφορούν τη βλάστηση και το νερό αντίστοιχα. Οι δείκτες εφαρμόστηκαν στο SNAP.

Ο δείκτης NDVI χρησιμοποιεί τα φασματικά κανάλια B4 (κόκκινο - R) και B8 (εγγύς υπέρυθρο - NIR) (Equation 4.5). Οι τιμές του κυμαίνονται από -1 μέχρι 1, με τις υψηλότερες τιμές να δηλώνουν έντονη παρουσία βλάστησης και τις τιμές κάτω από 0 να δηλώνουν απουσία βλάστησης, νερό και μη διαπερατές επιφάνειες.

$$NDVI = \frac{NIR_{B8} - R_{B4}}{NIR_{B8} + R_{B4}}$$

Equation 4.5

Ο δείκτης NDWI2 αναπτύχθηκε από τον McFeeters (1996) και χρησιμοποιεί τα φασματικά κανάλια B3 (πράσινο – G) και B8 (εγγύς υπέρυθρο – NIR) (Equation 4.6). Ο δείκτης αυτός τείνει να είναι πολύ ευαίσθητος στις μη διαπερατές επιφάνειες και αυτό μπορεί να οδηγήσει στην υπερεκτίμηση των υδάτινων εκτάσεων (Du *et al.*, 2016). Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκε μία μάσκα νερού. Η επιλογή του κατάλληλου threshold για την μάσκα, που να ανταποκρίνεται στις συνθήκες της περιοχής είναι πολύ σημαντική (Ji, Zhang and Wylie, 2009). Το threshold που επιλέχθηκε ήταν η τιμή 0.015 η οποία, ύστερα από οπτική παρατήρηση της εικόνας, έκανε τον καλύτερο διαχωρισμό των περιοχών που καλύπτονται από νερό από αυτές που δεν καλύπτονται (Ji, Zhang and Wylie, 2009). Η μάσκα δημιουργήθηκε στο ArcMap 10.1 τόσο για την καλοκαιρινή, όσο και για την χειμερινή εικόνα.

$$NDWI2 = \frac{G_{B3} - NIR_{B8}}{G_{B3} + NIR_{B8}}$$

Equation 4.6

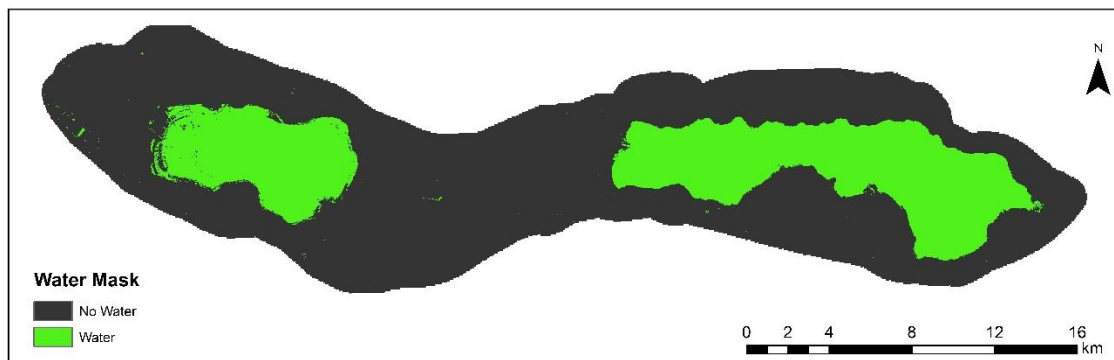


Figure 4.2: Η μάσκα νερού όπως δημιουργήθηκε στο το ArcMap 10.1 για την καλοκαιρινή εικόνα

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκαν στις δύο εικόνες δύο μετασχηματισμοί: η Ανάλυση στις Κύριες Συνιστώσες (Principal Component Analysis – PCA) (Howley *et al.*, 2006) και η Ελαχιστοποίηση του Κλάσματος Θορύβου (Minimum Noise Fraction – MNF) (Boardman, J. W. & Kruse 1994). Η μέθοδος PCA είναι μία στατιστική μέθοδος μετασχηματισμού των ιδιοτήτων ενός συνόλου δεδομένων (dataset) σε ένα νέο σύνολο ασυσχέτιστων ιδιοτήτων που καλούνται κύριες συνιστώσες (PCs). Χρησιμοποιείται για να μειωθούν οι διαστάσεις ενός dataset, διατηρώντας όμως το μεγαλύτερο ποσοστό της αρχικής πληροφορίας (Howley *et al.*, 2006). Ο βαθμός συσχέτισης των διαύλων υπολογίστηκε μέσω του πίνακα συσχέτισης  $R = [\sigma_{ij} / \sigma_i \sigma_j]$ . Η μέθοδος MNF χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η εγγενής διάσταση των δεδομένων μιας εικόνας, να διαχωριστεί ο θόρυβος από τα δεδομένα και να μειωθούν οι υπολογιστικές απαιτήσεις (Boardman, J. W. & Kruse 1994). Στις νέες συνιστώσες έχει απομακρυνθεί ο θόρυβος και έχει αποσυσχετιστεί η πληροφορία. Για την διεξαγωγή της μελέτης επιλέχθηκαν οι συνιστώσες C1-C3 της PCA και C1-C5 της MNF επειδή περιέχουν πάνω από το 95% της



συνολικής πληροφορίας (Table 4.2). Οι νέες συνιστώσες προστέθηκαν κι αυτές στο τελικό dataset μαζί με τους δείκτες και τα φασματικά κανάλια των δύο εικόνων.

Table 4.2: Τα ποσοστά πληροφορίας που περιέχουν οι νέες συνιστώσες. Οι τρεις πρώτες συνιστώσες της PCA περιέχουν 98.95% της συνολικής πληροφορίας και οι πέντε πρώτες της MNF περιέχουν 95.59%

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
<b>PCA</b>	73.50%	22.75%	2.70%	0.38%	0.25%	0.18%	0.11%	0.08%	0.04%	0.02%
<b>MNF</b>	58.39%	15.99%	9.94%	7.20%	4.08%	1.64%	1.28%	0.71%	0.40%	0.38%

Οι τηλεπισκοπικές εικόνες αποτελούνται από δύο χαρακτηριστικά: τον τόνο (φασματική διακύμανση) και την υφή (χωρική διακύμανση) (Haralick, 1979; Baraldi and Parmiggiani, 1995). Ενώ η φασματική πληροφορία είναι σχετικά εύκολο να ποσοτικοποιηθεί, δεν συμβαίνει το ίδιο με την υφή, καθώς συνεπάγεται με μετρήσεις της διακύμανσης μοτίβου (pattern), σχήματος (shape) και μεγέθους (size) (Coburn and Roberts, 2004). Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μετρήσεις υφής χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις μετρήσεις πρώτης τάξης (occurrence) και δεύτερης τάξης (co-occurrence) (Haralick, Shanmugam and Dinstein, 1973). Οι μετρήσεις πρώτης τάξης είναι στατιστικά μεγέθη που υπολογίζονται από τις φασματικές τιμές των ψηφίδων σε μία καθορισμένη περιοχή που υλοποιείται με ένα κινούμενο παράθυρο (moving window). Οι συνηθέστερες μετρήσεις είναι το ελάχιστο, το μέγιστο, το εύρος, η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, η ασυμμετρία και η κύρτωση (minimum, maximum, range, mean, standard deviation, skewness, kurtosis). Τα μέτρα πρώτης τάξης, αν και είναι απλά με υπολογιστικούς όρους και γρήγορα, έχουν περιορισμένη απόδοση επειδή ποσοτικοποιούν την διακύμανση της φασματικής πληροφορίας χωρίς να λαμβάνουν υπόψιν την χωρική διάταξη μέσα στο κινούμενο παράθυρο (Culbert *et al.*, 2009).

Οι μετρήσεις δεύτερης τάξης λαμβάνουν υπόψιν την χωρική κατανομή των φασματικών τιμών (Coburn and Roberts, 2004). Οι μετρήσεις προέρχονται από τον Πίνακα Συνύπαρξης Επιπέδων του Γκρι (Grey Level Co-occurrence matrix – GLCM) (Haralick, Shanmugam and Dinstein, 1973). Ο GLCM είναι ένας συμμετρικός πίνακας ( $n*n$ ) όπου  $n$  είναι ο αριθμός των πιθανών τιμών γκριζών τόνων. Οι τιμές του πίνακα αναπαριστούν την σχετική συχνότητα των ψηφίδων με τονικά επίπεδα και την συνύπαρξη σε μία απόσταση και κατεύθυνση που ορίζει ο χρήστης (Haralick, Shanmugam and Dinstein, 1973). Οι συνήθειες κατευθύνσεις είναι  $0^\circ$  (οριζόντια),  $45^\circ$  (δεξιά διαγώνιος),  $90^\circ$  (κατακόρυφη) και  $135^\circ$  (αριστερή διαγώνιος), και η παράμετρος της απόστασης συνήθως ορίζεται 1 για να γίνει σύγκριση μεταξύ των γειτονικών ψηφίδων (Culbert *et al.*, 2009). Όπως και με τα μέτρα πρώτης τάξης, ο GLCM υπολογίζεται για μία περιοχή συνήθως μέσω ενός κινούμενου παραθύρου. Τα μέτρα δεύτερης τάξης που χρησιμοποιούνται συχνότερα στην ανάλυση τηλεπισκοπικών εικόνων είναι η μέση τιμή (Mean), η γωνιακή ροπή (Angular Second Moment – ASM), η αντίθεση (Contrast – CON), η συσχέτιση (Correlation – COR), η ομοιογένεια (Homogeneity – HOM), η ανομοιομορφία (Dissimilarity – DIS) η διακύμανση (Variance – VAR) και η εντροπία (Entropy – ENT) (Baraldi and Parmiggiani, 1995; Kayitakire, Hamel and Defourny, 2006).

Για εφαρμογές ταξινόμησης ΧΓ/ΚΓ έχει βρεθεί ότι ένα κινούμενο παράθυρο 7x7 είναι κατάλληλο για εικόνες ανάλυσης από 2.5m x 2.5m έως 10m x 10m (Puissant, Hirsch and Weber, 2005). Τα μέτρα ομοιογένεια, ανομοιομορφία, εντροπία και γωνιακή ροπή έχουν αναγνωριστεί ως αποτελεσματικοί δείκτες για την αναγνώριση διαφορετικών τύπων κάλυψης γης, κυρίως για αστικά τοπία (Puissant, Hirsch and Weber, 2005). Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν, εκτός από τα παραπάνω, οι μετρήσεις της μέσης τιμής και της αντίθεσης. Μετά από δοκιμές και για την μείωση του όγκου των δεδομένων, επιλέχθηκαν ως καταλληλότερα κανάλια για την εφαρμογή των μέτρων υφής οι δείκτες NDVI και οι συνιστώσες C3 της μεθόδου PCA και C5 της μεθόδου MNF. Επιλέχθηκαν τα συγκεκριμένα κανάλια καθώς σχετίζονται με τη βλάστηση (για τον καλύτερο διαχωρισμό της) και με τις μη διαπερατές επιφάνειες (που έχουν αποδειχτεί απαιτητικές στην ταξινόμηση εξαιτίας της σύγχυσης τους με ξερό χώμα ή αμμώδεις εκτάσεις (Zhang *et al.*, 2014). Η διαδικασία ολοκληρώθηκε στο ENVI 5.1.

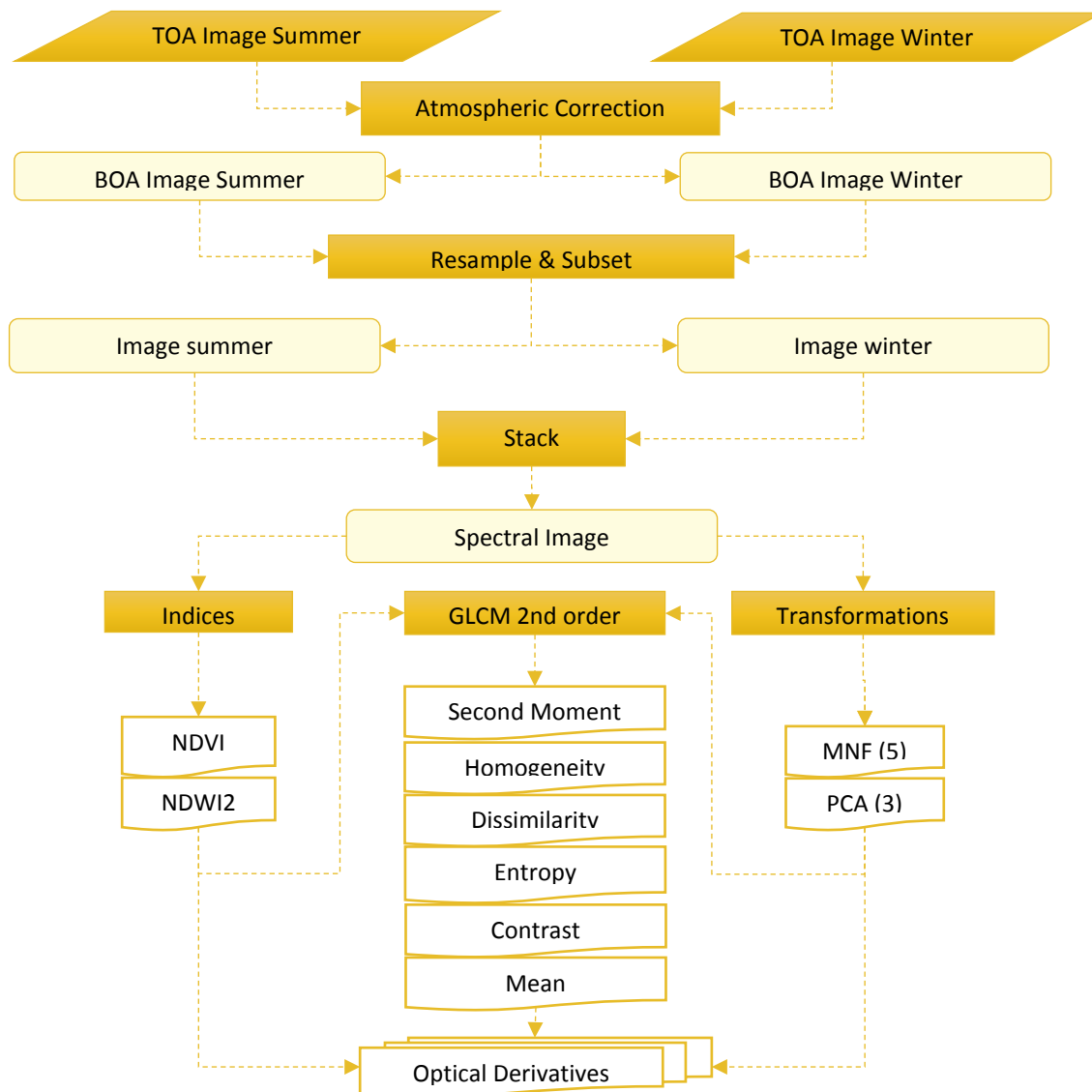


Figure 4.3: Διάγραμμα ροής της προεπεξεργασίας των δεδομένων Sentinel 2 και της εξαγωγής των παράγωγων προϊόντων. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο SNAP και στο ENVI.

#### 4.3.3 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (SRTM)

Η συνεισφορά του αναγλύφου στην οριοθέτηση υγροτόπων έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε αρκετές πρόσφατες μελέτες (Chasmer *et al.*, 2016; Maxwell *et al.*, 2016; Serran and Creed, 2016; Whyte, 2016). Για τον λόγο αυτό, στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) SRTM που περιγράφηκε παραπάνω. Η επεξεργασία του έγινε στο ArcMap 10.1. Οι παράγωγες εικόνες που εξήχθησαν είναι η κλίση (slope), ο προσανατολισμός των κλίσεων (aspect) και το υψόμετρο (elevation).

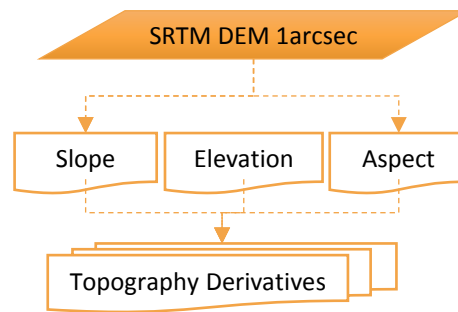


Figure 4.4: Διάγραμμα ροής της προεπεξεργασίας των δεδομένων αναγλύφου SRTM DEM και της εξαγωγής των παράγωγων προϊόντων. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε στο ArcMap.

#### 4.3.4 Σύνθεση εικόνων

Η σύνθεση των εικόνων αποτελεί ένα βασικό βήμα, καθώς υποβοηθά το στάδιο της ταξινόμησης με την μείωση του όγκου των δεδομένων, την διευκόλυνση της οπτικής αναπαράστασης της πληροφορίας και του ελέγχου της σωστής γεωαναφοράς των εικόνων (Arenas and Pradenas, 2016). Η σύνθεση των εικόνων πραγματοποιήθηκε στο ENVI 5.1 χρησιμοποιώντας το εργαλείο “layer stacking”. Το τελικό dataset που χρησιμοποιήθηκε για τα σενάρια της ταξινόμησης αποτελούνταν από τα κανάλια της καλοκαιρινής εικόνας Sentinel 2 (10), τα κανάλια των μετασχηματισμών MNF (5) και PCA (3), τους δείκτες NDVI (2), τις μάσκες νερού NDWI (2), τα κανάλια του Sentinel 1 (4) και τα παράγωγα του DEM (3). Συνολικά το νέο dataset αποτελούνταν από 29 κανάλια. Στη συνέχεια η εικόνα κόπηκε χρησιμοποιώντας ως μάσκα την ζώνη προστασίας NATURA2000, διευρυμένη κατά 1χλμ (buffer).

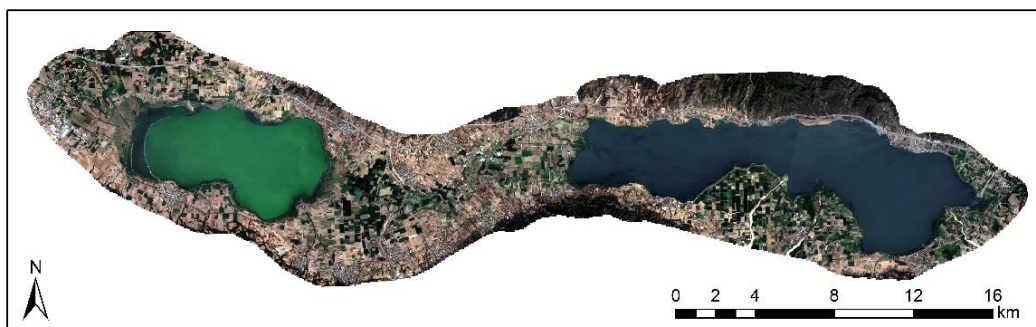


Figure 4.5: Η περιοχή μελέτης όπως απεικονίζεται από την RGB σύνθεση της εικόνας Sentinel 2

#### 4.3.5 Επιλογή κατηγοριών ταξινόμησης

Η επιλογή των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ για την ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, όπου αξιολογήθηκε ο αλγόριθμος SVMs επιλέχθηκαν κατηγορίες των χρήσεων γης / κάλυψης γης που εκφράζουν τα χαρακτηριστικά της εικόνας, δηλαδή της δεδομένης χρονικής στιγμής (02|08|2016). Επιλέχθηκε η εικόνα του καλοκαιριού καθώς την περίοδο εκείνη υπήρχε μεγαλύτερη ποικιλία στα χαρακτηριστικά της περιοχής. Στο δεύτερο στάδιο, επιχειρήθηκε η κατηγοριοποίηση των χαρακτηριστικών της περιοχής, δηλαδή χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν φαινολογικό κύκλο, όπως η βλάστηση και το νερό. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο πολυφασματικές εικόνες, τόσο η καλοκαιρινή όσο και η χειμερινή. Οι κατηγορίες των χρήσεων γης / κάλυψης γης επιλέχθηκαν με βάση τη γνώση της περιοχής και με τη βοήθεια του CORINE 2012. Στο πρώτο στάδιο, επιλέχθηκαν κατηγορίες αντιπροσωπευτικές για την συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Table 4.3: Οι επιλεγμένες κατηγορίες χρήσεων γης/κάλυψης γης για το πρώτο στάδιο της ταξινόμησης

No	Κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ	Περιγραφή κατηγορίας χρήσεων γης / κάλυψης γης
1	Αγροτική έκταση/Crops	Υγιής βλάστηση και υψηλής παραγωγικότητας καλλιεργήσιμη γη
2	Υδάτινη επιφάνεια/Water	Υδάτινες επιφάνειες
3	Αστική έκταση/Urban	Μη διαπερατές επιφάνειες (αστικός ιστός, δρόμοι, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, κλπ.)
4	Δασική έκταση/Forest	Δασικές εκτάσεις με δέντρα από ύψος μέτριο έως μεγάλο
5	Θαμνώδης έκταση/Shrub	Θαμνώδεις εκτάσεις, αραιά δέντρα και ψηλό γρασιδί
6	Αμμώδης έκταση/Sand	Αμμώδεις εκτάσεις (κοίτη ποταμιού, εκτεθειμένη λίμνη, κλπ.)
7	Γυμνό έδαφος/Soil	Γυμνό έδαφος με ελάχιστη ή καθόλου βλάστηση
8	Έλη/Marshes	Υδρόβια φυτά που βρίσκονται μέσα στη λίμνη (επιπλέοντα ή βυθισμένα)
9	Υδρόβια δάση/Swamps	Υδρόβια δάση ή θάμνοι (το έδαφος καλύπτεται από νερό τις περιόδους πλημμύρας)

Στο δεύτερο στάδιο της ταξινόμησης, έγιναν μικρές τροποποιήσεις για να επιλεγούν οι κατηγορίες που αντιπροσωπεύουν καλύτερα και πιο ολοκληρωμένα την περιοχή.

Table 4.4: Οι κατηγορίες χρήσεων γης/κάλυψης γης όπως τροποποιήθηκαν για να περιγράφουν καλύτερα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της περιοχής μελέτης

<b>No</b>	<b>Κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ</b>	<b>3.1.2</b>	<b>Χειμερινές Καλλιέργειες</b>
<b>1</b>	<b>Υδάτινη Έκταση</b>	<b>3.1.3</b>	<b>Μόνιμες Καλλιέργειες</b>
<b>2</b>	<b>Χωρίς Βλάστηση</b>	<b>3.2</b>	<b>Φυσική Βλάστηση</b>
<b>2.1</b>	<b>Τεχνητές Επιφάνειες</b>	<b>3.2.1</b>	<b>Επίγεια Βλάστηση</b>
<b>2.2</b>	<b>Γυμνό Έδαφος</b>	<b>3.2.1.1</b>	<b>Δασική Έκταση</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Άγονη Γη</b>	<b>3.2.1.2</b>	<b>Θαμνώδης Έκταση</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Χώμα</b>	<b>3.2.1.3</b>	<b>Λιβάδια</b>
<b>3</b>	<b>Βλάστηση</b>	<b>3.2.2</b>	<b>Υδρόβια Βλάστηση</b>
<b>3.1</b>	<b>Αγροτική Γή</b>	<b>3.2.2.1</b>	<b>Έλος/Βάλτος</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Καλοκαιρινές Καλλιέργειες</b>	<b>3.2.2.2</b>	<b>Υδρόβιο Δάσος</b>

#### 4.3.6 Επιλογή δειγμάτων εκπαίδευσης

Η επιλογή επαρκούς αριθμού δειγμάτων εκπαίδευσης (training samples) και δειγμάτων ελέγχου (validation samples), καθώς και η αντιπροσωπευτικότητά τους, είναι πολύ κρίσιμη για την σωστή ταξινόμηση (D. Lu and Weng, 2007). Τα δείγματα συνήθως συλλέγονται από δεδομένα πεδίου, αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης. Δυστυχώς στην περιοχή δεν υπήρχαν δεδομένα πεδίου ώστε να πραγματοποιηθεί δειγματοληψία για εκπαίδευση και έλεγχο. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν εικόνες από το Google Earth της πιο πρόσφατης ημερομηνίας (03/2017), καθώς και επίσκεψη στην περιοχή και λήψη βοηθητικών φωτογραφιών. Οι εικόνες Google Earth αποδείχτηκαν πολύ αποτελεσματικές για την αναγνώριση των χαρακτηριστικών του εδάφους ώστε να ληφθούν αντιπροσωπευτικά δείγματα εκπαίδευσης και ελέγχου. Τελικά, επιλέχθηκαν συνολικά 13888 δείγματα (pixels) (αριθμός που αντιστοιχεί περίπου στο 0.2% των συνολικών pixel της εικόνας) για την εκπαίδευση του αλγορίθμου και το 20% αυτών (2777 δείγματα) για τον έλεγχο.

