



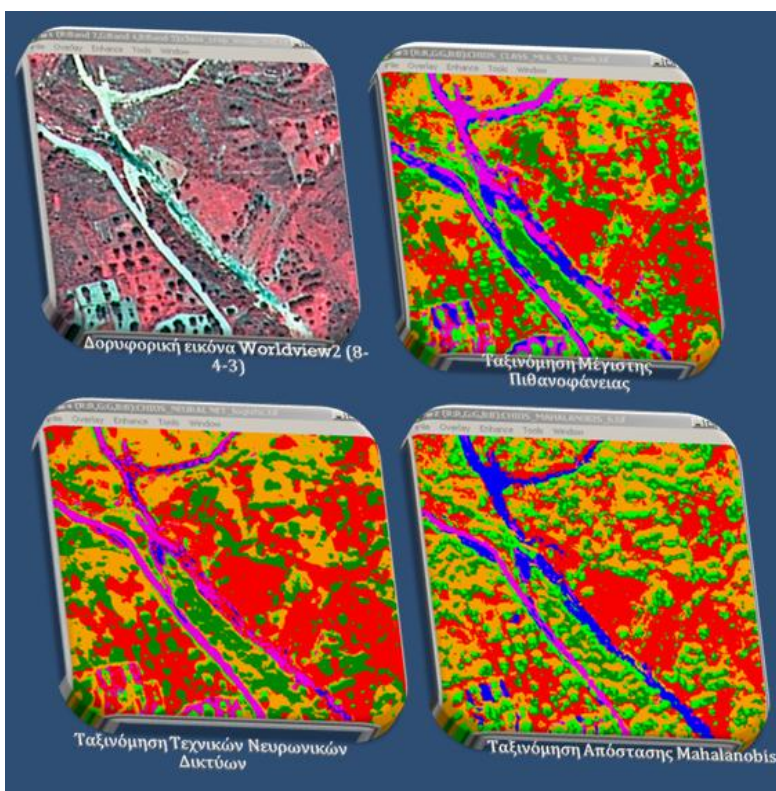
ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

(Α.Φ.Π. & Γ.Μ.)

ΤΟΜΕΑΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΣΤΟΥΣ ΦΥΣΙΚΟΥΣ
ΠΟΡΟΥΣ

« ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ
ΑΠΟ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΠΣ»



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΕΡΓΟΥ ΕΥΣΤΑΘΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΔΡ. ΚΑΛΥΒΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΔΡ. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΗΣ 2013

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΘΕΜΑ: «ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΧΡΗΣΗΣ
ΓΗΣ ΑΠΟ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΠΣ»**

ΕΥΣΤΑΘΙΑ Χ. ΒΕΡΓΟΥ

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΔΡ. ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΚΑΛΥΒΑΣ ΚΑΙ
ΔΡ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ**

**ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ: ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΔΡ. ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ
ΚΑΛΥΒΑΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΔΡ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΟΣΜΑΣ, ΔΡ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ**

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, όπου και εκπονήθηκε μέσα στο πλαίσιο των προβλεπόμενων εκπαιδευτικών διαδικασιών που αφορούν στους τελειόφοιτους του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων της ψηφιακής τηλεπισκόπησης μέσα από τις ραγδαίες επιστημονικές εξελίξεις και η δημιουργία χαρτών χρήσης/ κάλυψης γης μέσα από 3 διαφορετικές μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης, ώστε να μελετηθούν και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματά τους. Οι υπό σύγκριση μέθοδοι είναι οι παραμετρικοί αλγόριθμοι της Μέγιστης Πιθανοφάνειας και της Απόστασης Mahalanobis και ο μη παραμετρικός των Νευρωνικών Δικτύων.

Η χαρτογράφηση χρήσης κάλυψης γης χαρτών αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς της τηλεπισκόπησης συνεπώς προκύπτει ιδιαίτερο ενδιαφέρον διερεύνησης των μεθόδων εξαγωγής της. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε μια αρκετά μεγάλη περιοχή στο ΝΑ τμήμα της νήσος Χίου έκτασης 32.416 Km² που καλύπτεται από μια δορυφορική εικόνα πολύ υψηλής ανάλυσης WorldView-2.

Η μέθοδος ταξινόμησης της Μέγιστης Πιθανοφάνειας χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές απομακρυσμένες εφαρμογές ανίχνευσης και μπορεί να θεωρηθεί ως μια από τις πιο αξιόπιστες τεχνικές και διέπεται της αρχής ότι τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται στην κλάση με την υψηλότερη πιθανότητα ομοιογένειας. Η μέθοδος της απόστασης Mahalanobis χρησιμοποιεί τα στατιστικά στοιχεία κάθε φασματικής κατηγορίας για την υλοποίηση της ταξινόμησης. Η κύρια διαφοροποίηση της από άλλες παραμετρικές μεθόδους είναι ότι στην εξίσωσή της χρησιμοποιείται και ο πίνακας συμμεταβλητότητας. Η μέθοδος των Νευρωνικών Δικτύων βασίζονται την ορθή ταξινόμηση της εικόνας με βάση τις περιοχές εκπαίδευσης που εισάγονται στον αλγόριθμο χωρίς να είναι παράγοντας η κανονική κατανομή των εικονοστοιχείων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των προβλημάτων που δημιουργούν τα εικονοστοιχεία που κατηγοριοποιούνται σε περισσότερο από μια κλάση.

Σε αυτή τη μελέτη ερευνούνται οι παράμετροι αυτών των μεθόδων και τα αποτελέσματα αξιοπιστίας τους για την παραγωγή χαρτών χρήσης/ κάλυψης γης. Τα πειραματικά αποτελέσματα της εργασίας αυτής έδειξαν ότι ο αλγόριθμος Νευρωνικών Δικτύων είχε συνολική ακρίβεια 94,38% και Συντελεστή Kappa 0,904 και αποδείχθηκε πιο αξιόπιστο από το αλγόριθμο Μέγιστης Πιθανοφάνειας με 93,36% και Συντελεστή Kappa 0,888, αντίστοιχα.

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Ευρετήριο Εικόνων	7
Ευρετήριο Πινάκων	10
1 Εισαγωγή.....	11
1.1 Τηλεπισκόπηση	12
1.1.1 Πηγές τηλεπισκοπικών δεδομένων.....	13
1.2 Όρος Χρήση/κάλυψη γης.....	15
1.2.1 Σημασία χρήσης/κάλυψης γης.....	16
1.3 Ψηφιακή Ταξινόμηση	16
1.3.1 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση	18
1.4 Προεπεξεργασία ταξινόμησης	19
1.5 Αλγόριθμοι επιβλεπόμενης Ταξινόμησης.....	20
1.5.1 Αλγόριθμος Μέγιστης Πιθανοφάνειας.....	20
1.5.2 Απόσταση Mahalanobis.....	21
1.5.3 Τεχνικά Νευρωνικά Δίκτυα (NN).....	21
1.6 Δειγματοληψία – Μέγεθος δείγματος	23
1.7 Χαρακτηριστικά - Πηγές σφαλμάτων ταξινόμησης.....	24
1.7.1 Εκτίμηση της ακρίβειας ταξινόμησης.....	25
1.7.2 Πίνακας εκτίμησης ακρίβειας.....	26
1.7.3 Η Karra ανάλυση	28
1.8 Αναδρομή στις μεθόδους και τεχνικές χαρτογράφησης χρήσης/κάλυψης γης.	30
1.8.1 Ανασκόπηση σε μελέτες έρευνας χαρτών χρήσης/κάλυψης γης.	32
2 Υλικά και Μέθοδοι.....	38
2.1 Περιοχή μελέτης.....	38
2.1.1 Μορφολογία και γεωλογικά χαρακτηριστικά.....	40
2.1.2 Μορφές χρήσης γης στο Νομό Χίου.....	42
2.2 Πολυφασματική εικόνα περιοχής μελέτης.....	45
2.3 Φωτοερμηνείας - Τεχνικές οπτικής προσέγγισης	47
2.3.1 Φαινολογικός κύκλος των φυτών και η μηνιαία εμφάνιση απεικόνισης των καλλιεργειών στο Ελλαδικό πεδίο.....	48
2.3.2 Φωτοερμηνευτικά κλειδιά καλλιεργειών.....	53