Table 4.5: Επιλογή δειγμάτων εκπαίδευσης και ελέγχου

No	Κατηγορίες χρήσεων γης/κάλυψης γης	Δείγματα εκπαίδευσης	Δείγματα ελέγχου (20%)
1	Καλλιέργειες/Crops	1457	291
2	Υδάτινη έκταση/Water	2856	571
3	Αστική έκταση/Urban	1862	372
4	Δασική έκταση/Forest	2741	548
5	Θαμνώδης έκταση/Shrub	853	171
6	Αμμώδης έκταση/Sand	1188	238
7	Γυμνό έδαφος/Soil	1493	299
8	Έλη/Marshes	857	171
9	Υδροβία δάση/Swamps	581	116

#### 4.4 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση με SVMs

##### 4.4.1 Παραμετροποίηση SVM

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία της ταξινόμησης, κρίθηκε απαραίτητο να βελτιστοποιηθούν οι παράμετροι του αλγορίθμου SVMs. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση πυρήνα (kernel) RBF που, όπως συζητήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, θεωρείται η πιο υποσχόμενη σε σχέση με την γραμμική και την πολυωνυμική συνάρτηση (Kavzoglu and Colkesen, 2009). Η RBF έχει δύο παραμέτρους, την παράμετρο C και την παράμετρο  $\gamma$ . Η βελτιστοποίηση έγινε χρησιμοποιώντας τα αρχικά κανάλια του Sentinel 2. Η τιμή της παραμέτρου  $\gamma$  διατηρήθηκε ως προκαθορισμένη, 1/αριθμός των χαρακτηριστικών που μελετώνται. Στην προκειμένη περίπτωση, τα χαρακτηριστικά ήταν τα 10 φασματικά κανάλια του Sentinel 2, συνεπώς η παράμετρος  $\gamma$  πήρε την τιμή 0.1. Η βελτιστοποίηση της παραμέτρου C βρέθηκε μετά από αρκετές διαδοχικές ταξινομήσεις και εκτιμήσεις της συνολικής τους ακρίβειας. Δοκιμάζοντας τιμές από 1 έως 4000, η βέλτιστη τιμή για την παράμετρο C βρέθηκε να είναι 2000. Ξεκινώντας από την τιμή 1, η

συνολική ακρίβεια αυξήθηκε απότομα μέχρι την τιμή 500 και στη συνέχεια σταθεροποιήθηκε μετά την τιμή 2000 όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Figure 4.6).

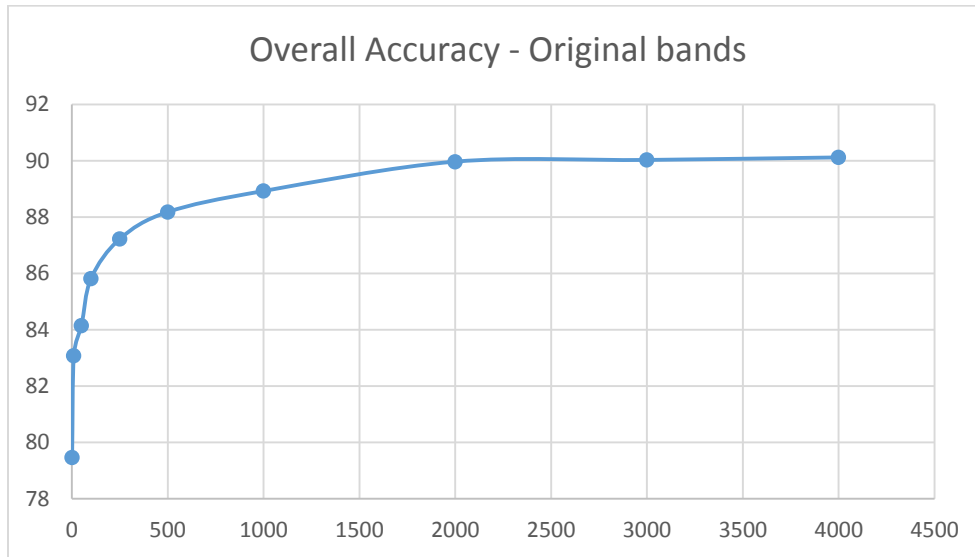


Figure 4.6: Η βελτιστοποίηση της παραμέτρου C

Για την εφαρμογή των σεναρίων ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε η τιμή 2000 για την παράμετρο C.

#### 4.4.2 Ταξινόμηση με SVMs

Για την ταξινόμηση επιλέχθηκαν να εξεταστούν διαφορετικά σενάρια, ώστε να εκτιμηθεί η προστιθέμενη αξία των διαφορετικών παραγώγων που δημιουργήθηκαν στα προηγούμενα βήματα. Σε όλα τα σενάρια συμμετέχουν οι δείκτες NDVI και NDWI καθώς και το υψόμετρο (elevation), καθώς όπως προαναφέρθηκε η συνεισφορά τους έχει κριθεί επιτυχημένη σε πρόσφατες μελέτες (Chasmer *et al.*, 2016; Maxwell, Warner and Strager, 2016; Serran and Creed, 2016; Whyte, 2016). Αρχικά (v2.0) χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα αρχικά κανάλια του S2 χωρίς καμία επεξεργασία πλην των διορθώσεων που προηγήθηκαν. Στο πρώτο σενάριο (v2.1) εξετάστηκε η απόδοση των μετασχηματισμένων εικόνων χωρίς τα αρχικά κανάλια. Στο δεύτερο σενάριο (v2.2) εξετάστηκε η συνεισφορά των μετασχηματισμένων καναλιών στην συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης, χρησιμοποιώντας τα υποβοηθητικά, μαζί με τα αρχικά. Στο τρίτο σενάριο (v2.3) εξετάστηκε η συνεισφορά των παραγώγων των δεδομένων του S1. Στο τέταρτο σενάριο (v2.4) εξετάστηκε η συνεισφορά των χαρακτηριστικών της υφής που προέκυψαν από την εφαρμογή του πίνακα GLCM σε προηγούμενο βήμα. Τέλος, στο πέμπτο σενάριο (v2.5) εξετάστηκε μία εποχιακή προσέγγιση, χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά από την χειμερινή εικόνα. Η διαδικασία επαναλήφθηκε μέχρι να εξεταστούν όλες οι συνιστώσες και σε κάθε περίπτωση τα κανάλια που φάνηκε να συνεισφέρουν στην αύξηση της ακρίβειας χρησιμοποιήθηκαν και στα επόμενα σενάρια. Στο τέλος κάθε ταξινόμησης υπολογίστηκε ο αντίστοιχος πίνακας σφάλματος από όπου υπολογίστηκαν και εκτιμήθηκαν οι συνολικές και οι επιμέρους ακρίβειες.

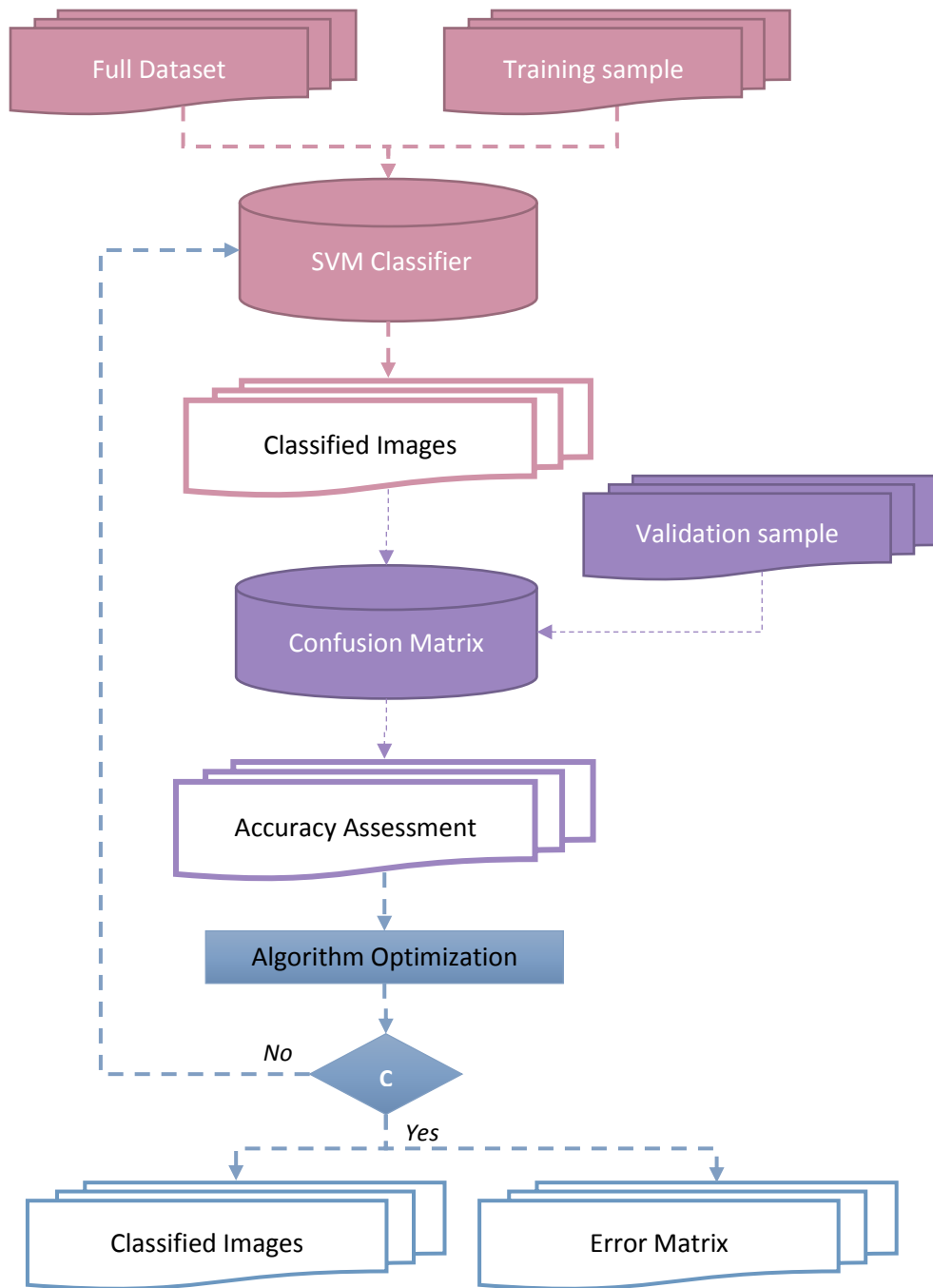


Figure 4.7: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας παραμετροποίησης και στη συνέχεια της εξαγωγής των ταξινομημένων εικόνων και των πινάκων σφάλματος. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε στο ENVI

Table 4.6: Αναλυτική παρουσίαση των σεναρίων ταξινόμησης και των συνιστωσών που διερευνώνται σε κάθε σενάριο. Η χρωματική κωδικοποίηση δηλώνει τα διαφορετικά σενάρια που δοκιμάστηκαν.

	S-2 BANDS											INDICES				DEM		TRANSFORMATIONS							SAR				GLCM						No		
	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A	B11	B12	B8 w	NDVI	NDWI	NDVIw	NDWIw	ASPECT	ELEV	PC1	PC2	PC3	C1	C2	C3	C4	C5	VV	VH	α	H	HOM	ENT	DIS	ASM	CON		MEAN	
2.0	2.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x																				13
	2.1.1											x	x					x	x	x																	6
2.1	2.1.2											x	x								x	x	x	x	x												8
	2.1.3											x	x					x	x	x	x	x	x	x	x												11
	2.2.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x												21
2.2	2.2.2	x	x	x								x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x												15
	2.2.3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x				x				x												16
	2.2.4	x	x	x								x	x				x				x	x			x												10
	2.3.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									23
2.3	2.3.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x		x										22
	2.3.3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x			x									22
	2.3.4	x	x	x								x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x			x									16
	2.4.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x			30
	2.4.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x			27
	2.4.3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x				x		25
2.4	2.4.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x						x		25
	2.4.5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x								24
	2.4.6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x			26
	2.4.7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x		x	28
	2.4.8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x			27
	2.5.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x		x	29
2.5	2.5.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x		x	29
	2.5.3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x		x	30
	2.5.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x		x	30



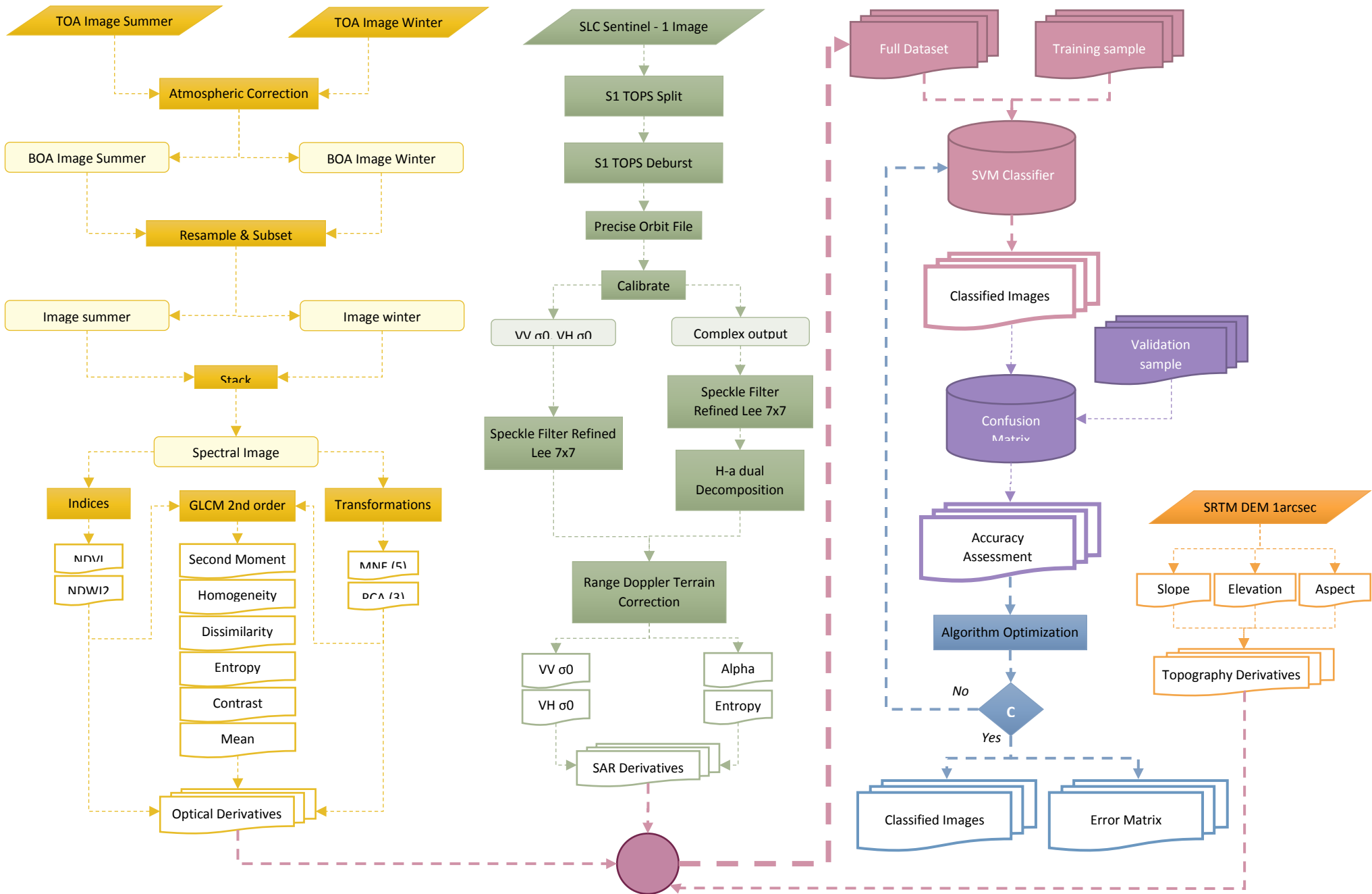


Figure 4.8: Διάγραμμα ροής όλων των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν μέχρι αυτό το σημείο

#### 4.5 Ταξινόμηση με χρήση κανόνων

Η ταξινόμηση βάση κανόνων (rule-based classification) είναι η διαδικασία κατά την οποία χρησιμοποιείται μία κατατετημημένη εικόνα (segmented image) για την ομαδοποίηση παρόμοιων ψηφίδων σε κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ. Κάθε κατηγορία ΧΓ/ΚΓ περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους κανόνες, οι οποίοι κτίζονται με βάση την γνώση του χρήστη για συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Κάθε κανόνας μπορεί να περιέχει ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα εμβαδόν, σχήμα, μήκος, υφή, για τα οποία δημιουργείται ένα επιτρεπτό εύρος τιμών που ορίζεται από τον χρήστη. Παρόλο που οι μέθοδοι που βασίζονται στην ανά-ψηφίδα ταξινόμηση (pixel-based) έχουν αποδειχθεί επιτυχημένες όταν χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση υγροτόπων, πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι η αντικειμενοστραφής προσέγγιση (object-based) μπορεί να προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα στην ταξινόμηση (Petroopoulos *et al.*, 2012; Whyte, 2016).

Η διαδικασία περιλαμβάνει την *κατάτμηση της εικόνας* σε τμήματα (segments) και στη συνέχεια την *κατασκευή κανόνων* για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών που ενδιαφέρουν στην κάθε περίπτωση. Για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών, χρησιμοποιήθηκε η αντικειμενοστραφής προσέγγιση. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο ENVI 5.1 χρησιμοποιώντας το εργαλείο “Rule-Based Feature Extraction”.

##### 4.5.1 Κατάτμηση εικόνας και εξαγωγή γεωμετρικών χαρακτηριστικών

Η κατάτμηση της εικόνας είναι η διαδικασία «τεμαχισμού» της σε αντικείμενα, ομαδοποιώντας γειτονικές ψηφίδες με παρόμοια χαρακτηριστικά. Πρόκειται για ένα σημαντικό στάδιο, καθώς η αποτελεσματική κατάτμηση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τα αποτελέσματα της ταξινόμησης (Whyte, 2016). Η διαδικασία της κατάτμησης βασίζεται στην πατέντα του Jin (2012) και περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια: (a) υπολογισμός ενός χάρτη «διαβαθμίσεων» (gradient map) από την εικόνα (intensity map), (b) υπολογισμός αθροιστικής συνάρτησης από τον χάρτη, (c) τροποποίηση του χάρτη με την χρήση μίας επιλεγμένης τιμής της παραμέτρου κλίμακας (scale) και (d) κατάτμηση του τροποποιημένου χάρτη χρησιμοποιώντας τη μέθοδο μετασχηματισμού της λεκάνης απορροής. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ιδέα των υδρολογικών λεκανών απορροής: οι λεκάνες γεμίζουν με νερό ξεκινώντας από τα χαμηλότερα υψομετρικά σημεία και δημιουργούνται φράγματα στα σημεία που το νερό εισρέει από διαφορετικές λεκάνες απορροής. Όταν η στάθμη του νερού φτάσει στο ψηλότερο υψομετρικό σημείο (κορυφή) η διαδικασία σταματάει. Με τον τρόπο αυτό, το τοπίο χωρίζεται σε περιοχές που διαφοροποιούνται από φράγματα, οι οποίες ονομάζονται «λεκάνες απορροής» (Roerdink and Meijster, 2001). Μία παρόμοια διαδικασία συμβαίνει στις ψηφιακές εικόνες. Όσο πιο σκούρο είναι ένα pixel, τόσο χαμηλότερο θεωρείται το «υψόμετρό» του. Ο αλγόριθμος της λεκάνης απορροής ταξινομεί τα pixel αυξάνοντας τα επίπεδα του γκρι αρχίζοντας με τα ελάχιστα και «πλημμυρίζει» την εικόνα χωρίζοντάς την σε λεκάνες, δηλαδή περιοχές με παρόμοιες τιμές έντασης). Το αποτέλεσμα είναι μία εικόνα

«τμηματοποιημένη» σε περιοχές στις οποίες αποδίδονται οι μέσες φασματικές τιμές όλων των pixels που ανήκουν στην συγκεκριμένη περιοχή.

Για την εξαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, χρησιμοποιείται η στατιστική κατανομή των ψηφίδων μέσα σε ένα αντικείμενο, λαμβάνοντας υπόψιν το πλάτος, το μήκος, το εμβαδό, την πυκνότητα, το σχήμα των ορίων του και άλλα (Shao *et al.*, 2014). Η εξαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών προσθέτει ένα ακόμα βοηθητικό στοιχείο στην ταξινόμηση. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μπορούν να βελτιώσουν την ακρίβεια της ταξινόμησης, ειδικά όταν πρόκειται για βλάστηση. Οι αγροτικές περιοχές είναι συνήθως ορθογώνιες, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες εκτάσεις με βλάστηση που είναι πιο σύνθετες. Συνεπώς, παρόλο που πρόκειται και στις δύο περιπτώσεις για βλάστηση, μπορούν να διαχωριστούν ευκολότερα αν χρησιμοποιηθούν τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά (Whyte, 2016). Στην παρούσα μελέτη, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν για τον καλύτερο διαχωρισμό της αγροτικής από τη φυσική βλάστηση ήταν η ορθογωνιότητα (rectangle fit), το εμβαδόν (area) και η συνεκτικότητα ή πυκνότητα (compactness) (Doxani, 2011).

Για την κατάτμηση της εικόνας χρησιμοποιήθηκαν τα κανάλια B,G,R,NIR και ο δείκτης NDVI των δύο εποχών. Επιλέχθηκαν αυτά τα κανάλια επειδή έχουν χωρική ανάλυση 10m και δεν χρειάστηκε επαναδειγματοληψία, πράγμα που σημαίνει ότι τα χαρακτηριστικά των ακμών στα συγκεκριμένα κανάλια έχουν διατηρηθεί. Δεδομένου ότι αλγόριθμος που περιγράφηκε παραπάνω ομαδοποιεί τα pixels με βάση μία μόνο τιμή, οι πολυφασματικές εικόνες πρέπει να μετατραπούν σε εικόνα ενός καναλιού. Η τιμή κάθε pixel μετατρέπεται σε βαθμωτό μέγεθος χρησιμοποιώντας το μέσο όρο των μέγιστων τιμών του pixel στο σύνολο των καναλιών που έχουν επιλεγεί για την κατάτμηση, σύμφωνα με τη μέθοδο "Edge". Η μέθοδος "Edge" χρησιμοποιείται για να διαχωριστούν αντικείμενα που έχουν έντονη διαφοροποίηση από τα γειτονικά ενώ στο εσωτερικό τους παρουσιάζουν σχετική ομοιομορφία. Ξεκινώντας τη διαδικασία, πρέπει να οριστεί η κατάλληλη παράμετρος κλίμακας (scale) για την δημιουργία των αντικειμένων, διασφαλίζοντας ότι δεν είναι ούτε πολύ μεγάλα, καθώς αυτό μπορεί να προκαλέσει σύγχυση στον διαχωρισμό των τύπων κάλυψης γης (Liu and Xia, 2010), ούτε όμως και πολύ μικρά, καθώς αυτό μπορεί να περιορίσει τις σχηματικές ιδιότητες των χαρακτηριστικών (Robson *et al.*, 2015). Η δεύτερη παράμετρος που πρέπει να ρυθμιστεί είναι η συγχώνευση (merge), που χρησιμοποιείται για την συνένωση των μικρότερων τμημάτων. Ένας γενικός κανόνας, που προτείνεται από τον οδηγό του προγράμματος, είναι όσο μειώνεται η παράμετρος της κλίμακας (ώστε να δημιουργηθούν αρκετά segments) να αυξάνεται η παράμετρος της συγχώνευσης (ώστε να συνενώνονται τα επιμέρους segments). Για την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων δοκιμάστηκαν αρκετοί συνδυασμοί μεταξύ των δύο παραμέτρων (scale, merge). Τελικά επιλέχθηκε η παράμετρος κλίμακας στο 40% και η παράμετρος συγχώνευσης στο 80% καθώς δεν ήταν επιθυμητή η υπερβολική κατάτμηση της εικόνας σε πολύ μικρά αντικείμενα που δεν

είναι αντιπροσωπευτικά της αγροτικής γης, ούτε η υπερβολική συγχώνευση τμημάτων που μπορεί να διαφοροποιούνται φασματικά (π.χ. διαφορετικές καλλιέργειες).

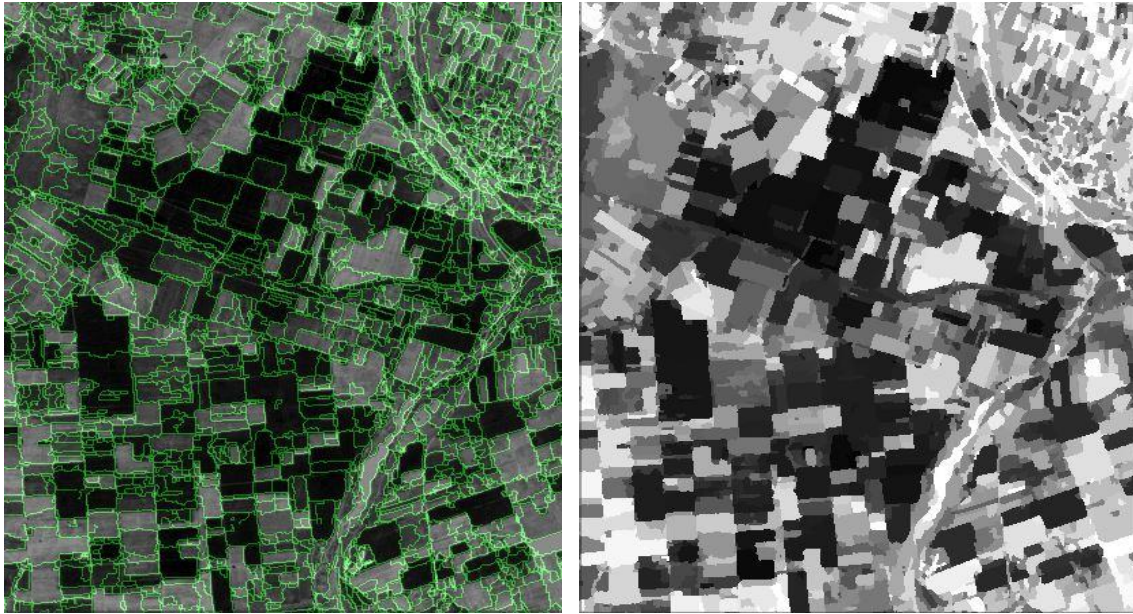


Figure 4.9: Το αποτέλεσμα της κατάτμησης σε ένα χαρακτηριστικό τμήμα της εικόνας

#### 4.5.2 Δημιουργία κανόνων

Το ζητούμενο στο συγκεκριμένο στάδιο ήταν να διαχωριστεί η αγροτική βλάστηση, δηλαδή οι περιοχές με καλλιέργειες, από τη φυσική. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο υπερφασματικές εικόνες, ώστε να μπορέσουν να αναγνωριστούν οι καλλιέργειες στη διάρκεια όλου του έτους. Οι καλλιέργειες χωρίστηκαν σε καλοκαιρινές, χειμερινές και μόνιμες ανάλογα με τις τιμές των δεικτών NDVI των δύο εποχών. Οι καλλιέργειες που είχαν υψηλές τιμές NDVI το καλοκαίρι και χαμηλές το χειμώνα θεωρήθηκαν καλοκαιρινές και, αντίστροφα αυτές που είχαν υψηλές τιμές το χειμώνα και χαμηλές το καλοκαίρι χαρακτηρίστηκαν χειμερινές. Εκείνες που παρουσίαζαν υψηλές τιμές και στις δύο εικόνες χαρακτηρίστηκαν ως μόνιμες. Μετά από αλληπάλληλες δοκιμές, οι κανόνες που κατασκευάστηκαν και εφαρμόστηκαν για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών της αγροτικής γης παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Table 4.7: Οι κανόνες που εφαρμόστηκαν για τον διαχωρισμό των καλλιεργήσιμων εκτάσεων

	Χαρακτηριστικό	Ελάχιστο	Μέγιστο
<b>Φασματικός Μέσος</b>	NDVI	0.3	0.9
	Slope	1.5	5.0
<b>Σχήμα</b>	Rectangle Fit	0.45	1.00
	Area	8000	800000
	Compactness	0.050	0.035

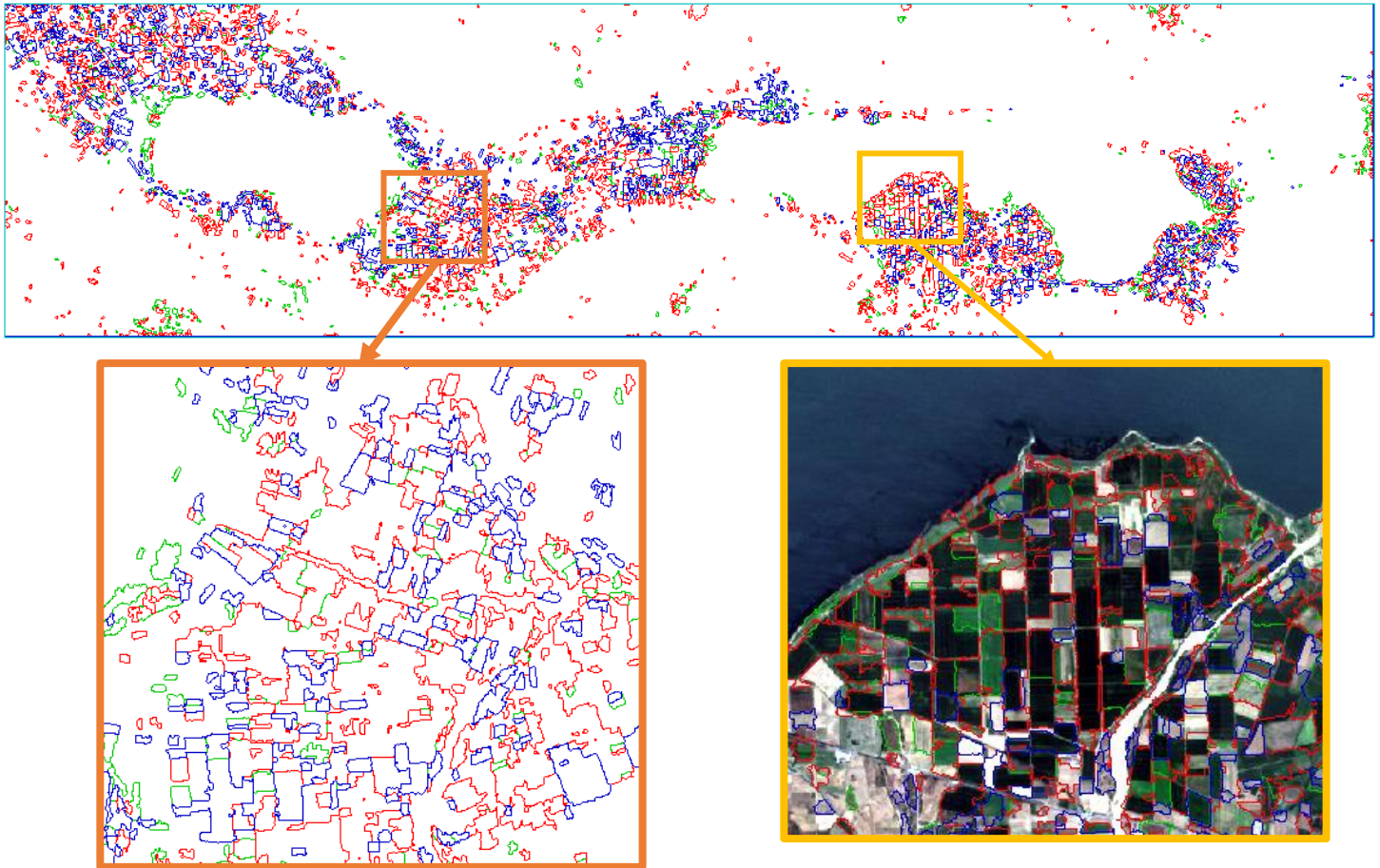


Figure 4.10: Το αποτέλεσμα της εξαγωγής των καλλιεργειών ως διανυσματικό αρχείο (*shapefile*). Με κόκκινο περίγραμμα φαίνονται οι καλοκαιρινές καλλιεργειες, με μπλε οι χειμερινές και με πράσινο οι μόνιμες.

Η πληροφορία για τις καλλιέργειες χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια στο τελικό dataset για την δημιουργία του τελικού χάρτη χρήσεων γης/κάλυψης γης.

#### 4.5.3 Δημιουργία τελικού χάρτη

Ο τελικός χάρτης χρήσεων γης/κάλυψης γης δημιουργήθηκε στο ERDAS Imagine 2014 με το εργαλείο “Knowledge Engineer”. Η διαδικασία περιλαμβάνει τον ορισμό των υποθέσεων (*hypotheses*) που αφορούν τις επιθυμητές κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ, τον ορισμό των μεταβλητών (*variables*) που αφορούν τα διαθέσιμα δεδομένα και τον ορισμό των κανόνων (*rules*) για την δημιουργία του βέλτιστου αποτελέσματος. Ως *hypotheses* ορίστηκαν οι κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ που αναφέρθηκαν παραπάνω και αφορούν το δεύτερο στάδιο της ταξινόμησης. Ως μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν εικόνες από τις παραπάνω διαδικασίες μετά από κάποια επιπρόσθετη επεξεργασία. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν οι ταξινομημένες εικόνες που παρουσιάζουν τα βέλτιστα αποτελέσματα για κάθε κατηγορία ΧΓ/ΚΓ (που αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο) και χρησιμοποιήθηκαν για τον διαχωρισμό των αντίστοιχων κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ. Επίσης, οι δείκτες (NDVI, NDWI) ταξινομήθηκαν με τη μέθοδο μη-επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA για ευκολότερη διαχείριση. Ακόμα, χρησιμοποιήθηκε η κλίση και τα υψόμετρα, τα οποία επίσης

ταξινομήθηκαν σε 3 και 4 κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ αντίστοιχα. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών όπως εξήχθησαν από την προηγούμενη διαδικασία. Οι κανόνες αυτής της διαδικασίας δεν αφορούν την εξαγωγή κάποιων χαρακτηριστικών, συνεπώς είναι μια απλή σύνθεση των παραπάνω παραγώγων ώστε να βελτιστοποιηθεί το τελικό αποτέλεσμα του χαρακτηρισμού των χρήσεων γης/κάλυψης γης της συγκεκριμένης περιοχής. Ένα τμήμα των κανόνων, ως παράδειγμα, φαίνεται παρακάτω.

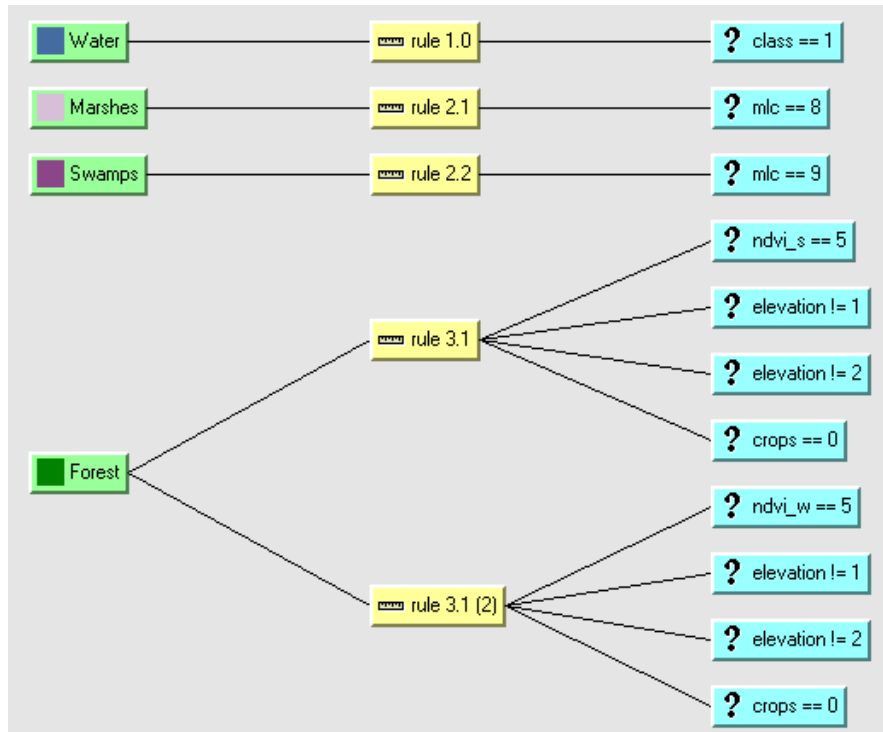


Figure 4.11: Τμήμα του συνόλου των κανόνων ως παράδειγμα της διαδικασίας

#### 4.6 Εκτίμηση της ακρίβειας ταξινόμησης

Η εκτίμηση της ακρίβειας πραγματοποιήθηκε σε όλες τις εικόνες, συμπεριλαμβανομένης και της τελικής, χρησιμοποιώντας τον πίνακα σφάλματος (error matrix). Ο πίνακας σφάλματος μπορεί να παρέχει στον χρήστη μία ποσοτική εκτίμηση μίας ταξινόμησης εστιάζοντας στον βαθμό αντιστοιχίας μεταξύ της πραγματικότητας και της ταξινομημένης εικόνας. Η εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων έγινε χρησιμοποιώντας την ολική ακρίβεια (overall accuracy), τις ακρίβειες του αναλυτή και του χρήστη (producer's and user's accuracies) και τον συντελεστή Kappa. Η ανάλυση του πίνακα σφάλματος για την εκτίμηση της ακρίβειας αποτελεί μία αξιόπιστη μέθοδο που έχει χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα μελετών ταξινόμησης χρήσεων γης/κάλυψης γης.

Η *συνολική ακρίβεια* της ταξινόμησης υπολογίζεται με τη διαίρεση του αθροίσματος των στοιχείων της διαγώνιου του πίνακα σφάλματος με το ολικό πλήθος των ψηφίδων του δείγματος. Ο υπολογισμός της *ακρίβειας των ατομικών τάξεων* προσδιορίζεται από τη διαίρεση του ολικού πλήθους των σωστά ταξινομημένων ψηφίδων (όπως ταξινομήθηκε

με τα δεδομένα αναφοράς σε μία κατηγορία) με το ολικό πλήθος των ψηφίδων της κατηγορίας πριν την ταξινόμηση.

Το σφάλμα παράλειψης (*omission error*) εκφράζει ένα σύνολο ψηφίδων, που ανήκουν στην υπό εξέταση κατηγορία ΧΓ/ΚΓ, οι οποίες ταξινομήθηκαν λανθασμένα σε κάποια άλλη κατηγορία ΧΓ/ΚΓ. Η ολική ακρίβεια των σφαλμάτων παράλειψης ονομάζεται *ακρίβεια του αναλυτή (producer's accuracy)*. Η ακρίβεια του αναλυτή δείχνει πόσα δείγματα από τα στοιχεία αναφοράς μπόρεσε ο αλγόριθμος ταξινόμησης να τα καταχωρίσει σωστά. Το σφάλμα επιφόρτισης (*commission error*) εκφράζει ένα σύνολο ψηφίδων, που δεν ανήκουν στην υπό εξέταση κατηγορία ΧΓ/ΚΓ, οι οποίες ταξινομήθηκαν λανθασμένα σε αυτήν. Η μέτρηση αυτή ονομάζεται *αξιοπιστία του χρήστη (user's accuracy)* και είναι η πιθανότητα στην κατηγορία που ταξινομήθηκε τελικά μία ψηφίδα.

Ο συντελεστής Kappa (*Equation 4.7*) χρησιμοποιείται ως δείκτης της συμφωνίας μεταξύ της ταξινομημένης εικόνας και δεδομένων ελέγχου και δείχνει αν οι τιμές του πίνακα σφάλματος είναι στατιστικά σημαντικές (Foody, 2004; Murayama, 2012).

$$Kappa = \frac{n \sum_{i=1}^q n_{ii} - \sum_{i=1}^q n_{Ri} n_{Ci}}{n^2 - \sum_{i=1}^q n_{Ri} n_{Ci}} * 100 \quad \text{Equation 4.7}$$

Για την καλύτερη ανάλυση και εκτίμηση των αποτελεσμάτων των επί μέρους κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ χρησιμοποιήθηκε η *ακρίβεια της χαρτογράφησης (mapping accuracy)* (*Equation 4.8*) που εκφράζει τις ψηφίδες που κατηγοριοποιήθηκαν σωστά στην εικόνα συνδυάζοντας το σφάλμα επιφόρτισης και το σφάλμα παράλειψης.

$$MA = \frac{Pixels\ of\ X_{correct}}{Pixels\ of\ X_{correct} + Pixels\ of\ X_{omission} + Pixels\ of\ X_{commission}} \quad \text{Equation 4.8}$$

#### 4.7 Σύνοψη κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο περιγράφηκαν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία τους και για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης των ΧΓ/ΚΓ. Προηγήθηκε η προεπεξεργασία των δεδομένων και η εξαγωγή των παράγωγων προϊόντων και, στη συνέχεια, η διαδικασία της ταξινόμησης με τις δύο μεθόδους που επιλέχθηκαν, η εξαγωγή των αποτελεσμάτων και η εκτίμηση της ακρίβειάς τους. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή τη διαδικασία, τόσο οι χάρτες των ΧΓ/ΚΓ όσο και οι πίνακες σφάλματος, παρατίθενται και αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο.

## 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα κυριότερα αποτελέσματα των διάφορων σταδίων που περιγράφηκαν στη μεθοδολογία. Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων, παρατίθενται οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ που επιλέχθηκαν (Figure 5.1).

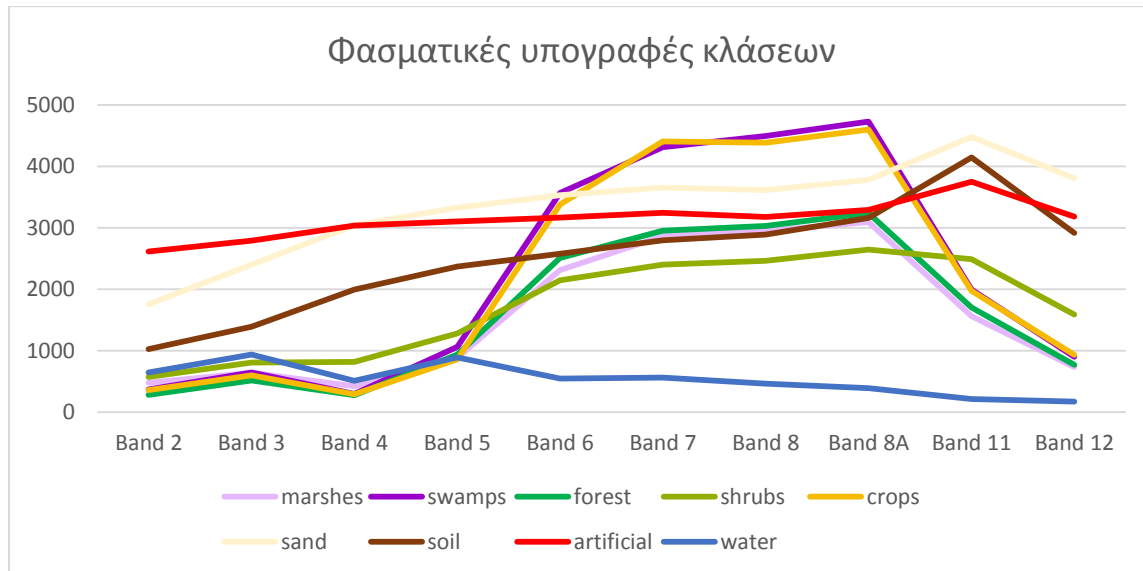


Figure 5.1: Οι φασματικές υπογραφές των επιλεγμένων κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ. Στο διάγραμμα παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του δείγματος.

Στο παραπάνω διάγραμμα φασματικών υπογραφών διακρίνεται η σύγκριση μεταξύ των διάφορων τύπων βλάστησης και μεταξύ μη διαπερατών επιφανειών, άμμου και γυμνού εδάφους. Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι η κατηγορία «swamps – υδρόβια δάση» (μωβ σκούρο) έχει σχεδόν ίδια φασματική υπογραφή με την κατηγορία «crops – καλλιέργειες» (πορτοκαλί χρώμα) σε όλες τις περιοχές του φάσματος. Το ίδιο συμβαίνει και με τις κατηγορίες «marshes – έλη» (μωβ ανοιχτό) και «forest – δασικές εκτάσεις» (πράσινο σκούρο). Οι κλάσεις «artificial – τεχνητές επιφάνειες», «soil – γυμνό έδαφος» και «sand – αμμώδεις εκτάσεις» ενώ δεν έχουν ίδιες φασματικές υπογραφές βρίσκονται πολύ κοντά σε όλο το μήκος του φάσματος, πράγμα που καθιστά δύσκολο τον διαχωρισμό τους. Γίνεται φανερό ότι τα φασματικά χαρακτηριστικά μόνο δεν αρκούν για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός όλων των χαρακτηριστικών του εδάφους. Για τον λόγο αυτό, επιλέχθηκε να αναλυθούν τα δευτερογενή δεδομένα που προέκυψαν από την προεπεξεργασία των αρχικών δεδομένων, όπως οι φασματικοί δείκτες, οι μετασχηματισμοί και τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την υφή.