2.4	Πολυγωνικό αρχείο καλλιεργείων και σημειακό αρχείο υπαίθριας επιβεβαίωσης (ground truth) ορθότητας πληροφορίας καλλιεργείων για την περιοχή μελέτης.....	63
2.5	Λογισμικό σύστημα ENVI.....	66
2.5.1	Χαρακτηριστικά και Δυνατότητες ENVI 4.7 SPI.....	66
2.6	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.)	67
2.6.1	Δυνατότητες-Χρησιμότητα ΓΠΣ.....	68
3	Αποτελέσματα.....	70
3.1	Προεπεξεργασία δορυφορικής εικόνας.....	70
3.1.1	Γεωμετρικές Διορθώσεις	70
3.1.2	Ραδιομετρικές διορθώσεις	74
3.2	Επιλογή κατάλληλων καναλιών (Bands) προς χρήση.....	79
3.3	Βασικές Αποφάσεις για την Εφαρμογή των Αλγορίθμων Ταξινόμησης.....	83
3.4	Εφαρμογή του Αλγορίθμου Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood).....	92
3.5	Εφαρμογή του Αλγορίθμου της απόστασης Mahalanobis.....	96
3.6	Ανάπτυξη της εφαρμογής των Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων (NNT).....	98
4	Συμπεράσματα.....	101
4.1	Έλεγχος Μεθόδων	101
4.1.1	Ποιοτική Σύγκριση Αποτελεσμάτων Μεθόδων Εξαγωγής χρήσης κάλυψης γης.....	101
4.1.2	Ποσοτική Σύγκριση Αποτελεσμάτων Μεθόδων Εξαγωγής χρήσης κάλυψης γης.....	108
5	Βιβλιογραφία.....	117
6	Πηγές από το διαδίκτυο.....	124

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 4 Με την ταξινόμηση γίνεται ο προσδιορισμός ομάδων εικονοστοιχείων με κοινά χαρακτηριστικά.	17
Εικόνα 5: Τυπική δομή ΤΝΔ με ένα κρυφό επίπεδο	22
Εικόνα 6: Παράδειγμα πίνακα σφάλματος ταξινόμησης με τέσσερις κατηγορίες κάλυψης γης (D:φυλλοθόλα, C:κωνοφόρα, ΒΑ:άγρονο έδαφος, SB:θάμνοι). Στον πίνακα παρουσιάζεται η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης καθώς και η ακρίβεια του παραγωγού και του χρήστη για καθεμιά κατηγορία (Congalton, 1991).....	27
Εικόνα 7: Η φασματική απόκριση των καναλιών της δορυφορικής εικόνας Worldview-2 (DigitalGlobe 2011).....	46
Εικόνα 1 Ανάπτυξη καλλιέργειας σίτου	51
Εικόνα 2 Ανάπτυξη καλλιεργειών Βαμβακιού και Ζαχαρότευτλου	51
Εικόνα 3 Ανάπτυξη καλλιεργειών Μηδικής, Αραβόσιτου και Καπνού	52
Εικόνα 14 Τεμάχια 1,2,3 με μικρά δέντρα καλά διατεταγμένα (φαίνεται και από τη σκιά που δημιουργούν) που αποτελούν μόνιμη καλλιέργεια.....	53
Εικόνα 15 Τεμάχια 1,2,3,4 αποτελούν μόνιμη καλλιέργεια. Στο τεμάχιο 3 φαίνονται μεγαλύτερα δένδρα.	54
Εικόνα 16 Χαρακτηριστικός Ελαιώνας, περιποιημένος με αρκετά μεγάλα ακανόνιστης κόμης δέντρα με σκούρο πράσινο χρώμα, με μεγάλες αποστάσεις φύτευσης και περιποιημένο έδαφος.....	54
Εικόνα 17 Αροτραίες καλλιέργειες με (πράσινο χρώμα) ή χωρίς καλλιέργεια (μπεζ χρώμα)	55
Εικόνα 18 Παραδείγματα αροτραίων καλλιεργειών.....	56
Εικόνα 19 Αροτραία καλλιέργεια όπου ένα τμήμα της έχει πιο σκούρο χρώμα από το υπόλοιπο διότι έχει μόλις ποτιστεί.	56
Εικόνα 20: «Κανονάκι» που ποτίζει σε αροτραίο τεμάχιο και βρίσκεται στην αρχή της διαδικασίας.....	57
Εικόνα 21 Αροτραίες καλλιέργειες, ποτισμένες που έχουν αρχίσει να στεγνώνουν ακανόνιστα και γι' αυτό υπάρχουν μικρά άσπρα τμήματα	57
Εικόνα 22 Αμπέλι με γραμμική διάταξη στο οποίο εμφανίζονται και οι μικροί κορμοί τους (πρέμνα), (σημεία 1& 2)	58
Εικόνα 23 Αμπέλι με γραμμική διάταξη σε πολύ καλή κατάσταση (σημείο 1).....	59