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται οι τιμές κάθε κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ για τα παράγωγα του S2 κανάλια τα οποία δοκιμάστηκαν στις ταξινομήσεις. Η γραφική παράσταση των φασματικών τιμών κάθε κατηγορία ΧΓ/ΚΓ στα διάφορα μήκη κύματος, περιγράφεται από την καμπύλη που ονομάζεται φασματική υπογραφή. Στο πρώτο διάγραμμα (Figure 5.2)



φαίνονται οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ για τα κανάλια του S2. Από το διάγραμμα φαίνεται ξεκάθαρα η φασματική ομοιότητα των διάφορων τύπων βλάστησης και κυρίως των καλλιιεργειών με τα υδρόβια δάση και των ελών με τις θαμνώδεις εκτάσεις. Δεν φαίνεται να υπάρχει κάποιο κανάλι κατάλληλο στον διαχωρισμό αυτών των τύπων βλάστησης. Το νερό μετά από το κανάλι 5 (red edge) διαχωρίζεται ξεκάθαρα από τις υπόλοιπες κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ. Το μπλε κανάλι φαίνεται χρήσιμο για τον διαχωρισμό των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ γυμνού εδάφους. Στο δεύτερο διάγραμμα (Figure 5.3) φαίνονται οι μέσες τιμές των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ για τους φασματικούς δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν (NDVI, NDWI). Φαίνεται από το διάγραμμα ότι ο δείκτης NDVI βοήθησε πολύ στον διαχωρισμό των περιοχών με βλάστηση από αυτές χωρίς βλάστηση όμως δεν βοηθά στον διαχωρισμό κάποιων τύπων βλάστησης (καλλιέργειες, δάση, υδρόβια δάση). Παράλληλα, ο NDWI συνεισφέρει στην διαχωρισμό των υδάτινων επιφανειών, όμως πάλι δεν βοηθά στην βλάστηση.

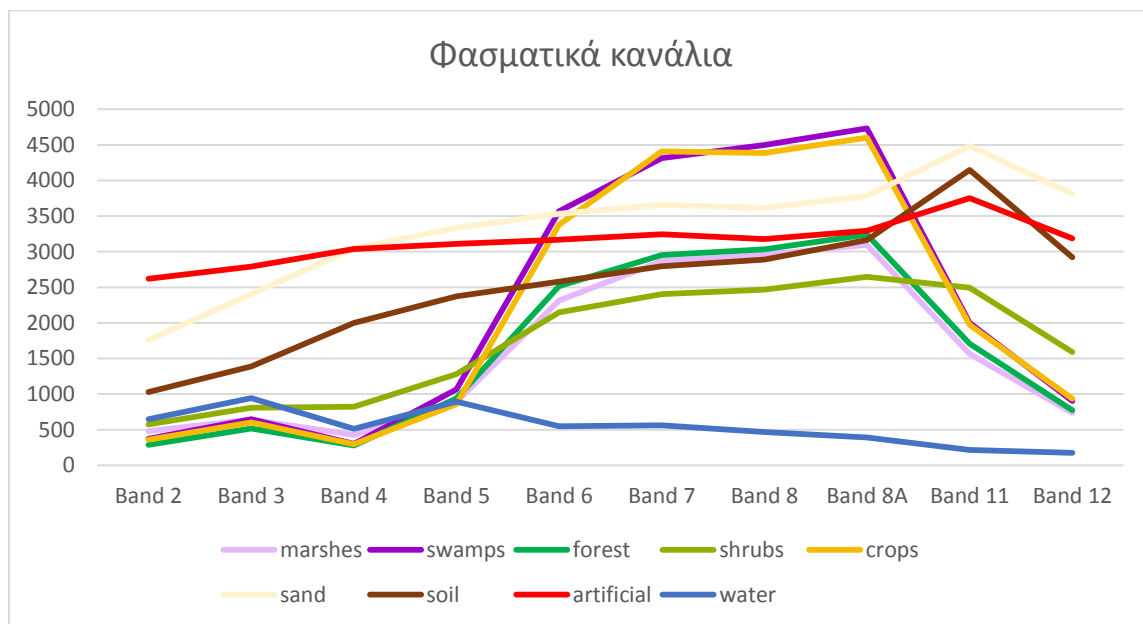


Figure 5.2: Οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ συνίστανται από τις τιμές τους σε κάθε φασματικό κανάλι

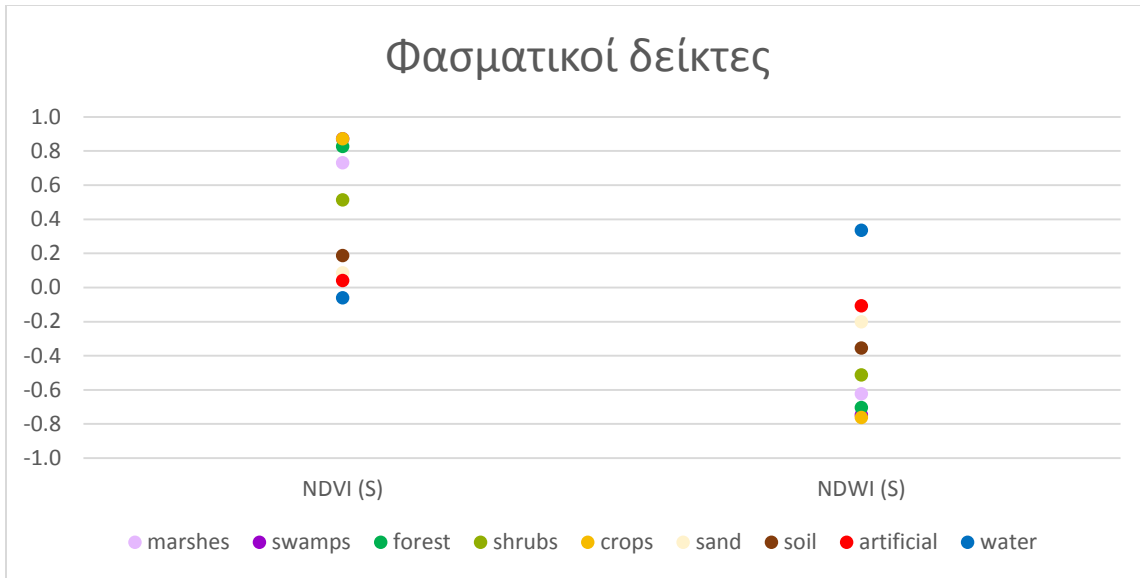


Figure 5.3: Οι μέσες τιμές των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ για τους φασματικούς δείκτες NDVI και NDWI της καλοκαιρινής περιόδου

Αντίστοιχα διαγράμματα έγιναν και για τους μετασχηματισμούς (Figure 5.4) και για την ανάλυση της υψής (Figure 5.5).

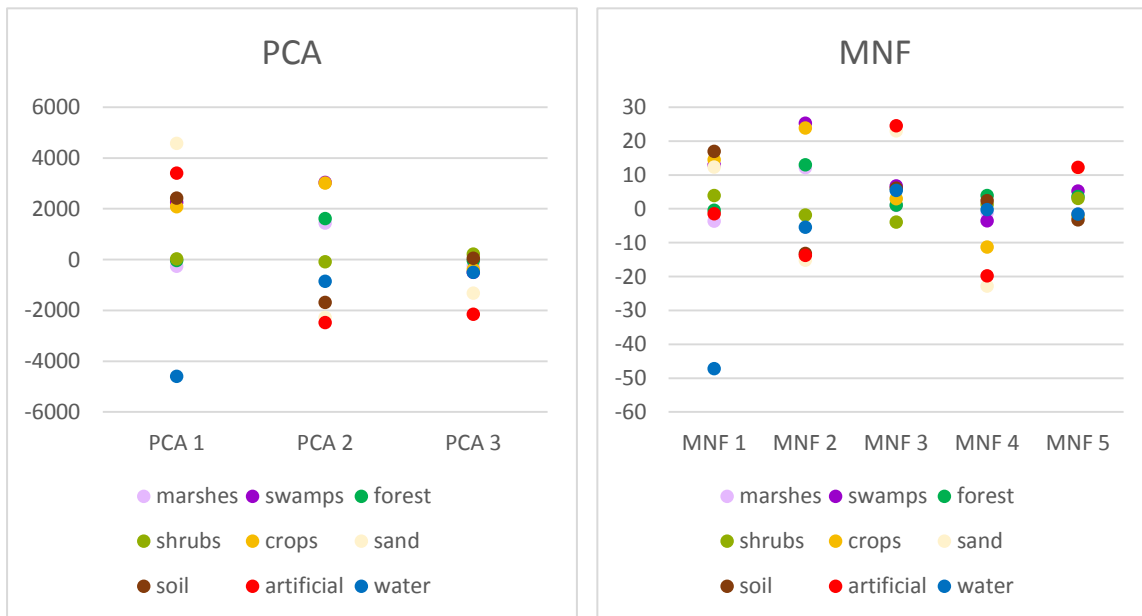


Figure 5.4: Οι μέσες τιμές των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ για τα μετασχηματισμένα κανάλια του MNF και PCA

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται πως μεταβάλλονται οι μέσες τιμές των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ για τα κανάλια υψής του δείκτη NDVI. Οι τιμές δεν παρουσιάζουν καμία ομοιότητα με τα προηγούμενα διαγράμματα τα οποία αναφέρονταν όλα σε φασματικές τιμές. Φαίνεται λοιπόν πως, ενώ στη φασματική διάσταση είναι δύσκολος ο διαχωρισμός ορισμένων κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ, στα κανάλια που σχετίζονται με την υψή της εικόνας οι κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ αυτές είναι περισσότερο διακριτές. Για παράδειγμα το δάσος

διαχωρίζεται πλήρως από το υδρόβιο δάσος στο κανάλι της εντροπίας και της ανομοιογένειας. Γενικά όλα τα είδη βλάστησης παρουσιάζουν πολύ διαφορετικές τιμές στα δύο αυτά κανάλια και αυτό καθιστά τον διαχωρισμό ευκολότερο. Επίσης, πολύ διαφορετικές τιμές έχουν και οι κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ του γυμνού εδάφους (μη διαπερατές επιφάνειες, χώμα, άμμος).

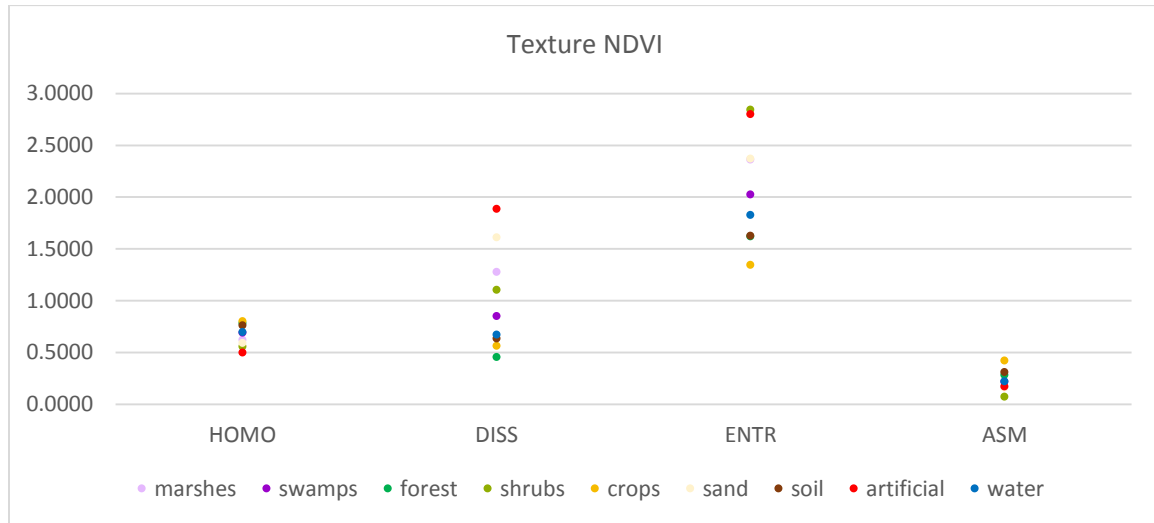


Figure 5.5: Οι μέσες τιμές των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ για τα κανάλια της υφής

## 5.1 Αποτελέσματα Ταξινόμησης

### 5.1.1 Ταξινόμηση με SVMs

Όπως προαναφέρθηκε, η εκτίμηση της ακρίβειας έγινε με την ανάλυση των πινάκων σφάλματος και εκτιμήθηκαν οι τιμές της ολικής ακρίβειας, του συντελεστή kappa και της ακρίβειας χαρτογράφησης κάθε κατηγορία ΧΓ/ΚΓ για κάθε σενάριο που εφαρμόστηκε. Στα παρακάτω διαγράμματα (Figure 5.7, Figure 5.8) φαίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των σεναρίων που δοκιμάστηκαν.

Σχετικά με την ολική ακρίβεια της ταξινόμησης, παρατηρείται μία τάση ανόδου της καμπύλης (από 90,83% σε 93,81%) και του συντελεστή kappa (από 0,8940 σε 0,9280), με εξαίρεση ορισμένα σενάρια (v2.1.1 – 82.50%, v2.2.4 – 88.24%, v2.4.5 – 91.37%, v2.4.8 – 91.9784%). Σε σχέση με το μηδενικό σενάριο (χρήση μόνο καναλιών S2) σχεδόν όλα τα σενάρια παρουσιάζουν μεγαλύτερη ακρίβεια, εκτός από εκείνα στα οποία χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα μετασχηματισμένα κανάλια (v2.1.1 – 82.50%, v2.1.2 – 88.6%, v2.1.3 – 89.78%). Τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην ακρίβεια της ταξινόμησης έχουν τα κανάλια που προέκυψαν από την ανάλυση του πίνακα GLCM και τα κανάλια της εποχιακής προσέγγισης. Συγκεκριμένα, την υψηλότερη ακρίβεια (93,85%) παρουσιάζει το σενάριο στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν τα κανάλια υφής του NDVI και του MNF (εντροπία, ανομοιογένεια, ομοιομορφία και γωνιακή ροπή για τον NDVI και μέση τιμή για την συνιστώσα C5 του MNF). Αντίθετα, η ολική ακρίβεια έπεσε αρκετά στο πρώτο σενάριο (v2.1.1 – 82,50%) όπου επιχειρήθηκε να χρησιμοποιηθούν οι συνιστώσες του

PCA, στο δεύτερο σενάριο (v2.2.4 – 88.24%) όπου επιχειρήθηκε να χρησιμοποιηθούν επιλεγμένα κανάλια του S2 (B, G, R, NIR) και των μετασχηματισμών (MNF – C2, C5, PCA – C3) και στο τέταρτο σενάριο (v2.4.5 – 91.37%, v2.4.8 – 91.98%) όπου επιχειρήθηκε να χρησιμοποιηθούν τα κανάλια Η-α του S1.

Σχετικά με την ακρίβεια των επιμέρους κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ παρατηρήθηκε ότι δεν συμπεριφέρονται όλες οι κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ με τον ίδιο τρόπο σε κάθε σενάριο. Πιο συγκεκριμένα, στο μηδενικό σενάριο παρατηρήθηκαν χαμηλές ακρίβειες στις κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ της βλάστησης (<75%) εκτός από τη δασική έκταση (99%). Παρατηρείται επίσης πως στα σενάρια που επιχειρείται να αφαιρεθούν τα κόκκινα κανάλια του S2 (B5,B6,B7,B8A) η ακρίβεια των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ που σχετίζονται με την βλάστηση μειώνεται (π.χ. v2.1.1, v2.2.2, v2.2.4, v2.3.4). Σε ό,τι αφορά την εισαγωγή των καναλιών του S1, φαίνεται να συνεισφέρουν στον διαχωρισμό του γυμνού εδάφους, κυρίως στις κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ των μη διαπερατών επιφανειών και του χρώματος. Με την εισαγωγή των καναλιών που αφορούν την υφή εμφανίζεται αρκετή αύξηση (4% - 7%) στην ακρίβεια του διαχωρισμού του γυμνού εδάφους (τεχνητές επιφάνειες, άμμος και χώμα), ενώ παρουσιάζεται ανοδική τάση (2% - 5%) και στις κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ της βλάστησης (κυρίως στην υδρόβια και στις καλλιέργειες). Τέλος, στο σενάριο της εποχιακής προσέγγισης παρατηρείται αύξηση της ακρίβειας των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ της βλάστησης και κυρίως της υδρόβιας (2% - 4%).

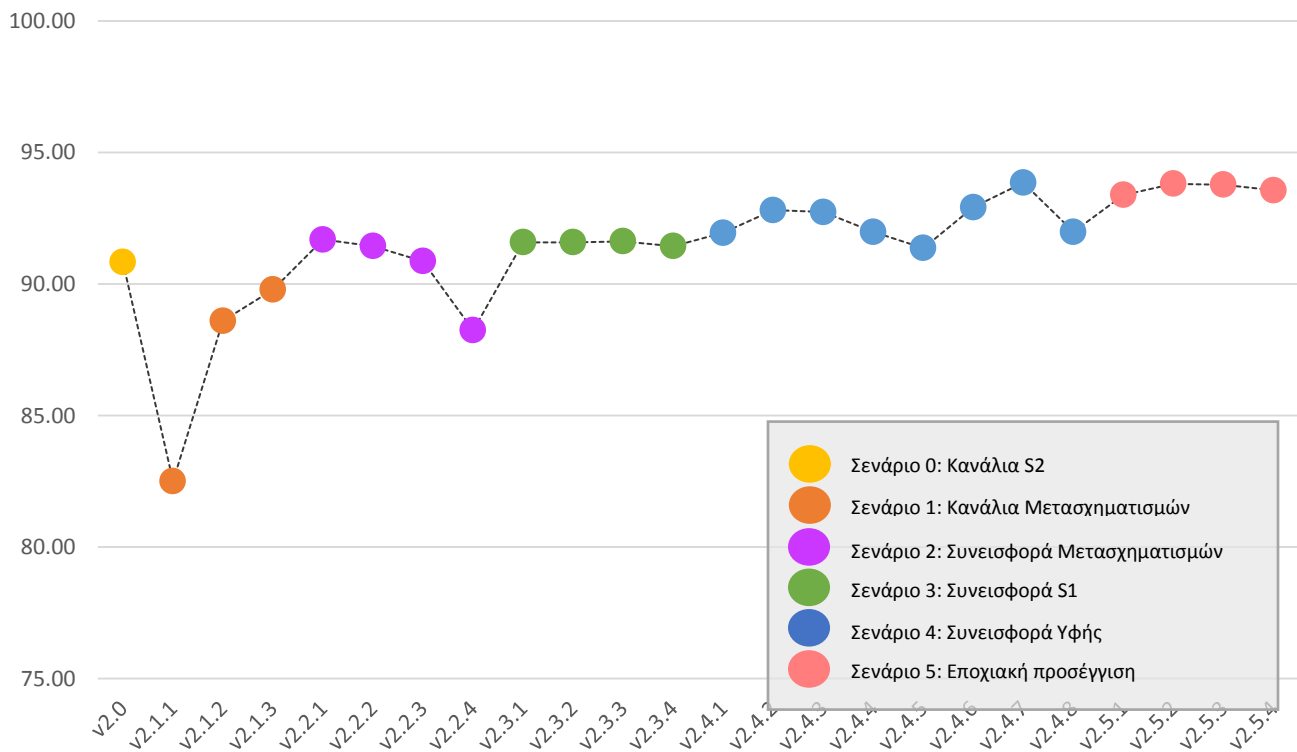


Figure 5.6: Η ολική ακρίβεια για όλα τα σενάρια που δοκιμάστηκαν. Στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται τα ποσοστά (%) της συνολικής ακρίβειας και στον οριζόντιο τα διαφορετικά σενάρια που εφαρμόστηκαν. Οι χρωματικοί διαχωρισμοί αναφέρονται στις ομάδες σεναρίων όπως παρουσιάστηκαν στον πίνακα 4.6 (Table 4.6)

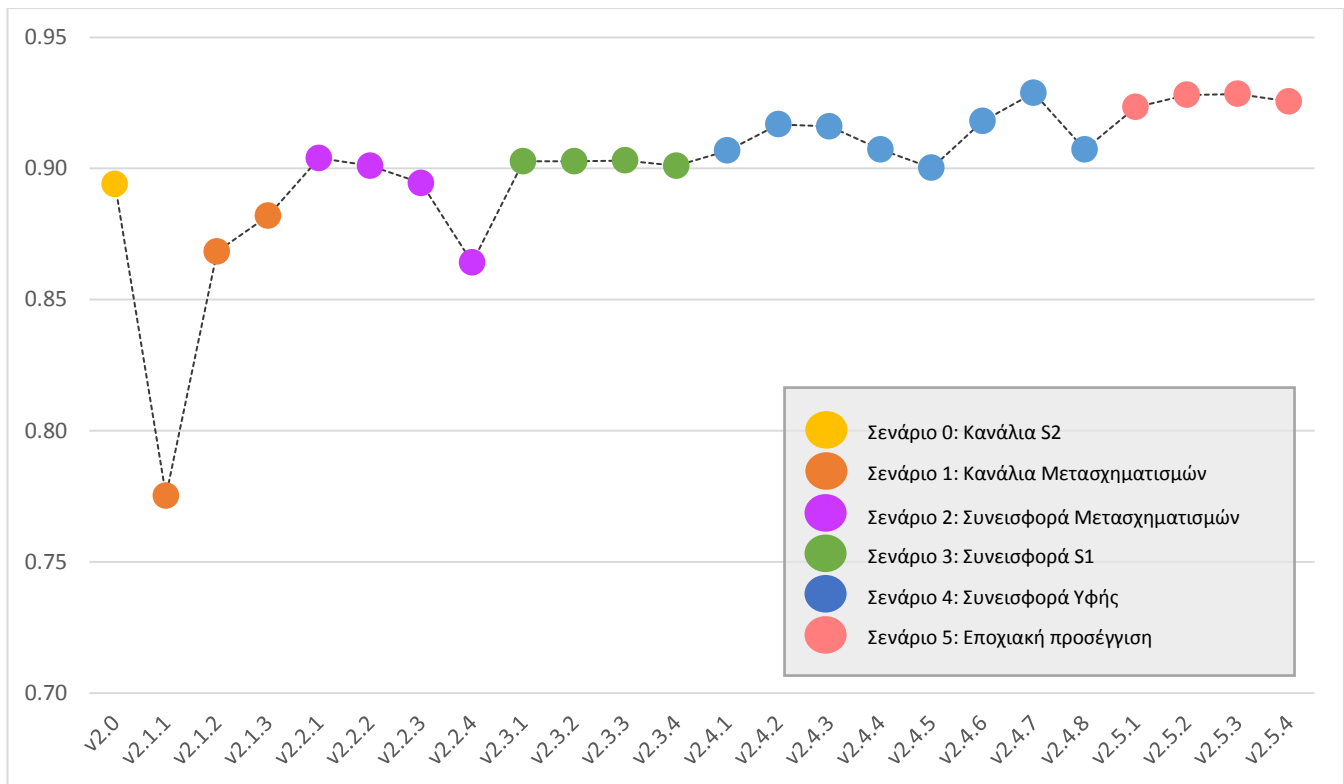


Figure 5.7: Ο συντελεστής kappa για όλα τα σενάρια που δοκιμάστηκαν. Στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται οι τιμές του kappa και στον οριζόντιο τα διαφορετικά σενάρια που εφαρμόστηκαν. Οι χρωματικοί διαχωρισμοί αναφέρονται στις ομάδες σεναρίων όπως παρουσιάστηκαν στον πίνακα 4.6 (Table 4.6)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ακρίβειες του χρήστη και του αναλυτή (User's Accuracy – Producer's Accuracy) για τα δύο ακραία σενάρια – το καλύτερο και το χειρότερο.

Table 5.1: Οι ακρίβειες του χρήστη και του αναλυτή (User's Accuracy - Producer's Accuracy) για τις κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ του καλύτερου και του χειρότερου σεναρίου (v2.4.7 και v2.2.1 αντίστοιχα).

	PA (%)	UA (%)		PA (%)	UA (%)		
V2.2.1	marshes	95.00	62.64	V2.4.7	marshes	95.83	66.86
	swamps	78.50	83.96		swamps	83.50	82.27
	forest	99.64	99.82		forest	99.64	100.00
	shrubs	98.82	81.55		shrubs	98.82	90.32
	crops	72.00	85.38		crops	74.33	88.14
	sand	100.00	88.11		sand	100.00	89.69
	soil	92.67	93.92		soil	96.33	98.63
	urban	81.62	97.11		urban	91.62	99.41
	water	99.30	99.47		water	98.25	99.82

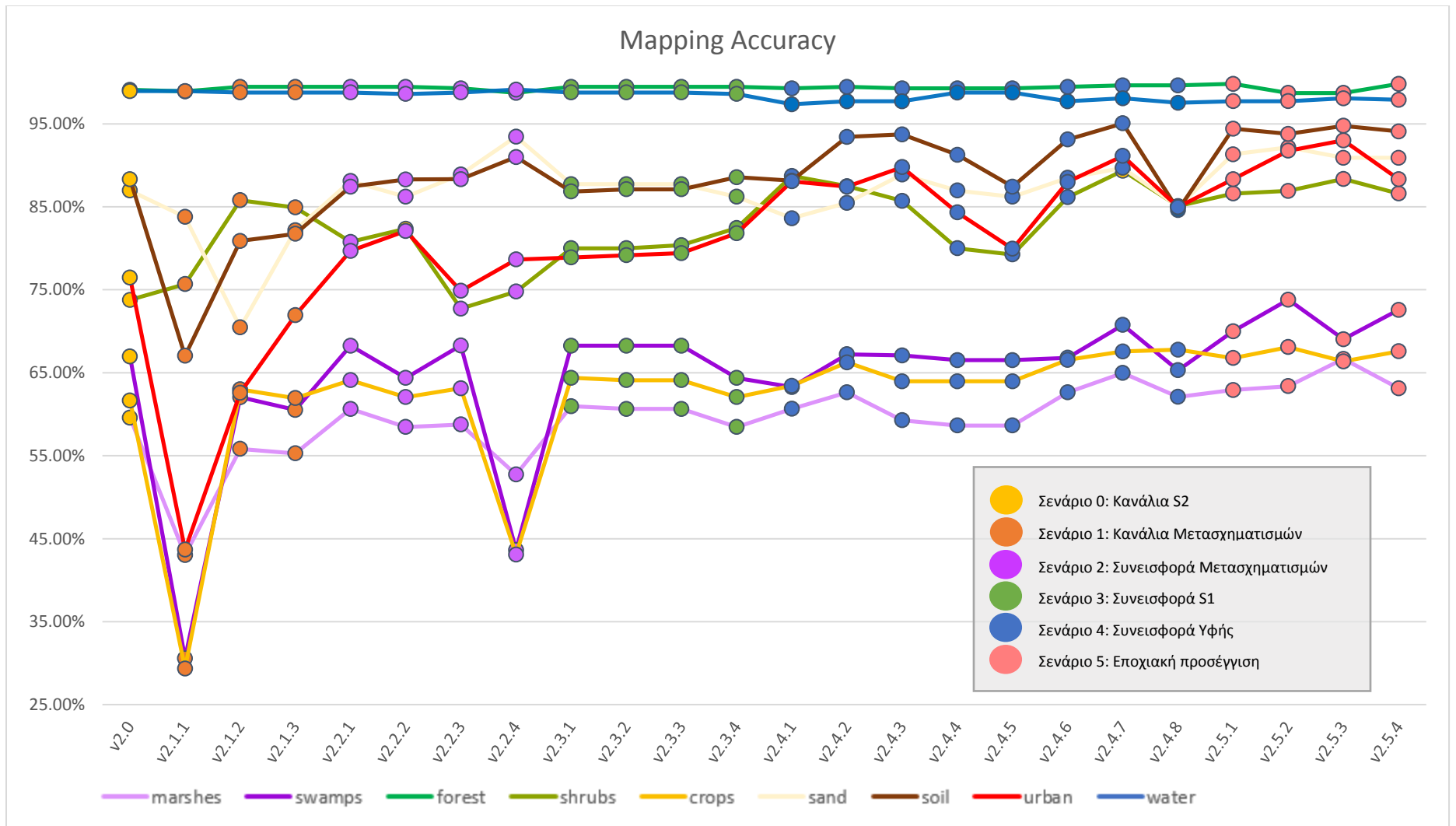


Figure 5.8: Οι ακρίβειες ταξινόμησης κάθε κατηγορία ΧΓ/ΚΓ για όλα τα σενάρια που δοκιμάστηκαν. Στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται τα ποσοστά (%) της ακρίβειας χαρτογράφησης (Mapping Accuracy) και στον οριζόντιο τα διαφορετικά σενάρια που εφαρμόστηκαν. Οι χρωματικοί διαχωρισμοί αναφέρονται στις ομάδες σεναρίων όπως παρουσιάστηκαν στον πίνακα 4.6 (Table 4.6)

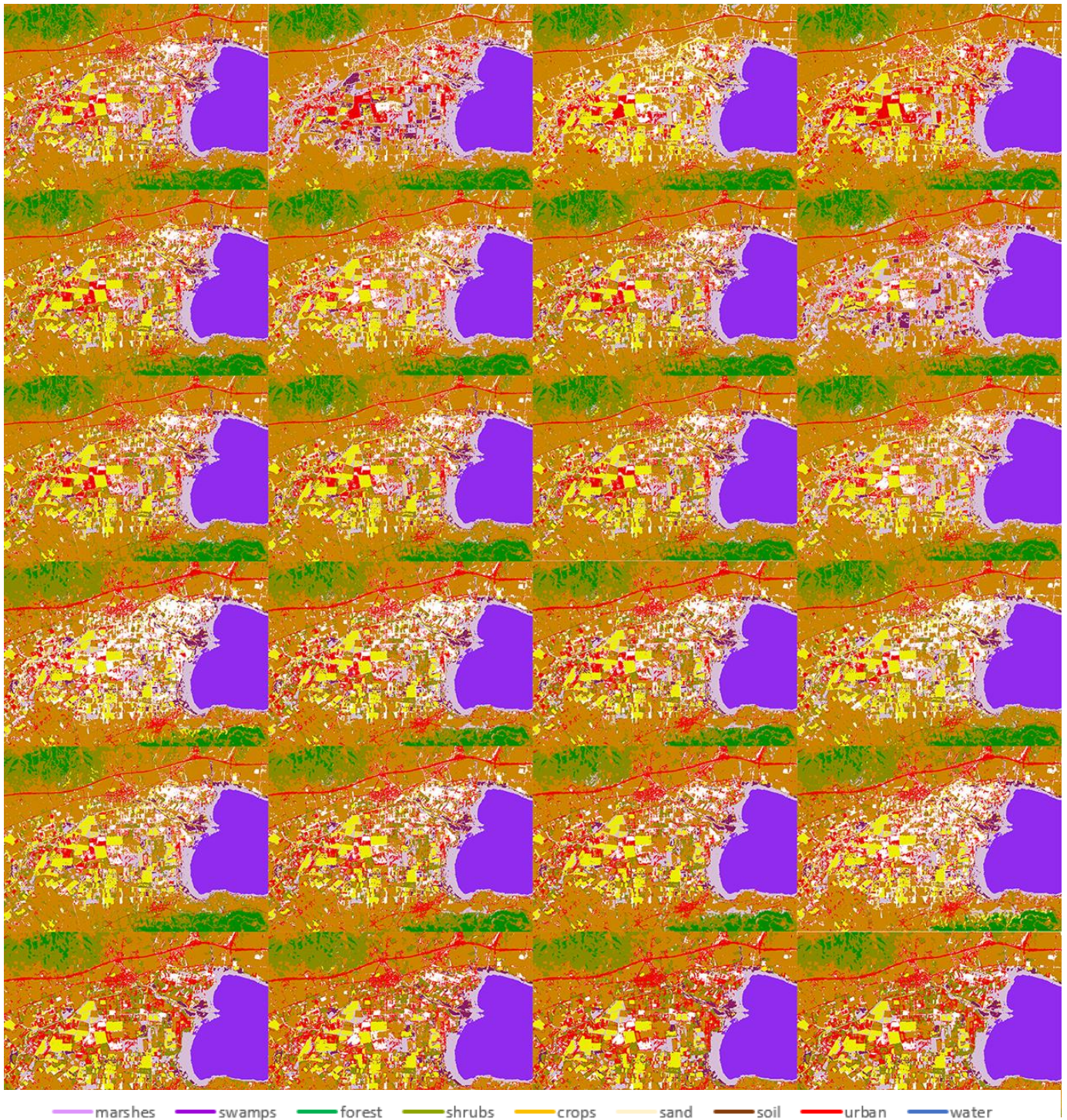
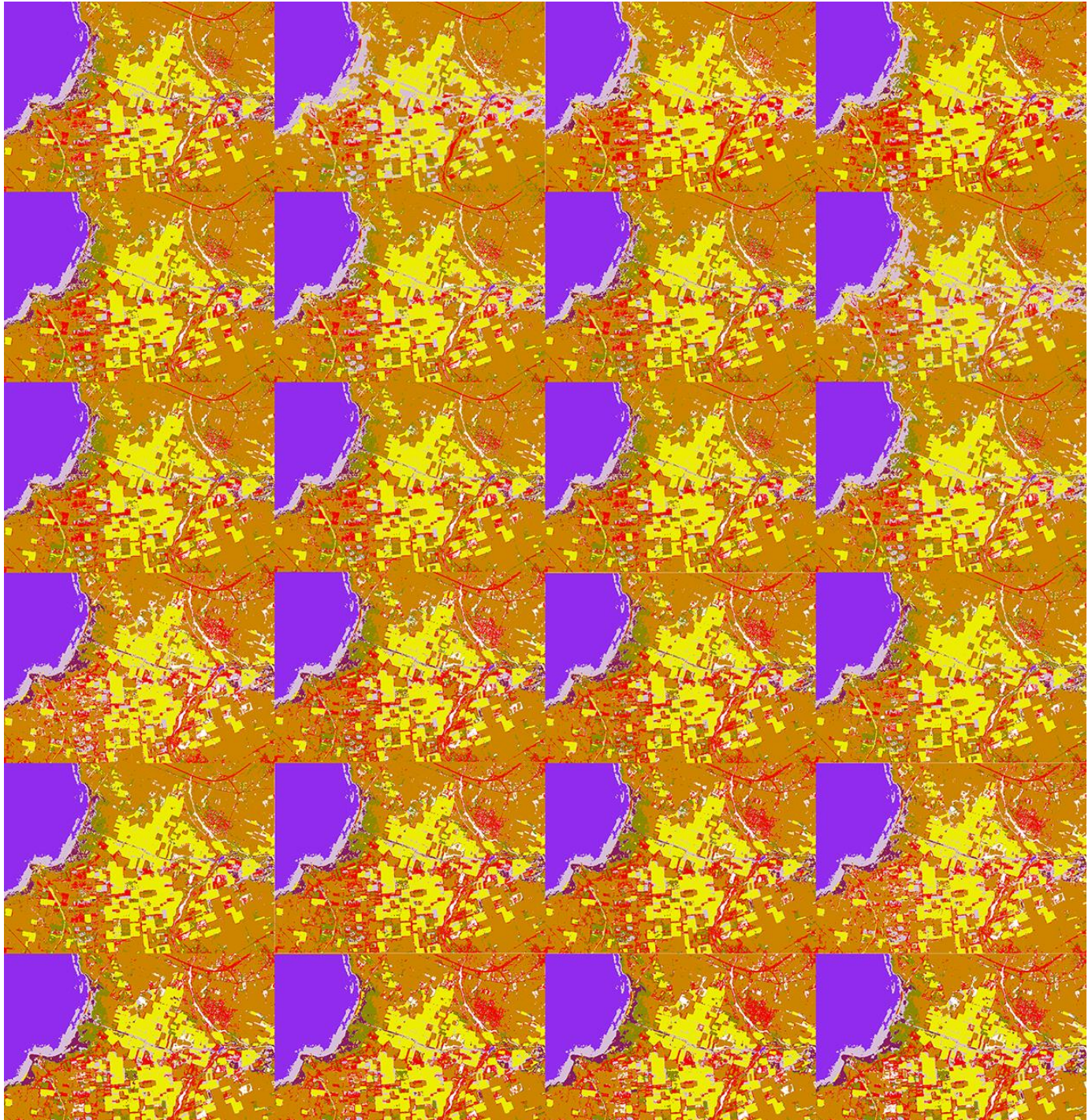


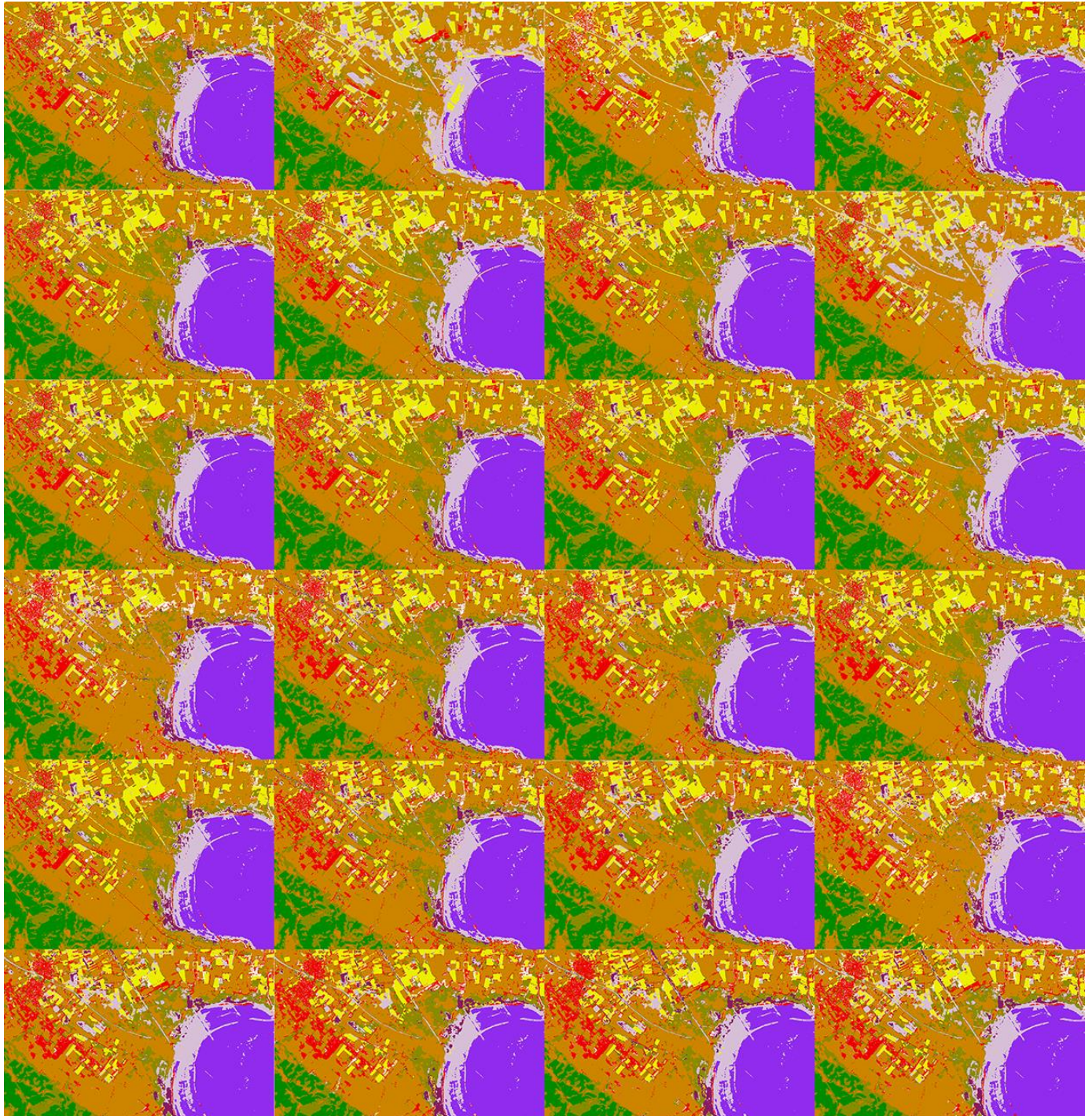
Figure 5.9: Σκηνή 1 από την περιοχή μελέτης όπως προέκυψε στα 24 διαφορετικά σενάρια SVMs που εξετάστηκαν. Οι εικόνες φαίνονται με τη σειρά των σεναρίων που εξετάστηκαν, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6 (Table 4.6)



— marshes  
 — swamps  
 — forest  
 — shrubs  
 — crops  
 — sand  
 — soil  
 — urban  
 — water

Figure 5.10: Σκηνή 2 από την περιοχή μελέτης όπως προέκυψε στα 24 διαφορετικά σενάρια SVMs που εξετάστηκαν. Οι εικόνες φαίνονται με τη σειρά των σεναρίων που εξετάστηκαν, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6 (Table 4.6)





— marshes  
 — swamps  
 — forest  
 — shrubs  
 — crops  
 — sand  
 — soil  
 — urban  
 — water

*Figure 5.11: Σκηνή 3 από την περιοχή μελέτης όπως προέκυψε στα 24 διαφορετικά σενάρια SVMs που εξετάστηκαν. Οι εικόνες φαίνονται με τη σειρά των σεναρίων που εξετάστηκαν, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6 (Table 4.6)*

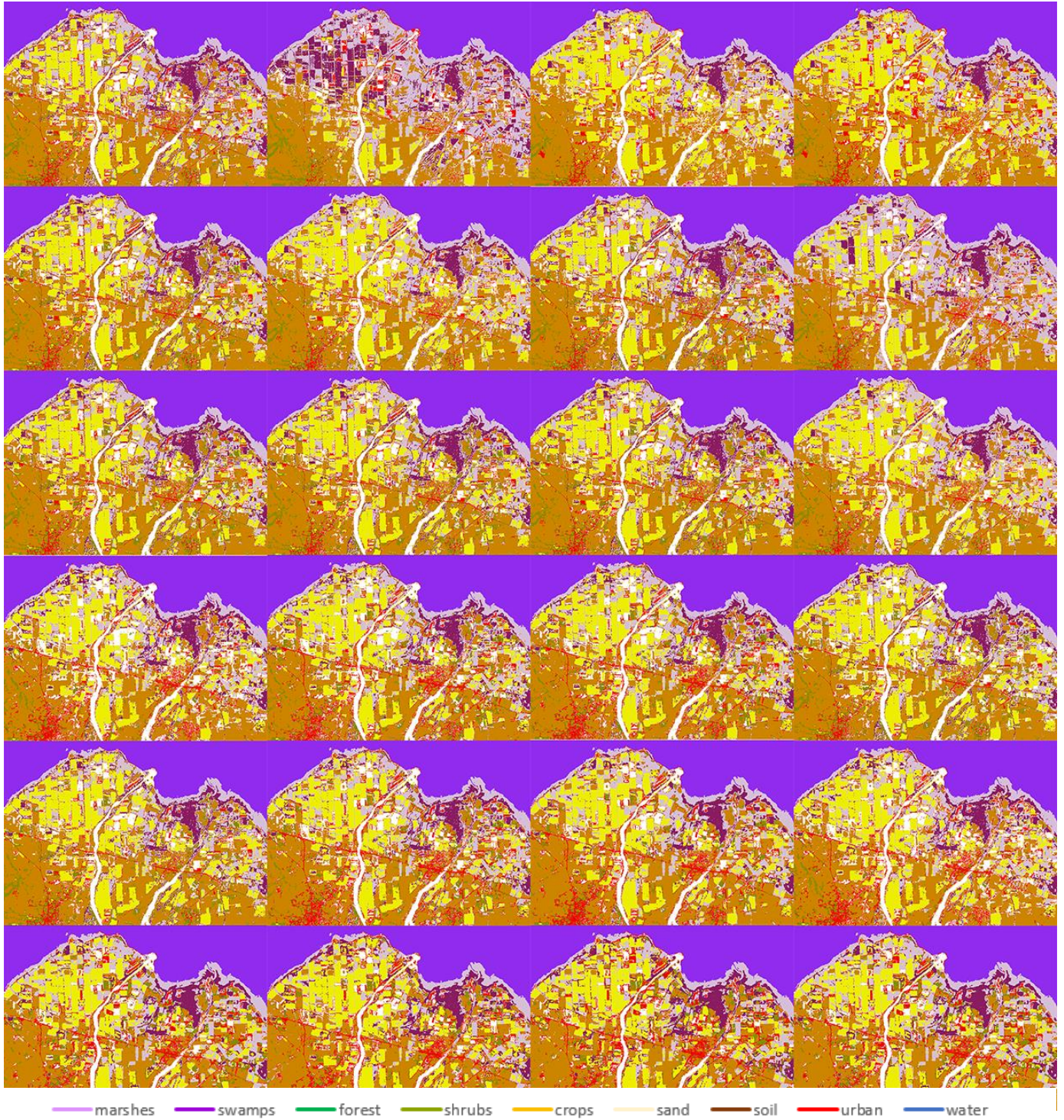


Figure 5.12: Σκηνή 4 από την περιοχή μελέτης όπως προέκυψε στα 24 διαφορετικά σενάρια SVMs που εξετάστηκαν. Οι εικόνες φαίνονται με τη σειρά των σεναρίων που εξετάστηκαν, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 6 (Table 4.6).

Παραπάνω φαίνονται τέσσερις χαρακτηριστικές σκηνές από την περιοχή μελέτης όπως προέκυψαν από τα 24 σενάρια ταξινόμησης με τον αλγόριθμο SVMs που εξετάστηκαν. Οι εικόνες φαίνονται με τη σειρά των σεναρίων που εξετάστηκαν, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6 (Table 4.6).

### 5.1.2 Ταξινόμηση με χρήση εμπειρικών κανόνων

Στην δεύτερη μέθοδο ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκαν, όπως προαναφέρθηκε, διαφορετικές κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ από την πρώτη μέθοδο. Αυτό έγινε για να συμπεριληφθούν κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα με την εποχή. Ως αποτέλεσμα, για την εκτίμηση της ακρίβειας επιλέχθηκε νέο αντιπροσωπευτικό δείγμα ελέγχου. Σύμφωνα με τα παραπάνω, θεωρήθηκε άσκοπο να επιχειρηθεί σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων σε ότι αφορά τις ακρίβειες των ταξινομήσεων. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αριθμητικά τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής και στο διάγραμμα (Figure 5.13) παρουσιάζονται οπτικά οι ακρίβειες των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ.

Table 5.2: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης της ακρίβειας της ταξινόμησης με χρήση εμπειρικών κανόνων.