Εικόνα 24: Αμπέλια με τραχεία υφή και ακανόνιστη μορφή (σημεία 1 & 2). Το χρώμα τους είναι συνήθως πράσινο ανοιχτό. Τα αμπέλια περιστοιχίζονται από ελαιώνες (σημεία 3 & 4, καθώς και από χωράφι που μόλις έχουν φυτευτεί μικρές ελιές (σημείο 5)	59
Εικόνα 25 Δασική έκταση (σημεία 1,2, 3) με ρέμα που έχει έντονη παραρεμάτια βλάστηση (σημεία 4 & 5), ανάμεικτη με λιβαδικές περιοχές που χαρακτηρίζονται ως βοσκότοποι (σημεία 6,7,8).	60
Εικόνα 26 Χορτολιβαδική έκταση που αποτελεί τον ορισμό του βοσκότοπου. Στο σημείο 1 υπάρχει καλλιέργεια (ελιές) που εξηγείτε και από τον δρόμο που έχει γίνει για να δίνει πρόσβαση στο αγροτεμάχιο.....	60
Εικόνα 27 Αγροτικός δρόμος πλάτους 8 μέτρων, λόγω μεγάλης αντανάκλασης της ασφάλτου οι δόμοι φαίνονται ανοιχτού χρώματος (έως και άσπρες) γραμμές.....	61
Εικόνα 28 Εμφανής ποταμός, χαρακτηριστικό στην ύπαρξη νερού είναι και η πυκνή βλάστηση κατά μήκος.	61
Εικόνα 29 Αρδευτικά-Στραγγιστικά κανάλια στα όρια των καλλιεργειών που χρησιμοποιείται για την άρδευση ή αποστράγγιση τους.	62
Εικόνα 8: Παράθυρο ENVI 4.7 της επεξεργασία Cross-track Illumination Correction	75
Εικόνα 9: Παρατηρώντας το πριν και το μετά της επεξεργασίας Cross-track Illumination Correction διαπιστώνουμε ότι διορθώθηκαν σε αξιόλογο βαθμό τα σφάλματα από τις αντανάκλασεις, ακτινοβολίες, σύννεφα, αέρια, υγρασία κτλ	76
Εικόνα 10: Παράθυρο ENVI 4.7 της επεξεργασία Apply gain and offset	76
Εικόνα 11: Παρατηρώντας το πριν και το μετά της επεξεργασίας Apply gain and offset διαπιστώνουμε την διόρθωση- ενίσχυση στους τόνους των χρωμάτων.	77
Εικόνα 12: Παράθυρο ENVI 4.7 της επεξεργασία Dark sabtrack	78
Εικόνα 13: Παρατηρώντας το πριν και το μετά της επεξεργασίας Dark sabtrack διαπιστώνουμε ότι διορθώθηκαν σε ένα βαθμό τα σκοτεινά σημεία (σκιές).	78
Εικόνα 30: Αρχικό σενάριο δειγματοληψίας μεγέθους αγροτεμαχίων ως περιοχές εκπαίδευσης του αλγορίθμου ταξινόμησης, τα πολύγωνα με μαύρο χρώμα υποδεικνύουν τις περιοχές εκπαίδευσης.....	88
Εικόνα 31: Παράδειγμα σεναρίου 2, ψηφιοποίησης πολυγώνου για την κλάση χρήσης γης βοσκοτόπου .88	
Εικόνα 32: Παράδειγμα σεναρίου 2, ψηφιοποίησης πολυγώνων ελιάς και μαστίχας για την κλάση χρήσης γης Δενδρώνες	88
Εικόνα 33: Υπολογίστηκε το μέγεθος της περιοχής μελέτης 32.415.544,33411 m ²	90
Εικόνα 34: Στην ROI Area Info φαίνεται αναλυτικά το εμβαδόν που καταλαμβάνει η δειγματοληψία για κάθε κλάση και στην Statistics of ROIS6_S3 το συνολικό εμβαδόν για όλες τις κλάσεις.	90

Εικόνα 35: Δειγματοληψία φασματικών υπογραφών (Rois) σύμφωνα με τα σημεία των επιτόπιων ελέγχων αναγνώρισης του ΟΠΕΚΕΠΕ για τον διασταυρωτικό έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων ταξινόμησης χρήσης κάλυψης γης.....	91
Εικόνα 36: Επιλογή από τη βασική μπάρα εργαλείων του λογισμικού επεξεργασίας ENVI 4.7 της επιβλεπόμενης μεθόδου Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood).....	93
Εικόνα 37: Ανέβασμα των σημείων ψηφιοποιημένων πολυγωνικών αρχείων ενδιαφέροντος για την εκπαίδευση του αλγορίθμου της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)	93
Εικόνα 38: Πλατφόρμα εφαρμογής Supervised Classification, Maximum Likelihood, εισάγονται τα σημεία ενδιαφέροντος που έχουν κατηγοριοποιηθεί αν κλάση ώστε να γίνει η εκπαίδευση του αλγορίθμου και η εξαγωγή του ταξινομημένου χάρτη χρήσης κάλυψης γης.	93
Εικόνα 39: Στατιστικά αποτελέσματα Confusion Matrix για τον χάρτη κατηγοριοποίησης χρήσεων γης με τη μέθοδο Μέγιστης Πιθανοφάνειας.....	95
Εικόνα 40: Δορυφορική εικόνα Worldview2	102
Εικόνα 41: Ταξινόμηση Μέγιστης Πιθανοφάνειας	102
Εικόνα 42: Ταξινόμηση Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων	102
Εικόνα 43: Ταξινόμηση Απόστασης Mahalanobis.....	102
Εικόνα 44: Δορυφορική εικόνα Worldview2	103
Εικόνα 45: Ταξινόμηση Μέγιστης Πιθανοφάνειας	103
Εικόνα 46: Ταξινόμηση Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων	103
Εικόνα 47: Ταξινόμηση Απόστασης Mahalanobis.....	103
Εικόνα 48 Δορυφορική εικόνα Worldview2	104
Εικόνα 49 Ταξινόμηση Μέγιστης Πιθανοφάνειας	104
Εικόνα 50: Ταξινόμηση Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων.....	104
Εικόνα 51: Ταξινόμηση Απόστασης Mahalanobis.....	104
Εικόνα 52: Δορυφορική εικόνα Worldview2	105
Εικόνα 53: Ταξινόμηση Μέγιστης Πιθανοφάνειας	105
Εικόνα 54: Ταξινόμηση Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων	106
Εικόνα 55: Ταξινόμηση Απόστασης Mahalanobis.....	106
Εικόνα 56: Δορυφορική εικόνα Worldview2	107
Εικόνα 57: Ταξινόμηση Μέγιστης Πιθανοφάνειας	107

Εικόνα 58: Ταξινόμηση Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων.....	107
Εικόνα 59: Ταξινόμηση Απόστασης Mahalanobis.....	107

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Εμπεριέχει τους πιο ευρέως χρησιμοποιημένους δορυφόρους για εξαγωγή χαρτών χρήσης κάλυψης γης	14
Πίνακας 2 Περιλαμβάνει κατά κανόνα το ετήσιο ημερολόγιο ανάπτυξης των πιο σημαντικών (ως προς την έκταση) αροτραίων, κηπευτικών καλλιεργειών και αμπελιού.....	48
Πίνακας 3: Αναμενόμενη εμφάνιση κύριων καλλιεργειών ανά μήνα του έτους κατά την επί της οθόνης φωτοερμηνεία	49
Πίνακας 4: Πίνακας με τους κωδικούς των καλλιεργειών	64
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (Ε.Γ.Σ.Α. '87).....	73
Πίνακας 6: Ο πίνακας περιλαμβάνει τα ποσοστά ακρίβειας και τις τιμές του πολυμεταβλητή Karrra για τις 3 μεθόδους.	108
Πίνακας 7: Πίνακας εκτίμησης ακρίβειας για την Μέθοδο Μέγιστης Πιθανοφάνειας.....	110
Πίνακας 8: Πίνακας εκτίμησης ακρίβειας για την Μέθοδο Απόστασης Mahalanobis	110

1 Εισαγωγή

Η αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων τις τελευταίες δεκαετίες και οι καταχρηστικές επεμβάσεις στις χρήσεις γης έχουν υποβαθμίσει κι έχουν βλάψει το περιβάλλον. Εξαιτίας αυτής της κατάστασης, παρουσιάζεται πλέον επιτακτική ανάγκη για προστασία, βελτίωση και σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος, καθώς και ανάγκη για ενσωμάτωση περιβαλλοντικής διάστασης στην άσκηση πολιτικής γης. Για τη σωστή μελέτη και διαχείριση του περιβάλλοντος απαιτείται η γνώση σε βάθος της παρούσας κατάστασής του, καθώς και η γνώση της αλλαγής και της εξέλιξης αυτού με την πάροδο των χρόνων.