OA   Kappa		94.82%   0.9362				
<b>Class</b>	<b>Υδάτινη επιφάνεια</b>	<b>Έλη / Βάλτοι</b>	<b>Υδροβια δάση</b>	<b>Δασικές εκτάσεις</b>	<b>Θαμνώδεις εκτάσεις</b>	<b>Λιβάδια</b>
<b>MA</b>	98.83%	81.43%	81.23%	77.46%	87.29%	92.60%
<b>Class</b>	<b>Θερινές Καλλιέργειες</b>	<b>Χειμερινές Καλλιέργειες</b>	<b>Μόνιμες Καλλιέργειες</b>	<b>Τεχνητές επιφάνειες</b>	<b>Αμμώδεις εκτάσεις</b>	<b>Άγονη γη</b>
<b>MA</b>	78.48%	93.94%	93.95%	77.98%	76.55%	88.04%

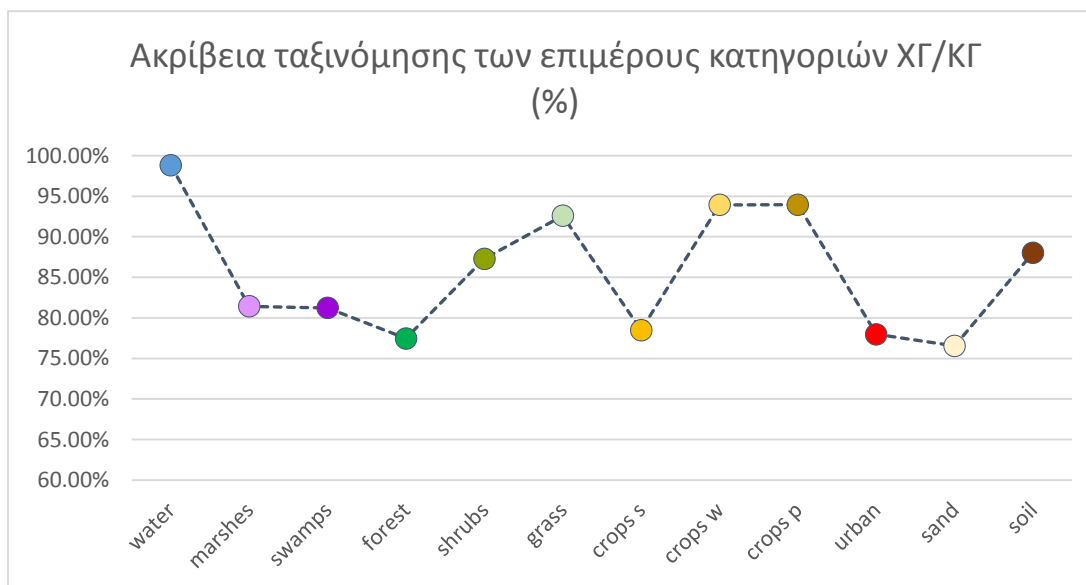
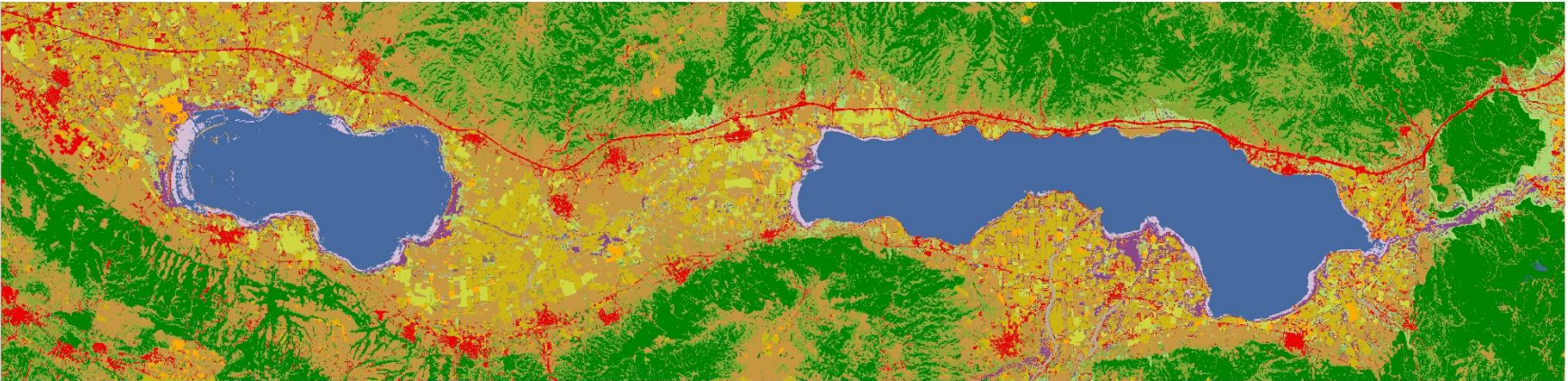


Figure 5.13: Η ακρίβεια χαρτογράφησης των επιμέρους κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ

Η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης είναι πολύ υψηλή (94.82%), το ίδιο και ο συντελεστής kappa (0.9362). Φαίνεται πως όλες οι κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ έχουν ταξινομηθεί με αρκετά υψηλή ακρίβεια (πάνω από 75%). Οι κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ της βλάστησης παρουσιάζουν ακρίβειες πάνω από 80%, με εξαίρεση τις δασικές εκτάσεις και τις καλοκαιρινές καλλιέργειες που βρίσκονται περίπου στο 77%. Τη χαμηλότερη ακρίβεια παρουσιάζουν οι αμμώδεις εκτάσεις (76.55%), ενώ την υψηλότερη το νερό (98.83%). Παρακάτω φαίνεται η ταξινομημένη εικόνα με τη μέθοδο της χρήσης εμπειρικών κανόνων (Figure 5.14).

### Εθνικό Πάρκο Λιμνών Κορώνειας - Βόλβης















Απρίλιος, 2017

**Χρήσεις γης**

**rule2.2.img**

**Class\_Names**

 Artificial	 Crops Summer	 Shrubs
 Barren Land	 Crops Winter	 Soil
 Crops Permanent	 Forest	 Swamps
	 Grass	 Water
	 Marshes	



WGS8, UTM Zone 34

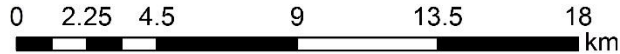


Figure 5.14: Η τελική ταξινομημένη εικόνα με τη μέθοδο της χρήσης εμπειρικών κανόνων

## 5.2 Συζήτηση

Οι πίνακες σφάλματος δείχνουν ότι η συνέργεια των δεδομένων S2 με τα δεδομένα S1 συνέβαλε στην αύξηση της ολικής ακρίβειας, αν και μόνο κατά ένα μικρό ποσοστό (<1%), στην συγκεκριμένη μελέτη (Figure 5.7). Παρ' όλο που στα περισσότερα σενάρια χρησιμοποιήθηκε μόνο μία μεμονωμένη εικόνα είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο συντελεστής kappa σε όλα τα σενάρια ήταν πολύ υψηλός (>0.8), πράγμα που σημαίνει ότι τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βρίσκονται σε ισχυρή συμφωνία με την πραγματικότητα.

### 5.2.1 Δεδομένα και παράγωγα

Ορισμένες κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ παρουσιάζουν παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα τα διαφορετικά είδη βλάστησης. Στην περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 0.7 μέχρι 1.3  $\mu\text{m}$ , το φύλλωμα των φυτών ανακλά το 40%-50% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η ανακλαστικότητα της βλάστησης σε αυτό το εύρος είναι αποτέλεσμα της εσωτερικής δομής των φύλλων του φυτού. Η δομή αυτή ποικίλει σημαντικά μεταξύ διαφορετικών ειδών βλάστησης, συνεπώς η μέτρηση της ανακλαστικότητας σε αυτό το φάσμα μας επιτρέπει τον διαχωρισμό των ειδών βλάστησης (Argialas, 1999). Για τον λόγο αυτό, μεγάλη συνεισφορά στον διαχωρισμό της βλάστησης είχαν τα κόκκινα κανάλια του S2 (B4-B8A) και η επιμέρους ακρίβεια στις κατηγορίες της βλάστησης έπεσε αρκετά στα σενάρια όπου επιχειρήθηκε να αφαιρεθούν (Figure 5.7). Ακόμα, οι φασματικοί δείκτες NDVI και NDWI συνεισέφεραν στον διαχωρισμό (Figure 5.3). Τέλος, στον διαχωρισμό της βλάστησης συνεισέφερε αρκετά η εποχιακή προσέγγιση (Figure 5.8). Αυτό εξηγείται εύκολα καθώς η βλάστηση χαρακτηρίζεται από έντονες μεταβολές κατά τη διάρκεια του έτους (φαινολογικός κύκλος) πράγμα που την κάνει να διαφοροποιείται έντονα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Άλλες κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ που είναι δύσκολες στον διαχωρισμό είναι το γυμνό έδαφος, η άμμος και οι μη διαπερατές επιφάνειες. Τα φασματικά χαρακτηριστικά αυτών των επιφανειών παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές και για τον λόγο αυτό συνίσταται να χρησιμοποιηθούν άλλα χαρακτηριστικά για τον διαχωρισμό τους. Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα του εδάφους, είναι η υφή, η επιφανειακή τραχύτητα, η περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά και η περιεχόμενη υγρασία (Argialas, 1999). Δεδομένου ότι η καταγραφή της εικόνας S2 έγινε τον μήνα Αύγουστο, η έντονη απουσία νερού στο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή ανακλαστικότητα των επιφανειών. Αυτό συμβαίνει λόγω της ιδιότητας του νερού να απορροφά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε περιοχές που αντιστοιχούν στα υπέρυθρα μήκη του φάσματος (NIR, SWIR) είτε ως λίμνη, θάλασσα ή ποτάμι, είτε ως συστατικό της βλάστησης ή του εδάφους (Argialas, 1999). Στον διαχωρισμό των παραπάνω κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ βοήθησε περισσότερο η χρήση των δεδομένων που σχετίζονται με την υφή (Figure 5.5) αλλά και η εποχιακή προσέγγιση (Figure 5.8).

Η χρήση της υψής ως πρόσθετη πληροφορία για την ταξινόμηση βοήθησε σε κάποια σενάρια στην βελτίωση της ακρίβειας. Η ταυτόχρονη χρήση όλων των καναλιών υψής που δημιουργήθηκαν δεν συνεισέφερε σημαντικά, πράγμα που σημαίνει ότι ορισμένα από αυτά επιδείνωσαν παρά βελτίωσαν την ακρίβεια. Συγκεκριμένα, η μέγιστη ακρίβεια επιτεύχθηκε όταν χρησιμοποιήθηκαν τα 4 κανάλια του NDVI (εντροπία, ομοιογένεια, γωνιακή ροπή, ανομοιομορφία) και οι μέσες τιμές των C2 και C5 του MNF, ενώ η χαμηλότερη ακρίβεια εμφανίστηκε όταν χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι συνιστώσες H-α (Figure 5.7). Η χρήση των καναλιών της υψής συνεισέφερε κατά το μέγιστο στον διαχωρισμό των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ που σχετίζονται με τη βλάστηση και των κατηγοριών ΧΓ/ΚΓ του γυμνού εδάφους (άμμος, χώμα, τεχνητές επιφάνειες). Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την έντονη ανομοιογένεια που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Ενώ φασματικά οι τιμές τους είναι παρόμοιες, η υψή τους διαφοροποιείται με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μεγάλη ανομοιογένεια μεταξύ τους. Η χρήση της υψής για τον διαχωρισμό αυτών των κατηγοριών έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε αρκετές μελέτες στο παρελθόν (Zhang *et al.*, 2011; Zhang and Xie, 2013; Gao and Xu, 2014; Zhang, Zhang and Lin, 2014; Hong *et al.*, 2015; White *et al.*, 2015).

Τα δεδομένα του SAR συνεισέφεραν στην βελτίωση της ολικής ακρίβειας, όμως, η συνεισφορά τους δεν κρίνεται σημαντική. Οι συνιστώσες H-α που προήλθαν από την διπλή διάσπαση δεν συνεισέφεραν σημαντικά στην βελτίωση της ακρίβειας. Αυτό μπορεί να εξηγείται από τις κλιματικές συνθήκες της χρονικής στιγμής που καταγράφηκε η εικόνα και συγκεκριμένα η έντονη ξηρασία (Whyte, 2016). Στα δεδομένα SAR έχουν πολύ μεγάλο ρόλο οι καιρικές συνθήκες καθώς επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα της καταγραφής.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών της αγροτικής γης. Τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά καθώς με την γεωμετρική πληροφορία, σε συνδυασμό με την τοπογραφική, επιτεύχθηκε επιτυχώς ο διαχωρισμός της αγροτικής βλάστησης από την φυσική, κάτι που αποτελούσε μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της μελέτης. Παρατηρήθηκε ότι τα χαρακτηριστικά της αγροτικής βλάστησης είχαν υψηλές τιμές ορθογωνιότητας (rectangular fit), σε αντίθεση με εκείνα της υδρόβιας και δασικής βλάστησης. Αυτό εξηγείται εύκολα, καθώς οι καλλιεργούμενες εκτάσεις έχουν κατά το σύνηθες ορθογώνιο σχήμα, σε αντίθεση με την φυσική βλάστηση που παρουσιάζει πιο ακανόνιστα χαρακτηριστικά.

### 5.2.2 Support Vector Machines

Όπως προαναφέρθηκε, η σωστή επιλογή των παραμέτρων μπορεί να βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια του αλγορίθμου. Ο αλγόριθμος SVMs παρουσιάζει πολυπλοκότητα σχετικά με την επιλογή των παραμέτρων, με πιο σημαντική την συνάρτηση πυρήνα. Στην παρούσα μελέτη δεν επιχειρήθηκε η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών συναρτήσεων πυρήνα, αλλά επιλέχθηκε κατόπιν συστάσεων από άλλες έρευνες (Kavzoglu and Colkesen, 2009; Mountrakis, Im and Ogole, 2011; Petropoulos *et*

*al.*, 2011; Szuster, Chen and Borger, 2011; Erenner, 2012; Petropoulos *et al.*, 2012; Paneque-Gálvez *et al.*, 2013; Province *et al.*, 2013; Wang, 2014), η συνάρτηση RBF. Είναι σαφές ότι η περιοχή μελέτης και τα δεδομένα διαφέρουν σε κάθε μελέτη και η συνάρτηση RBF μπορεί να μην ήταν η καλύτερη επιλογή για την συγκεκριμένη μελέτη. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε προηγούμενες μελέτες χρήσεων γης/κάλυψης γης (Petropoulos *et al.*, 2012; Zhang and Xie, 2013; Sonobe *et al.*, 2014). Συγκεκριμένα, η μελέτη έδειξε ότι ο αλγόριθμος SVMs είχε πολύ καλή απόδοση για την χαρτογράφηση χρήσεων γης/κάλυψης γης, πράγμα που συμφωνεί με άλλες σχετικές μελέτες (Mountrakis *et al.*, 2011; Zhang and Xie, 2013; Sonobe *et al.*, 2014). Παρότι έχουν γίνει αρκετές συγκριτικές μελέτες μεταξύ του αλγορίθμου SVMs και άλλων αλγορίθμων μηχανικής εκμάθησης, στην παρούσα μελέτη δεν επιχειρήθηκε κάτι τέτοιο, καθώς ο κύριος στόχος ήταν να διερευνηθούν οι δυνατότητες των δεδομένων του Sentinel. Συνεπώς, ο αλγόριθμος SVMs επιλέχθηκε λόγω της καλής απόδοσης που έχει φανεί να έχει σε προβλήματα ταξινόμησης χρήσεων γης/κάλυψης γης (Otukey and Blaschke, 2010; Szuster *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2011; Province *et al.*, 2013; Barrett *et al.*, 2014; Abdikan *et al.*, 2016).

### 5.2.3 Χρήση κανόνων

Η χρήση των κανόνων πραγματοποιήθηκε στο τελευταίο στάδιο της μελέτης και είχε ως στόχο την δημιουργία ενός χάρτη ΧΓ/ΚΓ της περιοχής μελέτης. Για τον λόγο αυτό, δημιουργήθηκαν νέες κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ που να περιγράφουν την περιοχή μελέτης σε ετήσια βάση. Για τη δημιουργία του χάρτη χρησιμοποιήθηκαν τα βέλτιστα αποτελέσματα των προηγούμενων ταξινομήσεων σε συνδυασμό με πληροφορίες που αφορούν την περιοχή. Οι κανόνες που δημιουργούνται ονομάζονται «εμπειρικοί» ακριβώς επειδή υπόκεινται στην κρίση του χρήστη. Συνεπώς, μπορούμε να κατατάξουμε τους κανόνες σε πολλαπλά επίπεδα παρέμβασης του χρήστη. Σε άλλες μελέτες επιλέγονται οι κανόνες μόνο με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά ή τα χαρακτηριστικά της υψής ή τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ή συνδυασμούς πολλών χαρακτηριστικών (Manandhar, Odeh and Ancey, 2009; Barkhordari and Vardanian, 2012). Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένα αρκετά χαμηλό επίπεδο παρέμβασης, όπου χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα αποτελέσματα από τις προηγούμενες διαδικασίες σε συνδυασμό με τα αρχικά δεδομένα γιατί, όπως έχει αναφερθεί προωτέρω (§5.1.2, σελ. 58), ο κυρίαρχος στόχος της μελέτης ήταν να διερευνηθούν οι δυνατότητες που προσφέρονται από τα δεδομένα Sentinel και τα παράγωγά τους και όχι η σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων. Στο βαθμό παρέμβασης που επιλέχθηκε τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά, καθώς τόσο η ολική όσο και οι επιμέρους ακρίβειες κινήθηκαν σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Σε ένα υψηλότερο επίπεδο παρέμβασης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν βοηθητικά δεδομένα σχετικά με τις χρήσεις γης της περιοχής από το CORINE, από αεροφωτογραφίες ή ακόμα και από μετρήσεις πεδίου. Επίσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν *shapfiles* που έχει δημιουργήσει ο χρήστης και βασίζονται στην γνώση του σχετικά με την περιοχή μελέτης (*knowledge-based*). Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται όταν ο στόχος είναι η παραγωγή ενός χαρτογραφικού

προϊόντος χρήσεων γης/κάλυψης γης, όμως παρουσιάζει και αρκετά μειονεκτήματα. Το βασικότερο μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε άλλες περιοχές, καθώς οι κανόνες κτίζονται με βάση τη γνώση του χρήστη για την συγκεκριμένη περιοχή και δεν ανταποκρίνονται στις ανάγκες ενός άλλου περιβάλλοντος.

#### 5.2.4 Χαρτογράφηση υγροτόπων

Σύμφωνα με τον Φορέα Διαχείρισης των λιμνών Κορώνειας-Βόλβης, στάθμη της λίμνης Κορώνειας πέφτει συνεχώς από την δεκαετία του 70, εξαιτίας της σπατάλης και της μη ορθολογικής διαχείρισης των υδάτων. Η παρούσα μελέτη δείχνει την έντονη παρουσία γεωργικών και βιομηχανικών περιοχών γύρω από τη λίμνη και εντός της προστατευόμενης περιοχής του υγροβιότοπου. Η αύξηση της καλλιεργούμενης γης εις βάρος της φυσικής βλάστησης, η υπεράντληση ύδατος για την εξυπηρέτηση των αναγκών που προκύπτουν από τη γεωργία και την βιομηχανία, καθώς και η εναπόθεση των γεωργικών και βιομηχανικών αποβλήτων, θέτουν σε κίνδυνο την οικολογική ισορροπία ολόκληρης της λεκάνης της Μυγδονίας και του υδροφόρου ορίζοντα. Για τους παραπάνω λόγους, είναι πολύ σημαντική η λήψη άμεσων αποφάσεων για την προστασία και τη διαχείριση της περιοχής έτσι ώστε να αποτραπεί περαιτέρω υποβάθμιση.

Για την αποτελεσματική διαχείριση του υγροτοπικού περιβάλλοντος, είναι σημαντικό να υπάρχουν μακροπρόθεσμα δεδομένα τόσο σε περιφερειακό όσο και σε τοπικό επίπεδο. Η παρούσα μελέτη παρουσιάζει μία οικονομικά αποδοτική τεχνική για τον σκοπό αυτό, με τη χρήση ελεύθερων δεδομένων με καλή χωρική και χρονική ανάλυση. Η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί για την χαρτογράφηση της περιοχής με τη χρήση των μεθόδων που περιγράφηκαν είναι πολύ ικανοποιητική. Η μελέτη αποδεικνύει την σημαντικότητα των δεδομένων του Copernicus για την συνεχή συλλογή δεδομένων υψηλής ανάλυσης με σκοπό την παρακολούθηση και την προστασία των υγροτόπων.

#### 5.2.5 Εργαλεία

Είναι δεδομένο ότι η εξοικείωση με την Τηλεπισκόπηση απαιτεί μεγάλη ενασχόληση και αφιέρωση χρόνου, καθώς παρέχει στο μελετητή μία μεγάλη ποικιλία επιλογών και εργαλείων. Ειδικά για τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν υπάρχει μεγάλος όγκος βοηθητικών πληροφοριών, τόσο από τα βοηθητικά εγχειρίδια των ίδιων όσο και από τους σχετικούς χώρους συζήτησης στο διαδίκτυο.

Για τους σκοπούς της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τόσο ελεύθερα όσο και εμπορικά λογισμικά. Το ελεύθερο λογισμικό SNAP παρέχει πολλές δυνατότητες για την επεξεργασία των δεδομένων Sentinel αλλά υστερεί ακόμα στις επιλογές αλγορίθμων ταξινόμησης και στην παραμετροποίηση αυτών. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα εμπορικά λογισμικά ENVI 5.1 και ERDAS Imagine 2016. Το SNAP έχει πολύ καλή συμβατότητα και με τα δύο παραπάνω λογισμικά αλλά και με το ArcGIS 10.1 της ESRI, αντίθετα με το ENVI και το ERDAS που δεν έχουν καθόλου καλή συμβατότητα μεταξύ τους. Γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε σε πολλές περιπτώσεις, σαν γέφυρα για τη μεταξύ τους επικοινωνία, το ArcMap. Το λογισμικό ENVI φαίνεται να είναι πιο κατάλληλο για την



φασματική ανάλυση και ταξινόμηση καθώς προσφέρει περισσότερους αλγορίθμους, καλύτερες ρυθμίσεις στις παραμέτρους και μεγαλύτερη ποικιλομορφία. Σχετικά με την οπτική βελτίωση της εικόνας, το ERDAS προσφέρει μία πιο εξελιγμένη εργαλειοθήκη, με καλύτερη διεπαφή και περισσότερες επιλογές. Σε γενικές γραμμές, το ERDAS φάνηκε πιο αποτελεσματικό για την επεξεργασία της γεωμετρίας της εικόνας και την οπτική βελτίωση, ενώ το ENVI φάνηκε καταλληλότερο για την φασματική ανάλυση.

Η χρήση Τηλεπισκόπησης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορεί να διευκολύνουν σε μεγάλο βαθμό την ταξινόμηση των χρήσεων γης/κάλυψης γης, μειώνοντας τόσο το χρόνο, όσο και το κόστος τους και αυξάνοντας παράλληλα την ακρίβεια. Για το λόγο αυτό, τα υπάρχοντα λογισμικά εξελίσσονται συνεχώς και παρέχουν διαρκώς νέες δυνατότητες.

### 6.1 Συμπεράσματα

Οι υγροβιότοποι είναι πολύ σημαντικά οικοσυστήματα που απειλούνται άμεσα από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Το Εθνικό Πάρκο Λιμνών Κορώνειας – Βόλβης αποτελεί μία τέτοια περίπτωση απειλούμενου οικοσυστήματος. Οι αγροτικές και βιομηχανικές δραστηριότητες στην περιοχή, η μείωση των φυσικών υγροτοπικών εδαφών, οι σοβαρές ξηρασίες και η έλλειψη σχεδιασμού και αποφάσεων για την διαχείριση των φυσικών πόρων απειλούν τον υγροβιότοπο και οδηγούν στην υποβάθμισή του.

- Στην παρούσα μελέτη ένας από τους βασικούς στόχους ήταν η *διερεύνηση των δυνατοτήτων που προσφέρουν τα δεδομένα του Sentinel σε συνδυασμό με τον προηγμένο αλγόριθμο επιβλεπόμενης ταξινόμησης SVMs*. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι τα δεδομένα S2 είναι κατάλληλα από άποψη χωρικής, χρονικής και φασματικής ανάλυσης για τις ανάγκες της χαρτογράφησης υγροβιότοπων. Η ακρίβεια που επετεύχθη με την χρήση μόνο των καναλιών του S2 είναι 90.83%, ενώ ο συντελεστής kappa είναι 0.8940, πράγμα που σημαίνει τα αποτελέσματα βρίσκονται σε ισχυρή συμφωνία με την πραγματικότητα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης, η συνέργεια με τα δεδομένα του S1 συνέβαλε στην αύξηση της ακρίβειας κατά ένα μικρό ποσοστό (<1%).
- Ο επόμενος στόχος ήταν η *αξιολόγηση της προστιθέμενης αξίας παράγωγων προϊόντων που προέκυψαν από τις εικόνες του S1 και S2 στη συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης*. Η μελέτη επικεντρώθηκε στην εφαρμογή μεθόδων και στην αξιολόγηση της συνεισφοράς τους στην ακρίβεια της ταξινόμησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αξιοποίηση πληροφοριών όπως η τοπογραφία, η υψή, οι φασματικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν (NDVI, NDWI) και οι μετασχηματισμοί των δεδομένων (PCA, MNF) βοήθησαν στην βελτίωση της συνολικής ακρίβειας, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις η βελτίωση ήταν οριακή. Την πιο μεγάλη συνεισφορά στην βελτίωση της ακρίβειας είχε η χρήση της πληροφορίας που σχετίζεται με την υψή (~3%) ενώ την μικρότερη είχε η χρήση επιλεγμένων συνιστωσών από τις μετασχηματισμένες εικόνες (v2.2.3) (<0.5%).
- Ο τελευταίος στόχος ήταν η *σύνταξη κανόνων για την δημιουργία ενός χάρτη χρήσεων γης / κάλυψης γης της περιοχής*. Η μέθοδος αυτή μειονεκτεί σε σχέση με τη χρήση αυτοματοποιημένων αλγορίθμων καθώς απαιτεί γνώση για την περιοχή όπου εφαρμόζεται και οι κανόνες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άλλη περιοχή. Παρ' όλα αυτά, το τελικό προϊόν είχε υψηλή ακρίβεια (94.82%), πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να αποτελέσει έναν αξιόπιστο χάρτη ΧΓ/ΚΓ για την συγκεκριμένη περιοχή.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί μία από τις πρώτες μελέτες διερεύνησης σε βάθος των δεδομένων Sentinel και της συνεργιστικής τους χρήσης και είναι η πρώτη που εφαρμόζεται στην περιοχή των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης με αυτό το σκοπό. Η αποστολή των Sentinel μπορεί να προσφέρει στους ερευνητές και στους υπεύθυνους

λήψης αποφάσεων πληροφορίες όλο το εικοσιτετράωρο, με ικανοποιητική χωρική και χρονική ανάλυση και, το κυριότερο, εντελώς δωρεάν. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν πως οι εικόνες S1 και S2 προσφέρουν σημαντικό πλεονέκτημα στην χαρτογράφηση ενός σύνθετου οικοσυστήματος όπως ο υγροβιότοπος. Η περαιτέρω διερεύνηση των δυνατοτήτων των εν λόγω οργάνων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την χαρτογράφηση της χρήσης/κάλυψης γης.

Η μεγαλύτερη δυσκολία που παρουσιάστηκε στην παρούσα μελέτη ήταν έλλειψη συμβατότητας μεταξύ των λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν. Η χρήση διαφορετικών λογισμικών ήταν απαραίτητη για την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων και τεχνικών που δεν καλύπτονται από ένα μόνο λογισμικό. Για τον λόγο αυτό χρειάστηκε πολλές φορές να μεταφερθούν τα δεδομένα από το ένα λογισμικό στο άλλο, πράγμα που φάνηκε να παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία. Επίσης, η απόκτηση δεδομένων πεδίου για την αξιολόγηση της ακρίβειας ήταν αδύνατη, πράγμα που οδήγησε στην χρήση των εικόνων από το Google Earth για τον σκοπό αυτό.

## 6.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις

Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε μία εποχιακή προσέγγιση με τη χρήση εικόνων από δύο διαφορετικές εποχές μέσα στο ίδιο έτος. Τα αποτελέσματα φάνηκαν υποσχόμενα, πράγμα που σημαίνει πως σε μία πιθανή μελλοντική προσέγγιση θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν εικόνες από πολλές χρονικές στιγμές μέσα στο έτος έτσι ώστε να καλυφθεί ο φαινολογικός κύκλος των διάφορων τύπων βλάστησης αλλά και οι διαφοροποιήσεις στην στάθμη των λιμνών. Εκτός αυτού, σε αυτό το πλαίσιο θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί η χρήση διαχρονικών εικόνων και η προσφορά τους στην συνολική μακροπρόθεσμη μελέτη των απειλούμενων υγροτόπων. Ακόμα, θα ήταν χρήσιμο για την επιστημονική κοινότητα να διερευνηθεί σε μεγαλύτερο βάθος ο αλγόριθμος SVMs, καθώς και άλλοι αλγόριθμοι μηχανικής εκμάθησης (πχ Artificial Neural Networks, Random Forests κ.α.) σε συνδυασμό με την αντικειμενοστραφή προσέγγιση για να εξεταστούν οι παράμετροι των αλγορίθμων και οι στρατηγικές ταξινόμησης. Η διερεύνηση αυτή μπορεί να προσφέρει μία πιο συνολική εικόνα για τον τρόπο λειτουργίας των αλγορίθμων και να φανούν τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα του κάθε αλγορίθμου. Επίσης, θα είχε ενδιαφέρον η χρήση επιπλέον τοπογραφικής πληροφορίας από αεροφωτογραφίες ή δεδομένα από LiDAR που θα μπορούσαν να παρέχουν πληροφορίες βαθυμετρίας σχετικά με τις λίμνες. Τέλος, η πρόσφατη εκτόξευση του Sentinel 3 θα μπορούσε να παρέχει πολύτιμη πληροφορία σχετικά με την ποιότητα των υδάτων των λιμνών και με την υδρόβια βλάστηση εντός των λιμνών.

Συνολικά, οι υγροβιότοποι αποτελούν πολύ ιδιαίτερα οικοσυστήματα καθώς συνυπάρχουν γεωργικές και βιομηχανικές περιοχές, αστικές και ημι-αστικές, υδάτινες επιφάνειες και πολλά διαφορετικά είδη βλάστησης και φιλοξενούν σημαντικά είδη χλωρίδας και πανίδας. Επομένως, η χαρτογράφηση και η παρακολούθησή τους είναι μία δύσκολη και απαιτητική διαδικασία. Η παρούσα μελέτη προσφέρει μία βάση στην οποία μπορεί να στηριχθεί η λήψη αποφάσεων καθώς και περαιτέρω έρευνα. Εάν καταστεί

δυνατό να αναπτυχθούν πλήρως αυτοματοποιημένες τεχνικές ταξινόμησης χρήσεων γης/κάλυψης γης, τότε μπορεί να διατηρηθεί μακροπρόθεσμα η υγεία των υδροτοπικών οικοσυστημάτων που προσφέρουν ζωτικής σημασίας πόρους στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

- Abdikan, S., Sanli, F. B., Ustuner, M. and Calò, F. (2016) 'Land Cover Mapping Using Sentinel-1 Sar Data', *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B7-757-2016.
- Andermann, C. and Gloaguen, R. (2009) 'Estimation of erosion in tectonically active orogenies. Example from the Bhotekoshi catchment, Himalaya (Nepal)', *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 30(12), pp. 3075–3096. doi: 10.1080/01431160802558733.
- Arenas, M. and Pradenas, L. (2016) 'Implementation of an Automatic Satellite Image Georeferencing Adjustment Method', *IEEE Latin America Transactions*, 14(3), pp. 1427–1433. doi: 10.1109/TLA.2016.7459630.
- Argialas, D. P. (1999) *Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση*. Athens: Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Aslan, A., Rahman, A. F., Warren, M. W. and Robeson, S. M. (2016) 'Mapping spatial distribution and biomass of coastal wetland vegetation in Indonesian Papua by combining active and passive remotely sensed data', *Remote Sensing of Environment*, 183, pp. 65–81. doi: 10.1016/j.rse.2016.04.026.
- Atwood, D. K., Small, D. and Gens, R. (2012) 'Improving PolSAR land cover classification with radiometric correction of the coherency matrix', *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 5(3), pp. 848–856. doi: 10.1109/JSTARS.2012.2186791.
- Baker, C., Lawrence, R. L., Montagne, C. and Patten, D. (2007) 'Change detection of wetland ecosystems using Landsat imagery and change vector analysis', *Wetlands*. Springer Netherlands, 27(3), pp. 610–619. doi: 10.1672/0277-5212(2007)27[610:CDOWEU]2.0.CO;2.
- Banks, S. N., King, D. J., Merzouki, A. and Duffe, J. (2014) 'Characterizing Scattering Behaviour and Assessing Potential for Classification of Arctic Shore and Near-Shore Land Covers with Fine Quad-Pol RADARSAT-2 Data', *Canadian Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 40(4), pp. 291–314. doi: 10.1080/07038992.2014.979487.
- Baraldi, A. and Parmiggiani, F. (1995) 'Investigation of the textural characteristics associated with gray level cooccurrence matrix statistical parameters', *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2), pp. 293–304. doi: 10.1109/36.377929.
- Barkhordari, J. and Vardanian, T. (2012) 'Using Post-Classification Enhancement in Improving the Classification of Land Use/Cover of Arid Region (A Case Study in Pishkouh Watershed, Center of Iran)', *Journal of Rangeland Science*, 2(2), pp. 521–534.
- Barrett, B., Nitze, I., Green, S. and Cawkwell, F. (2014) 'Assessment of multi-temporal, multi-sensor radar and ancillary spatial data for grasslands monitoring in Ireland using machine learning approaches', *Remote Sensing of Environment*. Elsevier Inc., 152(529), pp. 109–124. doi: 10.1016/j.rse.2014.05.018.
- Bassa, Z., Bob, U., Szantoi, Z. and Ismail, R. (2016) 'Land cover and land use mapping of the iSimangaliso Wetland Park, South Africa: comparison of oblique and orthogonal random forest algorithms', *Journal of Applied Remote Sensing*. International Society for Optics and Photonics, 10(1), p. 15017. doi: 10.1117/1.JRS.10.015017.
- Boardman, J. W., Kruse, F. A. (1994) 'Automated spectral analysis: a geological example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, NevadaNo Title', in *ERIM Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor*, p. I-407-I-418.
- Boyd, D. S., Sanchez-Hernandez, C. and Foody, G. M. (2006) 'Mapping a specific class for priority habitats monitoring from satellite sensor data', *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 27(13), pp. 2631–2644. doi: 10.1080/01431160600554348.

Brisco, B., Short, N., Sanden, J. van der, Landry, R. and Raymond, D. (2009) 'A semi-automated tool for surface water mapping with RADARSAT-1', *Canadian Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 35(4), pp. 336–344. doi: 10.5589/m09-025.

Camps-Valls, G., Gomez-Chova, L., Calpe-Maravilla, J., Martin-Guerrero, J. D., Soria-Olivas, E., Alonso-Chorda, L. and Moreno, J. (2004) 'Robust support vector method for hyperspectral data classification and knowledge discovery', *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(7), pp. 1530–1542. doi: 10.1109/TGRS.2004.827262.

Chasmer, L., Hopkinson, C., Montgomery, J. and Petrone, R. (2016) 'A Physically Based Terrain Morphology and Vegetation Structural Classification for Wetlands of the Boreal Plains, Alberta, Canada', *Canadian Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 42(5), pp. 521–540. doi: 10.1080/07038992.2016.1196583.

Chatziantoniou, A., Korakitis, K., Papadopoulou, M. and Sidiropoulos, E. (2017) 'Χρήση GIS και υδρολογικών λογισμικών για τη μελέτη υδρολογικής λεκάνης απορροής. Εφαρμογή στην υδρολογική λεκάνη της Μυγδονίας.', in *2nd Conference of GIS and Spatial Analysis applied in Agriculture and Environment*. Athens, pp. 87–88.

Churyumov, A. N. and Kravtsov, Y. A. (2000) 'Microwave backscatter from mesoscale breaking waves on the sea surface', *Waves in Random Media*. Taylor & Francis, 10(1), pp. 1–15. doi: 10.1088/0959-7174/10/1/301.

Cloude, S. R. and Pottier, E. (1997) 'An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR', *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(1), pp. 68–78. doi: 10.1109/36.551935.

Coburn, C. A. and Roberts, A. C. B. (2004) 'A multiscale texture analysis procedure for improved forest stand classification', *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis Group, 25(20), pp. 4287–4308. doi: 10.1080/0143116042000192367.

Corcoran, J. M., Knight, J. F. and Gallant, A. L. (2013) 'Influence of multi-source and multi-temporal remotely sensed and ancillary data on the accuracy of random forest classification of wetlands in northern Minnesota', *Remote Sensing*, 5(7), pp. 3212–3238. doi: 10.3390/rs5073212.

Culbert, P. D., Pidgeon, A. M., St.-Louis, V., Bash, D. and Radeloff, V. C. (2009) 'The impact of phenological variation on texture measures of remotely sensed imagery', *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2(4), pp. 299–309. doi: 10.1109/JSTARS.2009.2021959.

D. Lu and Weng, Q. (2007) 'A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance International Journal of Remote Sensing', *International Journal of Remote Sensing*, 8(5), pp. 823–870. doi: 10.1080/01431160600746456.

Dash, J., Mathur, A., Foody, G. M., Curran, P. J., Chipman, J. W. and Lillesand, T. M. (2007) 'Land cover classification using multi-temporal MERIS vegetation indices', <http://dx.doi.org/10.1080/01431160600784259>. Taylor & Francis. doi: 10.1080/01431160600784259.

Dong, Z., Wang, Z., Liu, D., Song, K., Li, L., Jia, M. and Ding, Z. (2014) 'Mapping Wetland Areas Using Landsat-Derived NDVI and LSWI: A Case Study of West Songnen Plain, Northeast China', *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. Springer India, 42(3), pp. 569–576. doi: 10.1007/s12524-013-0357-1.

Doxani, G. (2011) *Integrated models for remotely sensed data analysis towards the detection and monitoring of urban land cover changes*. Aristotle University of Thessaloniki. doi: 10.12681/eadd/26979.

Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W. and Li, X. (2016) 'Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band', *Remote Sensing*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 8(4), p. 354. doi: 10.3390/rs8040354.

Dugan, P. (1993) 'Wetlands in danger: a world conservation atlas.' New York New York Oxford University

Press 1993. Available at: <http://www.ponline.org/node/340579> (Accessed: 29 March 2017).

El-Asmar, H. M. and Hereher, M. E. (2011) 'Change detection of the coastal zone east of the Nile Delta using remote sensing', *Environmental Earth Sciences*. Springer-Verlag, 62(4), pp. 769–777. doi: 10.1007/s12665-010-0564-9.

Elkhrachy, I. (2017) 'Vertical accuracy assessment for SRTM and ASTER Digital Elevation Models: A case study of Najran city, Saudi Arabia', *Ain Shams Engineering Journal*. doi: 10.1016/j.asej.2017.01.007.

Erener, A. (2012) 'Classification method, spectral diversity, band combination and accuracy assessment evaluation for urban feature detection', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Elsevier B.V., 21(1), pp. 397–408. doi: 10.1016/j.jag.2011.12.008.

Foody, G. M. (2004) 'Thematic map comparison: evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy'. Available at: <https://eprints.soton.ac.uk/15439/> (Accessed: 5 April 2017).

Furtado, L. F. de A., Silva, T. S. F. and Novo, E. M. L. de M. (2016) 'Dual-season and full-polarimetric C band SAR assessment for vegetation mapping in the Amazon várzea wetlands', *Remote Sensing of Environment*, 174, pp. 212–222. doi: 10.1016/j.rse.2015.12.013.

Gan, T. Y., Zunic, F., Kuo, C. C. and Strobl, T. (2012) 'Flood mapping of danube river at romania using single and multi-date ERS2-SAR images', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Elsevier B.V., 18(1), pp. 69–81. doi: 10.1016/j.jag.2012.01.012.

Gao, J. and Xu, L. (2014) 'An efficient method to solve the classification problem for remote sensing image', *AEU - International Journal of Electronics and Communications*. Elsevier GmbH., 69(1), pp. 198–205. doi: 10.1016/j.aeue.2014.09.001.

Gómez, C., White, J. C. and Wulder, M. A. (2016) 'Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116, pp. 55–72. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008.

Gong, P., Wang, J., Yu, L., Zhao, Y., Zhao, Y., Liang, L., Niu, Z., Huang, X., Fu, H., Liu, S., Li, C., Li, X., Fu, W., Liu, C., Xu, Y., Wang, X., Cheng, Q., Hu, L., Yao, W., Zhang, H., Zhu, P., Zhao, Z., Zhang, H., Zheng, Y., Ji, L., Zhang, Y., Chen, H., Yan, A., Guo, J., Yu, L., Wang, L., Liu, X., Shi, T., Zhu, M., Chen, Y., Yang, G., Tang, P., Xu, B., Giri, C., Clinton, N., Zhu, Z., Chen, J. and Chen, J. (2013) 'Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data', *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 34(7), pp. 2607–2654. doi: 10.1080/01431161.2012.748992.

Gualtieri, J. A. and Cromp, R. F. (1998) 'Support Vector Machines for Hyperspectral Remote Sensing Classification'. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19990021532.pdf> (Accessed: 29 March 2017).

Haralick, R. M. (1979) 'Statistical and structural approaches to texture', *Proceedings of the IEEE*, 67(5), pp. 786–804. doi: 10.1109/PROC.1979.11328.

Haralick, R. M., Shanmugam, K. and Dinstein, I. (1973) 'Textural Features for Image Classification', *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-3(6), pp. 610–621. doi: 10.1109/TSMC.1973.4309314.

Hess, L. L., Melack, J. M. and Simonett, D. S. (1990) 'Radar detection of flooding beneath the forest canopy: a review', *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis Group, 11(7), pp. 1313–1325. doi: 10.1080/01431169008955095.

Hong, S.-H., Kim, H.-O., Wdowinski, S. and Feliciano, E. (2015) 'Evaluation of Polarimetric SAR Decomposition for Classifying Wetland Vegetation Types', *Remote Sensing*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 7(7), pp. 8563–8585. doi: 10.3390/rs70708563.

Howley, T., Madden, M. G., O'Connell, M. L. and Ryder, A. G. (2006) 'The effect of principal component analysis on machine learning accuracy with high-dimensional spectral data', *Knowledge-Based Systems*, 19,

pp. 363–370. Available at: [http://internal-pdf//The effect of principal component analysis on machine learning ac-3969260575/The effect of principal component analysis on machine learning accuracy with high-dimensional spectral data.pdf](http://internal-pdf//The%20effect%20of%20principal%20component%20analysis%20on%20machine%20learning%20accuracy%20with%20high-dimensional%20spectral%20data.pdf).

Hu, S., Niu, Z., Chen, Y., Li, L. and Zhang, H. (2017) 'Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status', *Science of The Total Environment*. Elsevier B.V., 586, pp. 319–327. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.001.

Huang, H., Gong, P., Clinton, N. and Hui, F. (2008) 'Reduction of atmospheric and topographic effect on Landsat TM data for forest classification', *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 29(19), pp. 5623–5642. doi: 10.1080/01431160802082148.

Inglada, J. (2007) 'Automatic recognition of man-made objects in high resolution optical remote sensing images by SVM classification of geometric image features', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(3), pp. 236–248. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2007.05.011.

Ji, L., Zhang, L. and Wylie, B. (2009) 'Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index', *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 75(11), pp. 1307–1317. Available at: [http://info.asprs.org/publications/pers/2009journal/november/2009\\_nov\\_1307-1317.pdf](http://info.asprs.org/publications/pers/2009journal/november/2009_nov_1307-1317.pdf) (Accessed: 3 April 2017).

Jin, X. (2012) 'Segmentation-based image processing system'. Available at: <https://www.google.com/patents/US8260048> (Accessed: 27 April 2017).

Karimi, Y., Prasher, S. O., Patel, R. M. and Kim, S. H. (2006) 'Application of support vector machine technology for weed and nitrogen stress detection in corn', *Computers and Electronics in Agriculture*, 51(1), pp. 99–109. doi: 10.1016/j.compag.2005.12.001.

Kavzoglu, T. and Colkesen, I. (2009) 'A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5), pp. 352–359. doi: 10.1016/j.jag.2009.06.002.

Kayitakire, F., Hamel, C. and Defourny, P. (2006) 'Retrieving forest structure variables based on image texture analysis and IKONOS-2 imagery', *Remote Sensing of Environment*, 102(3), pp. 390–401. doi: 10.1016/j.rse.2006.02.022.

Kennedy, R. E., Townsend, P. A., Gross, J. E., Cohen, W. B., Bolstad, P., Wang, Y. Q. and Adams, P. (2009) 'Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects', *Remote Sensing of Environment*, 113(7), pp. 1382–1396. doi: 10.1016/j.rse.2008.07.018.

Keramitsoglou, I., Sarimveis, H., Kiranoudis, C. T., Kontoes, C., Sifakis, N. and Fitoka, E. (2006) 'The performance of pixel window algorithms in the classification of habitats using VHSR imagery', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 60(4), pp. 225–238. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2006.01.002.

Knorn, J., Rabe, A., Radeloff, V. C., Kuemmerle, T., Kozak, J. and Hostert, P. (2009) 'Land cover mapping of large areas using chain classification of neighboring Landsat satellite images', *Remote Sensing of Environment*, 113(5), pp. 957–964. doi: 10.1016/j.rse.2009.01.010.

Lardeux, C., Frison, P.-L., Tison, C., Souyris, J.-C., Stoll, B., Fruneau, B. and Rudant, J.-P. (2009) 'Support Vector Machine for Multifrequency SAR Polarimetric Data Classification', *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(12), pp. 4143–4152. doi: 10.1109/TGRS.2009.2023908.

Lee, J.-S. (1981) 'Refined filtering of image noise using local statistics', *Computer Graphics and Image Processing*, 15(4), pp. 380–389. doi: 10.1016/S0146-664X(81)80018-4.

Leinenkugel, P., Esch, T. and Kuenzer, C. (2011) 'Settlement detection and impervious surface estimation in the Mekong Delta using optical and SAR remote sensing data', *Remote Sensing of Environment*. Elsevier Inc., 115(12), pp. 3007–3019. doi: 10.1016/j.rse.2011.06.004.