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών προσφέρουν τη δυνατότητα ανάπτυξης ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης και διαχείρισης των φυσικών οικοσυστημάτων. Με ιδιαίτερο ενδιαφέρον στραμμένο στην δημιουργία χαρτών χρήσης κάλυψης γης για την συνειδητοποίηση και την πλήρη επίγνωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Οι χωρίς κανέναν έλεγχο ανθρωπογενείς επεμβάσεις έχουν εξαντλήσει την ικανότητα ανανέωσης των φυσικών διαθέσιμων πόρων της γης και έχουν υποβαθμίσει το περιβάλλον. Φαινόμενα όπως, η σταδιακή εγκατάλειψη της γεωργικής γης, η βίαιη αλλαγή χρήσης των δασών, η σταδιακή ξήρανση των υδάτινων επιφανειών, η διάβρωση και ερημοποίηση των εδαφών είναι μερικά παραδείγματα τέτοιων φαινομένων που η προστασία και η ορθολογική διαχείριση του περιβάλλοντος κρίνεται απαραίτητη.

Σπουδαίο ρόλο, προς αυτή την κατεύθυνση, διαδραματίζουν οι πληροφορίες για τους χάρτες χρήσης κάλυψης γης, οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν τον άξονα για τη διαμόρφωση και την υλοποίηση περιβαλλοντικής πολιτικής. Οι πληροφορίες αυτών των χαρτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλα δεδομένα και να συμβάλλουν εποικοδομητικά στην εύρεση λύσεων και στη διατύπωση συμπερασμάτων σε ότι αφορά στα σύνθετα προβλήματα, που υποβαθμίζουν ή απειλούν το φυσικό περιβάλλον.

Η παρούσα εργασία κάνει μια προσπάθεια σύγκρισης και αξιολόγησης μεθόδων ταξινόμησης για εξαγωγή χαρτών χρήσης κάλυψης γης. Αποτελεί ένα από τα βασικότερα βήματα κάθε ερευνητή που αποσκοπεί στην βέλτιστη επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου ταξινόμησης χρήσης κάλυψης γης. Χαρακτηρίζεται ως χρονοβόρα και πολύ απαιτητική διαδικασία. Μέσα από την παρούσα μελέτη ελπίζουμε να βοηθήσουμε στην ορθότερη επιλογή μεθόδου ταξινόμησης και στην εξοικονόμηση χρόνου για τον ερευνητή για πιο ποιοτική και ουσιαστική έρευνα.

1.1 Τηλεπισκόπηση

Σύμφωνα με τον ορισμό που έχει δώσει το Εθνικό Κέντρο Τηλεπισκόπησης της Αγγλίας (NRSC), τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη της απόκτησης και ανάλυσης πληροφοριών για το περιβάλλον της γης, από ανιχνευτές που δεν βρίσκονται σε φυσική επαφή με το περιβάλλον.

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για περιβαλλοντικούς και διαχειριστικούς σκοπούς στην διάθεση διάφορων ειδικοτήτων όπως οικολόγων, περιβαλλοντολόγων, μηχανικών, αλλά και κρατικών φορέων για την απόκτηση πληροφοριών σχετικών με την υπό εξέταση περιοχή μελέτης και την επιλογή των κατάλληλων δράσεων για την αντιμετώπιση των διαφόρων προβλημάτων. Βασικό πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης είναι η ικανότητα αντίληψης χωρικής πληροφορίας μέσα από την χρήση δορυφορικών εικόνων. Η συλλογή πληροφοριών σε δυσπρόσιτες και απομακρυσμένες περιοχές φάνταζε αρχικά αδύνατη, πλέον χάρις της Τηλεπισκόπησης και της ταχύτητας λήψης των δορυφορικών εικόνων δεν αποτελεί πρόβλημα. Επιπλέον, η δυνατότητα διαχρονικών λήψεων εικόνων από τους δορυφόρους επιτρέπει την παρατήρηση των δυναμικών φαινομένων που συντελούνται στην περιοχή μελέτης λόγω κλιματικών ή άλλων αλλαγών. Τέλος, η λήψη εικόνων σε πολλές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος παρέχει επιπλέον πληροφορία στα μοντέλα ταξινόμησης σχετικά με τις διαφοροποιήσεις των βιοφυσικών στοιχείων, διευκολύνοντας τον διαχωρισμό τους συγκριτικά με την χρησιμοποίηση μιας μόνο φασματικής ζώνης.

Στην παρακολούθηση (monitoring) μιας προστατευόμενης περιοχής, η ταξινόμηση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο λόγω της δημιουργίας θεματικών χαρτών που περιγράφουν την κατάσταση ενός οικοσυστήματος τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Με βάση τους παραγόμενους θεματικούς χάρτες, δημιουργούνται δείκτες (indicators) που περιγράφουν την οικολογική κατάσταση στο υπό εξέταση περιβάλλον. Οι πιο συνηθισμένοι δείκτες είναι οι δομικοί δείκτες (structural indicators), οι δείκτες βιοποικιλότητας (biodiversity indicators), οι δείκτες λειτουργικής κατάστασης του περιβάλλοντος (functional landscape ecological indicators) και οι δείκτες διαχρονικών αλλαγών (change analysis indicators).

Οι παραπάνω δείκτες μπορούν να περιγράψουν την κατάσταση ενός οικοσυστήματος καθώς και τον τρόπο και βαθμό επίδρασης του ανθρώπου σε αυτό. Κατά συνέπεια, αποτελεί βασικό εργαλείο για την διαμόρφωση κατάλληλων δράσεων με σκοπό την αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος.

Η βασική πληροφορία που χρησιμοποιείται στην δημιουργία του θεματικού χάρτη μιας περιοχής έγκειται στην εικόνα που παρέχεται από τους διάφορους απεικονιστές (sensors) και γι' αυτό κρίνεται απαραίτητη μια συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών τους. Οι απεικονιστές εγκαθίστανται συνήθως σε δορυφόρους ή αεροπλάνα και καταγράφουν την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ενέργεια από την επιφάνεια της γης.

Ανάλογα με το είδος της ενέργειας που καταγράφουν, διακρίνονται κυρίως σε δύο κατηγορίες: τους παθητικούς απεικονιστές, οι οποίοι καταγράφουν την ανακλώμενη ενέργεια που προέρχεται συνήθως από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, και τους ενεργητικούς απεικονιστές, οι οποίοι στέλνουν ακτινοβολία στην περιοχή των μικροκυμάτων και καταγράφουν την εκπεμπόμενη από τα βιοφυσικά στοιχεία ακτινοβολία (radar).

Οι παθητικοί απεικονιστές διαχωρίζονται περαιτέρω σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που καταγράφουν. Συγκεκριμένα, οι πανχρωματικοί, καταγράφουν την επιφάνεια της γης στο οπτικό τμήμα του φάσματος, οι πολυφασματικοί, καταγράφουν περισσότερα του ενός τμήματα του φάσματος (συνήθως το οπτικό και το

υπέρυθρο), οι θερμικοί, καταγράφουν την εκπεμπόμενη θερμική υπέρυθρη ακτινοβολία, και οι υπερφασματικοί, καταγράφουν την επιφάνεια της γης σε πολλά μικρά τμήματα του οπτικού και υπέρυθρου φάσματος (0.01μm ή 10nm). Μέχρι πρόσφατα, υπήρχε ο δορυφόρος Landsat-7, ο οποίος δεν έφερε μόνο ενός είδους απεικονιστή, αλλά έναν πολυφασματικό, έναν παγχρωματικό και έναν θερμικό.

Οι διάφοροι απεικονιστές χαρακτηρίζονται από τη χωρική διακριτική ικανότητα, τη ραδιομετρική ικανότητα, τη φασματική διαχρονική ικανότητα, και τέλος τη διαχρονική διακριτική ικανότητα. Η χωρική διακριτική ικανότητα περιγράφει το μέγεθος του μικρότερου τμήματος του εδάφους γης, από το οποίο καταγράφει ο απεικονιστής την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ενέργεια. Το μικρότερο αυτό τμήμα εδάφους αντιστοιχεί σε ένα εικονοστοιχείο (picture element, pixel) στην εικόνα που λαμβάνει ο απεικονιστής.