- Li, H., Gu, H., Han, Y. and Yang, J. (2010) 'Object-oriented classification of high-resolution remote sensing imagery based on an improved colour structure code and a support vector machine', *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 31(6), pp. 1453–1470. doi: 10.1080/01431160903475266.
- Li, N., Frei, M. and Altermann, W. (2011) 'Textural and knowledge-based lithological classification of remote sensing data in Southwestern Prieska sub-basin, Transvaal Supergroup, South Africa', *Journal of African Earth Sciences*, 60(4), pp. 237–246. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2011.03.002.
- Liu, D. and Xia, F. (2010) 'Assessing object-based classification: advantages and limitations', *Remote Sensing Letters*, 1(4), pp. 187–194. doi: 10.1080/01431161003743173.
- Manandhar, R., Odeh, I. O. a. and Ancev, T. (2009) 'Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data Using Post-Classification Enhancement', *Remote Sensing*, 1(3), pp. 330–344. doi: 10.3390/rs1030330.
- Marechal, C., Pottier, E., Hubert-Moy, L. and Rapinel, S. (2012) 'One year wetland survey investigations from quad-pol RADARSAT-2 time-series SAR images', *Canadian Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 38(3), pp. 240–252. doi: 10.5589/m12-017.
- Max Finlayson, C. (2012) 'Forty years of wetland conservation and wise use', *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. John Wiley & Sons, Ltd, 22(2), pp. 139–143. doi: 10.1002/aqc.2233.
- Maxwell, A. E., Warner, T. A. and Strager, M. P. (2016) 'Predicting Palustrine Wetland Probability Using Random Forest Machine Learning and Digital Elevation Data-Derived Terrain Variables', *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 82(6), pp. 437–447. doi: 10.1016/S0099-1112(16)82038-8.
- McFeeters, S. K. (1996) 'The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features', *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis Group, 17(7), pp. 1425–1432. doi: 10.1080/01431169608948714.
- Melgani, F. and Bruzzone, L. (2004) 'Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines', *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(8), pp. 1778–1790. doi: 10.1109/TGRS.2004.831865.
- Mercier, J. L., Mouyaris, N., Simeakis, C., Roundoyannis, T. and Angelidhis, C. (1979) 'Intra-plate deformation: a quantitative study of the faults activated by the 1978 Thessaloniki earthquakes', *Nature*. Nature Publishing Group, 278(5699), pp. 45–48. doi: 10.1038/278045a0.
- Mitra, S., Wassmann, R. and Vlek, P. L. G. (2003) 'Global inventory of wetlands and their role in the carbon cycle', *ZEF Discussion Paper on Development Policy, Bonn*, (64), p. 57.
- Moreno, J., Johannessen, J. A., Levelt, P. F. and Hanssen, R. F. (2012) 'ESA's sentinel missions in support of Earth system science', *Remote Sensing of Environment*, 120, pp. 84–90. doi: 10.1016/j.rse.2011.07.023.
- Mountrakis, G., Im, J. and Ogole, C. (2011) 'Support vector machines in remote sensing: A review', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Elsevier B.V., 66(3), pp. 247–259. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001.
- Murayama, Y. (2012) *Progress in geospatial analysis*. Springer.
- Muro, J., Canty, M., Conradsen, K., Hüttich, C., Nielsen, A., Skriver, H., Remy, F., Strauch, A., Thonfeld, F. and Menz, G. (2016) 'Short-Term Change Detection in Wetlands Using Sentinel-1 Time Series', *Remote Sensing*, 8(10), p. 795. doi: 10.3390/rs8100795.
- Otukei, J. R. and Blaschke, T. (2010) 'Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(SUPPL. 1), pp. 27–31. doi: 10.1016/j.jag.2009.11.002.
- Ouma, Y. O. and Tateishi, R. (2006) 'A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: an empirical analysis using Landsat TM and ETM+ data', *International Journal of Remote*

*Sensing*. Taylor & Francis , 27(15), pp. 3153–3181. doi: 10.1080/01431160500309934.

Ozesmi, S. L. and Bauer, M. E. (2002) 'Satellite remote sensing of wetlands', *Wetlands Ecology and Management*. Springer Netherlands, 10(5), pp. 381–402. doi: 10.1023/A:1020908432489.

Paneque-Gálvez, J., Mas, J. F., Moré, G., Cristóbal, J., Orta-Martínez, M., Luz, A. C., Guèze, M., Macía, M. J. and Reyes-García, V. (2013) 'Enhanced land use/cover classification of heterogeneous tropical landscapes using support vector machines and textural homogeneity', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Elsevier B.V., 23(1), pp. 372–383. doi: 10.1016/j.jag.2012.10.007.

Pelletier, C., Valero, S., Inglada, J., Champion, N. and Dedieu, G. (2016) 'Assessing the robustness of Random Forests to map land cover with high resolution satellite image time series over large areas', *Remote Sensing of Environment*, 187, pp. 156–168. doi: 10.1016/j.rse.2016.10.010.

Perivolioti, T., Mouratidis, A., Doxani, G. and Bobori, D. (2016) 'Monitoring the Water Quality of Lake Koronia Using Long Time- Series of Multispectral Satellite Images', 54124(August), pp. 9–13.

Petropoulos, G. P., Kalaitzidis, C. and Prasad Vadrevu, K. (2012) 'Support vector machines and object-based classification for obtaining land-use/cover cartography from Hyperion hyperspectral imagery', *Computers & Geosciences*, 41, pp. 99–107. doi: 10.1016/j.cageo.2011.08.019.

Petropoulos, G. P., Kontoes, C. C. and Keramitsoglou, I. (2012) 'Land cover mapping with emphasis to burnt area delineation using co-orbital ALI and Landsat TM imagery', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, pp. 344–355. doi: 10.1016/j.jag.2012.02.004.

Petropoulos, G. P., Kontoes, C. and Keramitsoglou, I. (2011) 'Burnt area delineation from a uni-temporal perspective based on Landsat TM imagery classification using Support Vector Machines', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(1), pp. 70–80. doi: 10.1016/j.jag.2010.06.008.

Province, J., Lin, Y., Shen, M., Liu, B. and Ye, Q. (2013) 'Remote Sensing Classification Method of Wetland', XL(August), pp. 20–22.

Psilovikos, A. (1977) *Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας*. Aristotle University of Thessaloniki.

Puissant, A., Hirsch, J. and Weber, C. (2005) 'The utility of texture analysis to improve per-pixel classification for high to very high spatial resolution imagery', *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis Group , 26(4), pp. 733–745. doi: 10.1080/01431160512331316838.

Qiu, L., Du, Z., Zhu, Q. and Fan, Y. (2017) 'An integrated flood management system based on linking environmental models and disaster-related data', *Environmental Modelling & Software*. Elsevier Ltd, 91, pp. 111–126. doi: 10.1016/j.envsoft.2017.01.025.

Ramsar Convention Secretariat (2016) 'An Introduction to the Convention on Wetlands (previously The Ramsar Convention Manual).', pp. 15–18.

Robson, B. A., Nuth, C., Dahl, S. O., Hölbling, D., Strozzi, T. and Nielsen, P. R. (2015) 'Automated classification of debris-covered glaciers combining optical, SAR and topographic data in an object-based environment', *Remote Sensing of Environment*, 170, pp. 372–387. doi: 10.1016/j.rse.2015.10.001.

Roerdink, J. B. T. M. and Meijster, A. (2001) 'The Watershed Transform: Definitions, Algorithms and Parallelization Strategies', *Fundamenta Informaticae*. IOS Press, 41, pp. 187–228. Available at: <http://www.cs.rug.nl/~roe/publications/parwshed.pdf> (Accessed: 27 April 2017).

Rogan, J., Franklin, J., Stow, D., Miller, J., Woodcock, C. and Roberts, D. (2008) 'Mapping land-cover modifications over large areas: A comparison of machine learning algorithms', *Remote Sensing of Environment*, 112(5), pp. 2272–2283. doi: 10.1016/j.rse.2007.10.004.

Rouse, W. J., Haas, R. H., Schell, J. A. and Deering, D. W. (1973) 'Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS', in Stanley C. Freden, Enrico P. Mercanti, and Margaret A. Becker (eds) *Third Earth*

*Resources Technology Satellite-1 Symposium*. Washington D.C., pp. 309–317. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022614.pdf> (Accessed: 26 April 2017).

Russi, D., Ten Brink, P., Farmer, A. and Badura, T. (2016) 'The economics of ecosystems and biodiversity for Water and Wetlands'. Available at: [www.ieep.eu](http://www.ieep.eu).

Schlaffer, S., Matgen, P., Hollaus, M. and Wagner, W. (2015) 'Flood detection from multi-temporal SAR data using harmonic analysis and change detection', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Elsevier B.V., 38, pp. 15–24. doi: 10.1016/j.jag.2014.12.001.

Serran, J. N. and Creed, I. F. (2016) 'New mapping techniques to estimate the preferential loss of small wetlands on prairie landscapes', *Hydrological Processes*, 30(3), pp. 396–409. doi: 10.1002/hyp.10582.

Shang, X. and Chisholm, L. A. (2014) 'Classification of Australian Native Forest Species Using Hyperspectral Remote Sensing and Machine-Learning Classification Algorithms', *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(6), pp. 2481–2489. doi: 10.1109/JSTARS.2013.2282166.

Shao, P., Yang, G., Niu, X., Zhang, X., Zhan, F. and Tang, T. (2014) 'Information Extraction of High-Resolution Remotely Sensed Image Based on Multiresolution Segmentation', *Sustainability*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 6(8), pp. 5300–5310. doi: 10.3390/su6085300.

Siachalou, S., Doxani, G. and Tsakiri-strati, M. (2014) 'Time-series Analysis of High Temporal Remote Sensing Data to Model Wetland Dynamics : a Hidden Markov Model Approach', *Sentinel-2 for Science Workshop - ESA-ESRIN Frascati, Italy, 20th-22nd May 2014*, (November 2016).

Smith, B. and Sandwell, D. (1467) 'Accuracy and resolution of shuttle radar topography mission data', *Res. Lett*, 30(910). doi: 10.1029/2002GL016643.

Song, M. and Civco, D. (2004) 'Road extraction using SVM and image segmentation', *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(12), pp. 1365–1371. doi: 10.14358/PERS.70.12.1365.

Sonobe, R., Tani, H., Wang, X., Kobayashi, N. and Shimamura, H. (2014) 'Parameter tuning in the support vector machine and random forest and their performances in cross- and same-year crop classification using TerraSAR-X', *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 35(23), pp. 7898–7909. doi: 10.1080/01431161.2014.978038.

Szuster, B. W., Chen, Q. and Borger, M. (2011) 'A comparison of classification techniques to support land cover and land use analysis in tropical coastal zones', *Applied Geography*. Elsevier Ltd, 31(2), pp. 525–532. doi: 10.1016/j.apgeog.2010.11.007.

Topouzelis, K. (2007) 'Συμβολή στη διερεύνηση των δυνατοτήτων των απεικονίσεων ραντάρ συνθετικού ανοίγματος στην αναγνώριση και εντοπισμό πετρελαιοκηλίδων στη επιφάνεια της θάλασσας'. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Τομέας Τοπογραφίας. Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης. Available at: <https://phdtheses.ekt.gr/eadd/handle/10442/16953> (Accessed: 31 March 2017).

Töyrä, J., Pietroniro, A., Martz, L. W. and Prowse, T. D. (2002) 'A multi-sensor approach to wetland flood monitoring', *Hydrological Processes*. John Wiley & Sons, Ltd., 16(8), pp. 1569–1581. doi: 10.1002/hyp.1021.

Tsakiri-strati, M. (2010) 'Τ η λ ε π ι σ κ ο π η σ η', *Πανεπιστημιακές Παραδόσεις*.

Tzimopoulos, C. D., Gkinidi, P. D. and Pliatsika, D. K. (2005) 'Έρευνα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Υδρολογικής Λεκάνης Κορώνειας', in *5ο Εθνικό Συνέδριο ΕΕΔΥΠ, Ολοκληρωμένη Διαχείριση υδατικών πόρων με βάση τη λεκάνη Απορροής*, pp. 21–27. Available at: <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=7140> (Accessed: 10 May 2017).

Tzimopoulos, C. D. and Pliatsika, D. K. (2005) 'Water Management of Koroneia Lake Watershed', in *Heleco 05 TEE*. Available at: [http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045\\_tzimopoulos.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_tzimopoulos.pdf) (Accessed: 10 May 2017).

Vaglio Laurin, G., Puletti, N., Hawthorne, W., Liesenberg, V., Corona, P., Papale, D., Chen, Q. and Valentini,

- R. (2016) 'Discrimination of tropical forest types, dominant species, and mapping of functional guilds by hyperspectral and simulated multispectral Sentinel-2 data', *Remote Sensing of Environment*, 176, pp. 163–176. doi: 10.1016/j.rse.2016.01.017.
- Vapnik, V. N. (2000) *The nature of statistical learning theory*. Springer.
- Wang, C. (2014) 'Optimization of SVM Method with RBF Kernel', *Applied Mechanics and Materials*. Trans Tech Publications, 496–500, pp. 2306–2310. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.496-500.2306.
- Wang, P., Ma, Q., Wang, J., Hong, W., Li, Y. and Chen, Z. (2013) 'AN IMPROVED SAR RADIOMETRIC TERRAIN CORRECTION METHOD AND ITS APPLICATION IN POLARIMETRIC SAR TERRAIN EFFECT REDUCTION', *Progress In Electromagnetics Research B*. EMW Publishing, 54, pp. 107–128. doi: 10.2528/PIERB13052021.
- Waske, B., Benediktsson, J. A., Árnason, K. and Sveinsson, J. R. (2009) 'Mapping of hyperspectral AVIRIS data using machine-learning algorithms', *Canadian Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis, 35(sup1), pp. S106–S116. doi: 10.5589/m09-018.
- White, L., Brisco, B., Daboor, M., Schmitt, A. and Pratt, A. (2015) 'A Collection of SAR Methodologies for Monitoring Wetlands', *Remote Sensing*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 7(6), pp. 7615–7645. doi: 10.3390/rs70607615.
- Whyte, A. G. (2016) *A synergistic approach to monitoring wetlands using Sentinel-1 and Sentinel-2 with object-based machine learning algorithms*. Aberystwyth University.
- Wright, C. and Gallant, A. (2007) 'Improved wetland remote sensing in Yellowstone National Park using classification trees to combine TM imagery and ancillary environmental data', *Remote Sensing of Environment*, 107(4), pp. 582–605. doi: 10.1016/j.rse.2006.10.019.
- Zhang, C. and Xie, Z. (2013) 'Object-based Vegetation Mapping in the Kissimmee River Watershed Using HyMap Data and Machine Learning Techniques', *Wetlands*. Springer Netherlands, 33(2), pp. 233–244. doi: 10.1007/s13157-012-0373-x.
- Zhang, C., Zang, S., Liu, L., Sun, Y. and Li, H. (2011) 'The application of Support Vector Machine on Zhalong Wetland Remote Sensing Classification Research', 2(Figure 1), pp. 255–260.
- Zhang, H., Lin, H., Li, Y., Zhang, Y. and Fang, C. (2016) 'Mapping urban impervious surface with dual-polarimetric SAR data: An improved method', *Landscape and Urban Planning*, 151, pp. 55–63. doi: 10.1016/j.landurbplan.2016.03.009.
- Zhang, H., Zhang, Y. and Lin, H. (2012) 'A comparison study of impervious surfaces estimation using optical and SAR remote sensing images', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Elsevier B.V., 18(1), pp. 148–156. doi: 10.1016/j.jag.2011.12.015.
- Zhang, R. and Zhu, D. (2011) 'Study of land cover classification based on knowledge rules using high-resolution remote sensing images', *Expert Systems with Applications*. Elsevier Ltd, 38(4), pp. 3647–3652. doi: 10.1016/j.eswa.2010.09.019.
- Zhang, Y., Zhang, H. and Lin, H. (2014) 'Improving the impervious surface estimation with combined use of optical and SAR remote sensing images', *Remote Sensing of Environment*. Elsevier Inc., 141, pp. 155–167. doi: 10.1016/j.rse.2013.10.028.
- Zhu, G. and Blumberg, D. G. (2002) 'Classification using ASTER data and SVM algorithms:: The case study of Beer Sheva, Israel', *Remote Sensing of Environment*, 80(2), pp. 233–240. doi: 10.1016/S0034-4257(01)00305-4.

Table 0.1: Αναλυτικές ακρίβειες χρήση και αναλυτή (User's Accuracy, Producer's Accuracy) για όλες τις κατηγορίες ΧΓ/ΚΓ σε όλα τα σενάρια που εφαρμόστηκαν

		PA (%)	UA (%)			PA (%)	UA (%)
v2.0	marshes	95.83	61.17	v2.4.1	marshes	92.50	63.79
	swamps	78.00	82.54		swamps	81.00	74.31
	forest	99.64	99.46		forest	99.27	100.00
	shrubs	97.65	75.11		shrubs	97.06	91.16
	crops	69.67	84.27		crops	70.00	87.14
	sand	100.00	86.96		sand	99.50	83.97
	soil	93.33	94.28		soil	91.67	95.82
	urban	77.30	98.62		urban	89.73	97.94
	water	99.12	99.82		water	97.54	99.82
v2.1.1		PA (%)	UA (%)	v2.4.2		PA (%)	UA (%)
	marshes	92.50	44.58		marshes	95.00	64.77
	swamps	44.50	49.44		swamps	81.00	79.80
	forest	99.64	99.28		forest	99.45	100.00
	shrubs	97.06	77.46		shrubs	98.82	88.42
	crops	37.67	57.07		crops	73.33	87.30
	sand	93.00	89.42		sand	100.00	85.47
	soil	97.67	68.14		soil	94.67	98.61
	urban	45.68	90.86		urban	88.38	98.79
water	98.95	100.00	water	97.89	99.82		
v2.1.2		PA (%)	UA (%)	v2.4.3		PA (%)	UA (%)
	marshes	95.83	57.21		marshes	95.83	60.85
	swamps	72.00	81.82		swamps	78.50	82.20
	forest	99.64	99.82		forest	99.45	99.82
	shrubs	99.41	86.22		shrubs	98.82	86.60
	crops	70.33	85.77		crops	71.67	85.66
	sand	93.00	74.40		sand	100.00	88.89
	soil	91.67	87.30		soil	94.67	98.95
	urban	67.84	89.01		urban	90.27	99.40
water	98.95	99.82	water	97.89	99.82		
v2.1.3		PA (%)	UA (%)	v2.4.4		PA (%)	UA (%)
	marshes	95.83	56.65		marshes	93.33	61.20
	swamps	70.50	81.03		swamps	77.50	82.45
	forest	99.64	99.82		forest	99.45	99.82
	shrubs	99.41	85.35		shrubs	98.82	80.77
	crops	70.00	84.34		crops	71.67	85.66
	sand	94.50	86.30		sand	100.00	86.96
	soil	91.00	88.93		soil	94.00	96.91
	urban	77.57	90.82		urban	84.32	100.00
water	98.95	99.82	water	99.30	99.47		

v2.2.1		PA (%)	UA (%)	v2.4.5		PA (%)	UA (%)
	marshes	95.00	62.64		marshes	93.33	61.20
	swamps	78.50	83.96		swamps	77.50	82.45
	forest	99.64	99.82		forest	99.45	99.82
	shrubs	98.82	81.55		shrubs	98.82	80.00
	crops	72.00	85.38		crops	71.67	85.66
	sand	100.00	88.11		sand	100.00	86.21
	soil	92.67	93.92		soil	92.67	93.92
	urban	81.62	97.11		urban	80.81	98.68
water	99.30	99.47	water	99.30	99.47		
v2.2.2		PA (%)	UA (%)	v2.4.6		PA (%)	UA (%)
	marshes	95.00	60.32		marshes	95.00	64.77
	swamps	75.00	81.97		swamps	80.50	79.70
	forest	99.64	99.82		forest	99.45	100.00
	shrubs	98.82	83.17		shrubs	98.82	87.05
	crops	70.33	84.06		crops	73.67	87.35
	sand	100.00	86.21		sand	100.00	88.50
	soil	93.00	94.58		soil	94.67	98.27
	urban	82.97	98.71		urban	89.19	98.51
water	99.12	99.47	water	97.89	99.82		
v2.2.3		PA (%)	UA (%)	v2.4.7		PA (%)	UA (%)
	marshes	95.00	60.64		marshes	95.83	66.86
	swamps	77.50	85.16		swamps	83.50	82.27
	forest	99.45	99.82		forest	99.64	100.00
	shrubs	98.82	73.36		shrubs	98.82	90.32
	crops	71.33	84.58		crops	74.33	88.14
	sand	100.00	88.89		sand	100.00	89.69
	soil	93.33	94.28		soil	96.33	98.63
	urban	76.49	97.25		urban	91.62	99.41
water	99.12	99.65	water	98.25	99.82		
v2.2.4		PA (%)	UA (%)	v2.4.8		PA (%)	UA (%)
	marshes	96.67	53.70		marshes	94.17	64.57
	swamps	56.50	65.70		swamps	80.00	78.05
	forest	99.45	99.27		forest	99.64	100.00
	shrubs	97.65	76.15		shrubs	94.12	89.89
	crops	54.00	68.07		crops	74.33	88.49
	sand	100.00	93.46		sand	99.50	85.41
	soil	97.67	93.02		soil	91.67	91.67
	urban	78.65	100.00		urban	87.03	97.28
water	99.12	100.00	water	97.72	99.82		
v2.3.1		PA (%)	UA (%)	v2.5.1		PA (%)	UA (%)
	marshes	95.00	62.98		marshes	93.33	65.88
	swamps	78.50	83.96		swamps	84.00	80.77
	forest	99.64	99.82		forest	99.82	100.00
				shrubs	98.82	87.50	

	<b>crops</b>	72.33	85.43		<b>crops</b>	73.67	87.70
	<b>sand</b>	100.00	87.72		<b>sand</b>	100.00	91.32
	<b>soil</b>	92.33	93.58		<b>soil</b>	95.67	98.63
	<b>urban</b>	80.81	97.08		<b>urban</b>	90.00	97.94
	<b>water</b>	99.30	99.47		<b>water</b>	97.89	99.82
<b>v2.3.2</b>		<b>PA (%)</b>	<b>UA (%)</b>	<b>v2.5.2</b>		<b>PA (%)</b>	<b>UA (%)</b>
	<b>marshes</b>	95.00	62.64		<b>marshes</b>	96.67	64.80
	<b>swamps</b>	78.50	83.96		<b>swamps</b>	84.50	85.35
	<b>forest</b>	99.64	99.82		<b>forest</b>	98.73	100.00
	<b>shrubs</b>	98.82	80.77		<b>shrubs</b>	97.65	88.77
	<b>crops</b>	72.00	85.38		<b>crops</b>	74.67	88.54
	<b>sand</b>	100.00	87.72		<b>sand</b>	100.00	92.17
	<b>soil</b>	92.33	93.90		<b>soil</b>	95.67	97.95
	<b>urban</b>	81.08	97.09		<b>urban</b>	93.24	98.29
	<b>water</b>	99.30	99.47		<b>water</b>	97.89	99.82
<b>v2.3.3</b>		<b>PA (%)</b>	<b>UA (%)</b>	<b>v2.5.3</b>		<b>PA (%)</b>	<b>UA (%)</b>
	<b>marshes</b>	95.00	62.64		<b>marshes</b>	96.67	68.24
	<b>swamps</b>	78.50	83.96		<b>swamps</b>	82.50	80.88
	<b>forest</b>	99.64	99.82		<b>forest</b>	98.73	100.00
	<b>shrubs</b>	98.82	81.16		<b>shrubs</b>	98.24	89.78
	<b>crops</b>	72.00	85.38		<b>crops</b>	73.67	87.01
	<b>sand</b>	100.00	87.72		<b>sand</b>	100.00	90.91
	<b>soil</b>	92.33	93.90		<b>soil</b>	96.33	98.30
	<b>urban</b>	81.35	97.10		<b>urban</b>	93.51	99.43
	<b>water</b>	99.30	99.47		<b>water</b>	98.25	99.82
<b>v2.3.4</b>		<b>PA (%)</b>	<b>UA (%)</b>	<b>v2.5.4</b>		<b>PA (%)</b>	<b>UA (%)</b>
	<b>marshes</b>	95.00	60.32		<b>marshes</b>	94.17	65.70
	<b>swamps</b>	75.00	81.97		<b>swamps</b>	86.00	82.30
	<b>forest</b>	99.64	99.82		<b>forest</b>	99.82	100.00
	<b>shrubs</b>	99.41	82.84		<b>shrubs</b>	98.82	87.50
	<b>crops</b>	70.33	84.06		<b>crops</b>	73.67	89.11
	<b>sand</b>	100.00	86.21		<b>sand</b>	100.00	90.91
	<b>soil</b>	93.00	94.90		<b>soil</b>	95.33	98.62
	<b>urban</b>	82.70	98.71		<b>urban</b>	90.00	97.94
	<b>water</b>	99.12	99.47		<b>water</b>	98.07	99.82

Figure 0.1: Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται η μέση τιμή (mean), η τυπική απόκλιση (standard deviation) και η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή κάθε κατηγορία ΧΓ/ΚΓ για τα κανάλια του Sentinel 2. Στον κατακόρυφο άξονα φαίνονται οι τιμές ανάκλασης των καναλιών και στον οριζόντιο τα φασματικά κανάλια