1.1.1 Πηγές τηλεπισκοπικών δεδομένων

Η επιλογή των χαρακτηριστικών των τηλεπισκοπικών δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για εξαγωγή χαρτών χρήσης κάλυψης γης, είναι ότι πιο σημαντικό. Τόσο οι αεροφωτογραφίες όσο και οι δορυφορικές εικόνες έχουν διαφορετικά χωρικά, φασματικά και ραδιομετρικά χαρακτηριστικά. Μεγάλο μέρος της ερευνητικής δουλειάς έχει επικεντρωθεί στην μελέτη αυτών των χαρακτηριστικών (Barnsley 1999, Lefsky and Cohen 2003). Επιπλέον το μέγεθος, η γήινη επιφάνεια που καλύπτουν τα τηλεπισκοπικά δεδομένα (cover size in one scene), η διαθεσιμότητα των δεδομένων (accessibility) και η ημερομηνία λήψης (data archive potential) είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες.

Πίνακας 1: Εμπεριέχει τους πιο ευρέως χρησιμοποιημένους δορυφόρους για εξαγωγή χαρτών χρήσης κάλυψης γης

Sensor	Organization	Spatial resolution	Spectral resolution	Radiometric resolution	Temporal resolution	Imaging Swath	Lunch date
Geoeye	Geoeye ABD	Pan: 0.41m MS: 0.61m	4 VNIR bands (450-920nm)	11 bit	~3 days	15X15km	2008
Quickbird-2	Digital globe ABD	0.61m	4 VNIR bands (450-890)	11 bit	3.5 days	16.5X16.5km	2002
Ikonos	Geoeye ABD	Pan: 1m MS: 4m	4 VNIR bands (450-880nm)	11 bit	3.5 days	11X11km	1999
Rapideye	Rapideye AG Germany	5m	4 VNIR bands and red edge (440-850nm)	12 bit	5.5 days at nadir	77X77km	2008
World view (2) and (3)*	Digital globe ABD	Pan: 0.5m MS: 2m at nadir	4 VNIR standart bands & 4 VNIR unique bands (400-1040nm)	11 bit	1-3days	16.4X16.4km	2009 (2) 2014 (3)
Spot 5	SpotIMAGE France	Pan:2.5m VNIR:10m SWIR:20m	3 VNIR & 1 SWIR bands (490-1750)	8 bit	26 days	60X60km	2002
AVIRIS airborne hyperspectral	NASA ABD	17m	224 VNIR & SWIR bands (400-2500nm)	16 bit	airborne	11X11km	-
Alos (AVNIR2)	JAXA Japan	10m	4 VNIR bands	8 bit	46 days	70X70km	2006
ASTER	Japan&ABD	VNIR: 15m SWIR: 30m TIR: 90m	4 VNIR bands 6 SWIR bands 5 TIR bands (520-11650nm)	VNIR:8 bit SWIR: 8 bit TIR: 12 bit	16 days	60X60km	1999
Landsat 8*	NASA ABD	Pan: 15m MS: 30m	5 VNIR bands 2 SWIR bands 1 cirrus band (433-2300nm)	8 bit	16 days	185X185km	Dec. 2012
CHRIS proba hyperspectral	ESA EU	17-34m	18-62 VNIR bands (400-1100nm)	16 bit	16 days	15X15km	2002

Hyperion hyperspectral	NASA ABD	30m	220 VNIR & SWIR bands (400-2500nm)	16 bit	16 days	7.7X185km	2000
EnMAP*	DLR Germany	30m	244 VNIR & SWIR bands (420-2450)	14 bit	4 days	30X30km	2014-2015
MODIS	NASA ABD	250-1000m	36 VNIR & SWIR & TIR bands	12 bit	1 day	2330km	2000
MERIS	ESA EU	300-1200m	15 VNIR bands	16 bit	1 day	1150km	2002
AVHRR NOAA 15	NASA ABD	1090m	6 VNIR & TIR bands	10 bit	1 day	1446km	1978 1998

1.2 Όρος Χρήση/κάλυψη γης

Αρχικά ο όρος χρήση γης χρησιμοποιήθηκε στην χαρτογράφηση αεροφωτογραφιών και ορθοφωτοχαρτών για να εκφράσει τα διάφορα χαρακτηριστικά στην επιφάνεια της γης. Στην πορεία αυτός ο όρος δεν κάλυπτε όλες της περιπτώσεις που παρουσιάζονταν σε μία περιοχή γιατί κάλυπτε μόνο στις δραστηριότητες του ανθρώπου, οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τη γη . (Καρτέρης και Τσομπανίκος, 1984). Οι κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες που χωρίζονται σε αγροτικές και αστικές, είναι από τις πιο υψηλές σε ποσοστά χρήσεις γης. Οι απεικονίσεις των δορυφορικών συστημάτων όμως καταγράφουν απευθείας τη φασματική πληροφορία των αντικειμένων της επιφάνειας της γης, και όχι τις χρήσεις. Αποτυπώνουν δηλαδή τα φυσικά υλικά του εδάφους της, που αποτελούν την βιοφυσική κάλυψη της επιφάνειάς της.

Στη συνέχεια με τη χρήση της ταξινόμησης και χαρτογράφησης των χαρακτηριστικών της γης, που θα αναλύσουμε παρακάτω, διακρίνονται τελικά οι μορφές κάλυψης της γης και όχι οι χρήσεις. Από τα παραπάνω φαίνεται πως η χρήση του σύνθετου όρου «χρήσης/κάλυψης» είναι περισσότερο πλήρης, καθώς εκφράζει με μεγαλύτερη σαφήνεια τα φυσικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης.

Η χαρτογράφηση των χρήσεων/κάλυψης γης προϋποθέτει την ταξινόμησή τους σε κατηγορίες, δηλαδή την ομαδοποίηση των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης με βάση τις κοινές τους ιδιότητες, γνωρίσματα ή σχέσεις (Καρτέρης και Τσομπανίκος, 1984). Ο τρόπος και ο βαθμός ομαδοποίησης των χαρακτηριστικών ποικίλει ανάλογα με το σκοπό χαρτογράφησης και έρευνας των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, και καθορίζεται από το χρησιμοποιούμενο κάθε φορά σύστημα ταξινόμησης.

1.2.1 Σημασία χρήσης/κάλυψης γης

Αξιόπιστα στοιχεία σχετικά με το είδος, την κατανομή και την έκταση των χρήσεων/ κάλυψης γης μιας περιοχής πρέπει να είναι διαθέσιμα σε έναν οργανισμό ή μια υπηρεσία πριν εφαρμοστούν προγράμματα διαχείρισης και ανάπτυξης της περιοχής αυτής. Η δημιουργία ενημερωμένων χαρτών της κάλυψης γης συμβάλλει αποφασιστικά στο σχεδιασμό και τον συντονισμό των σχετικών δράσεων, στη διατήρηση των φυσικών αποθεμάτων, στην παρακολούθηση των αλλαγών που οφείλονται σε φυσικές καταστροφές, όπως π.χ. πυρκαγιές, πλημμύρες, φαινόμενα διάβρωσης κ.λπ. ή στις ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως η οικιστική ανάπτυξη, ο τουρισμός, η μόλυνση εδάφους και υδάτινων επιφανειών κ.λπ, και στον προσανατολισμό του αστικού και περιφερειακού σχεδιασμού για τη λήψη αξιόπιστων και λειτουργικών αποφάσεων (Γήτας κ.α. 2003).

Όλα τα παραπάνω καθιστούν σαφή σημαντικό ρόλο το χάρτη χρήσης/κάλυψης γης σα διαχειριστικό εργαλείο. Η ζήτηση ενημερωμένων χαρτών αυξάνεται ολοένα και περισσότερο, λόγω της αύξησης τόσο ποσοτικά, όσο και σε είδος των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Αντίστοιχα γίνεται κατανοητή η ανάγκη για έρευνα στον τομέα της χαρτογράφησης, προκειμένου να βρεθούν καινούριες μέθοδοι που θα εξοικονομούν χρόνο στη σύνταξη των χαρτών, αλλά και θα βελτιώνουν την ακρίβειά τους σαν προϊόν, ώστε να αποτελούν αξιόπιστο εργαλείο σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων.

1.3 Ψηφιακή Ταξινόμηση

Η θεμελιώδης ψηφιακή μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και την οριοθέτηση της εδαφικής κάλυψης είναι η ψηφιακή ταξινόμηση. Πρόκειται για μια ημιαυτόματη επεξεργασία, η οποία με τη βοήθεια εικόνων ταξινομεί τα χαρακτηριστικά μιας γήινης επιφάνειας σε κατηγορίες (Ασάρας, 2010). Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει πολλαπλές εικόνες της ίδιας περιοχής, είτε διαχρονικές είτε σε διαφορετικές φασματικές περιοχές, και παράγει μια ψηφιακή θεματική εικόνα. Η νέα εικόνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία θεματικού χάρτη ή να εισαχθεί σε ένα G.I.S.

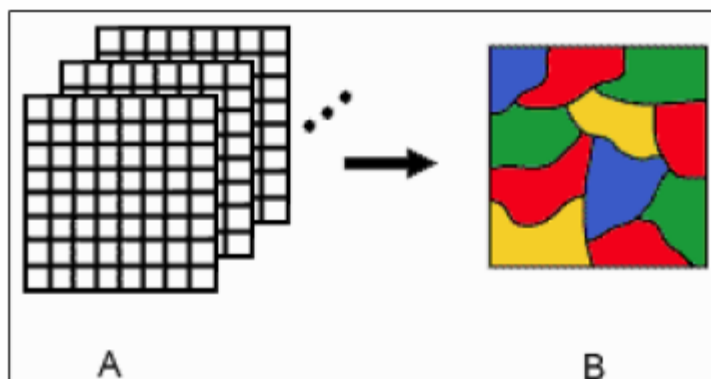
Τα εικονοστοιχεία μιας ψηφιακής εικόνας ταξινομούνται σε ένα ορισμένο πλήθος ατομικών τάξεων ή κατηγοριών που βασίζεται στις φασματικές τιμές των δεδομένων. Εάν ένα εικονοστοιχείο ικανοποιεί ένα ορισμένο σύνολο κριτηρίων, τότε το εικονοστοιχείο καταχωρείται στην τάξη που αντιστοιχεί στα κριτήρια αυτά. Η απόφαση σχετικά με την τάξη στην οποία θα καταχωρηθεί τελικά το εικονοστοιχείο, είναι μια στατιστική υπόθεση που έχει πιθανότητες σφάλματος. Το σφάλμα αντιστοιχεί σε μια λανθασμένη απόφαση. Συνεπώς σε κάθε απόφαση σχετική με την ταξινόμηση προτύπου απαιτείται η ελαχιστοποίηση κάποιου κριτηρίου σφάλματος. Ο καλύτερος ταξινομητής, που είναι το σύνολο των αποφάσεων, είναι αυτός που έχει το μικρότερο σφάλμα (Τσακίρη, 2004).

Για την ψηφιακή ταξινόμηση υπάρχουν δύο θεμελιώδεις προσεγγίσεις:

- η **καθοδηγούμενη ή επιβλεπόμενη ταξινόμηση** (supervised classification)
- η **ανεξάρτητη ή μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση** (unsupervised classification).

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση προϋποθέτει αρχικά την ύπαρξη δειγμάτων γνωστής ταυτότητας στην εικόνα (που συνήθως αναγνωρίζονται από εργασίες πεδίου, από αεροφωτογραφίες, από

τοπογραφικούς χάρτες κλπ.) και έπειτα, αφού υπολογιστούν τα στατιστικά στοιχεία των γνωστών αυτών δειγμάτων, καταχωρούνται τα υπόλοιπα αταξινομήτα εικονοστοιχεία σε τάξεις. Αντίθετα, στην ανεξάρτητη ταξινόμηση τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας διαχωρίζονται σε φασματικές τάξεις, χωρίς ο αναλυτής να γνωρίζει εκ των προτέρων για την ύπαρξη ή το είδος της πληροφορίας (δάσος, νερό, αστική περιοχή, κ.λπ.) που περιέχεται σε κάθε φασματική τάξη.



Εικόνα 1 Με την ταξινόμηση γίνεται ο προσδιορισμός ομάδων εικονοστοιχείων με κοινά χαρακτηριστικά.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι η ακριβέστερη μέθοδος για την οριοθέτηση των τάξεων, σε αντίθεση με τη μη επιβλεπόμενη που χρησιμεύει περισσότερο για ένα αρχικό, γρήγορο προσδιορισμό τους. Προκειμένου όμως κάποιος να έχει αξιόπιστα αποτελέσματα, είναι σημαντικό, ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποίησε, να επισκεφθεί την περιοχή μελέτης για «**υπαίθρια επιβεβαίωση**» (ground truth) (Αστάρας, 2010).

Συνήθως η ταξινόμηση εκτελείται έχοντας κατά νου ένα σύνολο κατηγοριών-στόχων. Αυτό το σύνολο καλείται **σύστημα ταξινόμησης**. Σκοπός ενός τέτοιου συστήματος είναι να παρέχει ένα πλαίσιο οργάνωσης και κατηγοριοποίησης της πληροφορίας που μπορεί να εξαχθεί από τα δεδομένα. Ένα κατάλληλο σύστημα ταξινόμησης περιλαμβάνει κατηγορίες που είναι αφενός σημαντικές στη μελέτη και αφετέρου ευδιάκριτες για τη δειγματοληψία με το χέρι. Τα περισσότερα συστήματα έχουν μια ιεραρχική δομή, η οποία μπορεί να περιγράψει μια περιοχή μελέτης σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας (Congalton, 1991).

Η επιλογή των δειγμάτων εκπαίδευσης είναι συχνά μια επαναληπτική διαδικασία, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προσωπική γνώση των δεδομένων, από την περιοχή μελέτης και από τις κατηγορίες που θέλει να δημιουργήσει ο αναλυτής. Για την παραγωγή υπογραφών που αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια τις τάξεις που αναγνωρίζονται, ίσως χρειαστεί επανειλημμένα να επιλεγούν δείγματα εκπαίδευσης, να εκτιμηθούν οι υπογραφές που προέκυψαν από τα δείγματα και έπειτα είτε να ληφθούν νέα δείγματα είτε να διαχειριστούν οι υπογραφές όπως κρίνεται απαραίτητο (συγχώνευση ή διαγραφή υπογραφών).

Το επόμενο βήμα μετά τη δημιουργία και εκτίμηση ενός συνόλου αξιόπιστων υπογραφών είναι η εκτέλεση της ταξινόμησης των δεδομένων. Κάθε pixel αναλύεται ανεξάρτητα. Το διάνυσμα μέτρησης για κάθε pixel συγκρίνεται με καθεμιά υπογραφή, σύμφωνα με έναν κανόνα απόφασης ή αλγόριθμο. Τα pixels που πληρούν τα κριτήρια που θέτει ο κανόνας απόφασης κατατάσσονται κατόπιν στην τάξη για εκείνη την υπογραφή.

1.3.1 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση αποτελείται από τα παρακάτω στάδια:

- Ορισμός του πλήθους και του είδους των τάξεων.
- Επιλογή και λήψη των δειγμάτων από κάθε τάξη (λήψη εκπαιδευτικής σειράς και εκπαίδευση του συστήματος).
- Χρήση των δειγμάτων για τον προσδιορισμό των παραμέτρων/κριτηρίων για τη δημιουργία του ταξινομητή.
- Με τη χρήση των κριτηρίων, δηλαδή την υπογραφή της κάθε τάξης, ταξινομούνται όλες οι ψηφίδες της εικόνας στις αντίστοιχες τάξεις.
- Παραγωγή θεματικής εικόνας.

Το πρώτο στάδιο δηλαδή η επιλογή του πλήθους και του είδους των τάξεων εξαρτάται από την περιοχή και το σκοπό της μελέτης. Για παράδειγμα, αν μια μελέτη αφορά στο αστικό περιβάλλον, οι οικισμοί και οι βιομηχανίες λαμβάνονται ως δύο διαφορετικές τάξεις. Σε μια άλλη μελέτη, πιθανώς οι τύποι αστικής ανάπτυξης να μη χρειάζεται να μελετηθούν ξεχωριστά και να ταξινομούνται όλοι σε μια ενιαία κατηγορία.

Ακολουθεί η λήψη των εκπαιδευτικών δειγμάτων, τα οποία πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά και πλήρη, ώστε να προκύψει μια αποδεκτή ταξινόμηση. Συγκεκριμένα, η δειγματοληψία των εκπαιδευτικών προτύπων συνίσταται να γίνεται από όλη την περιοχή της εικόνας και μάλιστα είναι προτιμότερο να λαμβάνονται πολλά δείγματα από μικρές περιοχές παρά λίγα από μεγάλες περιοχές κάθε τάξης. Συχνά η επιλογή των δειγμάτων θεωρείται σημαντικότερη από την επιλογή του αλγόριθμου ταξινόμησης στην εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης.

Το επόμενο στάδιο είναι ο υπολογισμός των στατιστικών στοιχείων των δειγμάτων κάθε τάξης (υπογραφές/ signatures), δηλαδή υπολογίζονται η μέση τιμή και ο πίνακας συμμεταβλητοτήτων των ψηφίδων. Τέλος, με βάση τις υπογραφές ταξινομούνται όλες οι ψηφίδες και παράγεται η θεματική εικόνα από την οποία θα εξαχθούν οι απαραίτητες πληροφορίες για τη μελέτη (Τσακίρη, 2004).

Ένα από τα πλεονεκτήματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι ότι ο αναλυτής ελέγχει το σύνολο των επιλογών της κάλυψης γης που θα ταξινομηθεί, σύμφωνα με τη γεωγραφική περιοχή και τις απαιτήσεις της μελέτης. Επίσης, δεν απαιτείται η αντιστοίχιση των φασματικών ομάδων με τα είδη της πληροφορίας που αντιπροσωπεύουν. Τέλος, με προσεκτική εξέταση των δεδομένων της εκπαίδευσης, ο αναλυτής είναι σε θέση να αναγνωρίσει σοβαρά σφάλματα στην ταξινόμηση.

Βέβαια, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση περιλαμβάνει και κάποια μειονεκτήματα όπως το γεγονός ότι ο τρόπος ταξινόμησης των δεδομένων είναι υποκειμενικός με συνέπεια μερικές φορές οι καθορισμένες περιοχές να μη συμβαδίζουν με τις φυσικές πληροφοριακές τάξεις (π.χ. μια περιοχή που καθορίστηκε από τον αναλυτή ως καλλιεργήσιμη, στην πραγματικότητα να αποτελεί βοσκότοπο). Επίσης, η επιλογή των δεδομένων εκπαίδευσης μπορεί μεν να συνιστά έναν τρόπο ελέγχου, αποτελεί δε χρονοβόρα διαδικασία, δαπανηρή και κουραστική, ακόμη και όταν εκτελείται με τα πιο σύγχρονα μέσα. Εκτός αυτού, οι περιοχές εκπαίδευσης που θα επιλεγούν μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικές για ολόκληρη την εικόνα.

Επιπλέον, δεδομένου ότι τα δεδομένα εκπαίδευσης καθορίζονται κατά κύριο λόγο από τα είδη της πληροφορίας και κατά δεύτερο λόγο από τις φασματικές ιδιότητες τους, είναι πιθανό μια περιοχή εκπαίδευσης που είναι για παράδειγμα καθαρά δασική έκταση, να είναι ακριβής ως

προς τον χαρακτηρισμό "δάσος" αλλά να ποικίλλει ως προς την πυκνότητα, την ηλικία κ.λπ. και συνεπώς να αποτελεί "φτωχή" ή "ανεπαρκή" περιοχή εκπαίδευσης του αλγόριθμου ταξινόμησης. Κλείνοντας, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση μπορεί να μην αναγνωρίζει και αντιπροσωπεύει ιδιομορφίες στις κατηγορίες που δεν αποκαλύπτονται στα δεδομένα εκπαίδευσης, ίσως επειδή είναι άγνωστες στον αναλυτή ή επειδή καταλαμβάνουν πολύ μικρές περιοχές στην εικόνα (Αγγελούπουλου, 2003).

Σήμερα στην αγορά κυκλοφορεί μεγάλος αριθμός λογισμικών (softwares) ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας που έχουν αναπτυχθεί είτε από ιδιωτικές εταιρείες (π.χ. ENVI <http://www.exelisvis.com> ERDAS-<http://www.erdas.com/> , ERMapper-<http://www.ermapper.com/> κ.λπ.) είτε από Πανεπιστήμια (π.χ. IDRISI <http://www.clarklabs.org/> κ.λπ.).

1.4 Προεπεξεργασία ταξινόμησης

Με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση αποβλέπουμε στην εξαγωγή των κυρίων φασματικών τάξεων οι οποίες εμφανίζονται σε μια δορυφορική τηλεπισκοπική εικόνα και την αναγνώριση και αναφορά τους σε πραγματικές τάξεις αντικειμένων της γήινης επιφάνειας με τη χρήση των φασματικών υπογραφών τους. Γενικά για να εφαρμοστεί η επιβλεπόμενη ταξινόμηση θα πρέπει να ακολουθηθούν τα εξής βήματα:

- Οι εικόνες πρέπει να έχουν υποστεί γεωμετρική διόρθωση , και να έχουν κοπεί έτσι που να καλύπτουν μόνο το χώρο που μας ενδιαφέρει για μείωση του μεγέθους των εξαγομένων αρχείων
- Μετά πρέπει να επιλεγθούν περιοχές εκπαίδευσης πάνω στην εικόνα οι οποίες αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες θεματικές κατηγορίες. Αυτές οι περιοχές εκπαίδευσης θα πρέπει να καλύπτουν περίπου 1-3% της εικόνας και να είναι όσο πιο ακριβείς γίνεται όσο αφορά τη φασματική τους υπογραφή. Οι περιοχές εκπαίδευσης θα υλοποιηθούν με ψηφιοποίηση πάνω στην δορυφορική εικόνα. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή και επανάληψη της διαδικασίας μέχρι να επιτευχθεί καλό αποτέλεσμα. Για να επιλεγθούν οι περιοχές επιβάλλεται να χρησιμοποιηθούν διάφορα έγχρωμα σύνθετα και λόγοι καναλιών, ανάλογα με τις περιστάσεις
- Ακολουθεί ο υπολογισμός και ανάλυση των φασματικών υπογραφών τους
- Έλεγχος των ελλείψεων των κατηγοριών για να αποφευχθεί τυχών αλληλοεπικάλυψη των φασματικών τους χώρων περισσότερο από 50%
- Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των στατιστικών της εικόνας
- Το κυριότερο βήμα είναι η επιλογή και εφαρμογή ενός αλγορίθμου ταξινόμησης επί της εικόνας
- Γίνεται έλεγχος της ακρίβειας της ταξινόμησης.
- Τελευταίο βήμα είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε μορφή θεματικών χαρτών, πινάκων και ψηφιακών εικόνων

Μετά που θα έχουν εφαρμοστεί όλα τα βήματα της μεθοδολογίας της ταξινόμησης σε μια εικόνα, θα έχει επιτευχθεί εξοικείωση με τους διαθέσιμους αλγορίθμους, τις δυνατότητές και τους περιορισμούς τους. Ακόμα σε επόμενες εφαρμογές είναι ευκολότερη η σωστή επιλογή του αριθμού και της κατανομής των δεδομένων εκμάθησης, των λεπτομερειών των παραμέτρων που

απαιτούνται για την κάθε μέθοδο επιβλεπόμενης ταξινόμησης και τέλος της διαδικασίας εκτέλεσης ελέγχου ακριβειών με χρήση του πίνακα σύγχυσης και των δεδομένων ελέγχου.

1.5 Αλγόριθμοι επιβλεπόμενης Ταξινόμησης

1.5.1 Αλγόριθμος Μέγιστης Πιθανοφάνειας

Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας χρησιμοποιεί τα δεδομένα των περιοχών εκπαίδευσης για την εκτίμηση των κέντρων και της συνδιασποράς των φασματικών κατηγοριών, που έπειτα χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των πιθανοτήτων. Ο αλγόριθμος, για την υλοποίηση των ταξινομήσεων, εκτός από τις μέσες τιμές, λαμβάνει υπόψη και τη μεταβλητότητα των τιμών φωτεινότητας για κάθε φασματική κατηγορία. Όσο πιο ακριβής είναι η συλλογή των δεδομένων εκπαίδευσης, τόσο πιο ισχυρή και αποτελεσματική γίνεται η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας. Ένα πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής, είναι ότι παρέχει μία εκτίμηση των επικαλυπτόμενων περιοχών που μπορεί να προκύψουν, βασιζόμενη στα στατιστικά στοιχεία. Διαφέρει από άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούν μόνο τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των εικονοστοιχείων.

Η βάση του αλγόριθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας, όπως και άλλων στατιστικών αλγορίθμων, βρίσκεται στον υπολογισμό της παρακάτω πιθανότητας:

$$p(x_k | i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{|M_i|}} \exp\left(-\frac{1}{2} D^2\right)$$

όπου το $p(x_k | i)$ αντιπροσωπεύει την πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο k με διάνυσμα x_k να είναι μέλος της τάξης i , με M_i τον πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας για την κατηγορία i , και D^2 την απόσταση Mahalanobis μεταξύ του εικονοστοιχείου k και του κεντροειδούς της κατηγορίας i . Σε μία τυπική εκτέλεση του αλγόριθμου, κάθε εικονοστοιχείο τοποθετείται σε εκείνη την κατηγορία με την οποία εμφανίζει τη μεγαλύτερη a posteriori πιθανότητα, η οποία υπολογίζεται από τον τύπο:

$$L(i | x_k) = (P_i p(x_k | i) c) / (\sum_{j=1}^c P_j p(x_k | j) c)$$

όπου το $L(i | x_k)$ αντιπροσωπεύει την a posteriori πιθανότητα ένα pixel με διάνυσμα x_k να ανήκει στην κατηγορία i , P_i η a priori πιθανότητα για την κατηγορία i και c ο συνολικός αριθμός των κατηγοριών.

Η μέγιστη πιθανοφάνεια βασίζεται στην πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο να ανήκει σε μία συγκεκριμένη φασματική κατηγορία. Η βασική εξίσωση, υποθέτει πως αυτές οι πιθανότητες είναι ίσες για όλες τις κατηγορίες, και ότι τα ιστογράμματα των καναλιών που εισάγονται περιγράφονται από κανονικές κατανομές. Αν η υπόθεση αυτή δεν ισχύει, οι αλγόριθμοι του παραλληλεπιπέδου και της ελάχιστης απόστασης θα δώσουν πιθανώς καλύτερα αποτελέσματα.

1.5.2 Απόσταση Mahalanobis

Η μέθοδος της απόστασης Mahalanobis χρησιμοποιεί τα στατιστικά στοιχεία κάθε φασματικής κατηγορίας για την υλοποίηση της ταξινόμησης. Η κύρια διαφοροποίηση της από άλλες παραμετρικές μεθόδους είναι ότι στην εξίσωσή της χρησιμοποιείται και ο πίνακας συμμεταβλητότητας. Διαφέρει δηλαδή από την Ευκλείδεια απόσταση στο γεγονός ότι λαμβάνει υπόψη τις συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων και είναι ανεξάρτητη από την κλίμακα των παρατηρήσεων. Αλγεβρικά, η απόσταση Mahalanobis για ένα σύνολο τιμών με μέσο διάνυσμα $\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_N)$ και πίνακα συμμεταβλητότητας S για ένα πολυδιάστατο διάνυσμα $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$ ορίζεται ως:

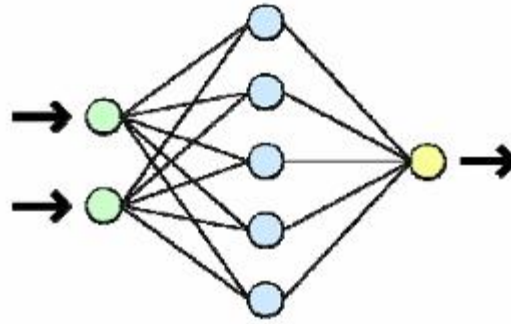
$$D_M(x) = \sqrt{(x - \mu)^T S^{-1} (x - \mu)}$$

Η απόσταση Mahalanobis μπορεί ακόμη να οριστεί ως μέτρο ανομοιότητας μεταξύ δύο τυχαίων διανυσμάτων x και y της ίδιας κατανομής με τον πίνακα συμμεταβλητότητας.

Για την εφαρμογή συνεπώς του αλγορίθμου στη διαδικασία ταξινόμησης ενός άγνωστου εικονοστοιχείου σε κάποια από τις φασματικές κατηγορίες, ο χρήστης πρέπει πρώτα να υπολογίσει τον πίνακα συμμεταβλητότητας για κάθε μία φασματική κατηγορία, βασιζόμενος στις περιοχές εκπαίδευσης που έχει επιλέξει. Το κάθε άγνωστο εικονοστοιχείο ταξινομείται στην ομάδα από την οποία απέχει την ελάχιστη απόσταση. Υπάρχει η περίπτωση βέβαια, ο χρήστης να έχει επιλέξει κάποιο «κατώφλι» και κάποια εικονοστοιχεία να παραμείνουν αταξινώμετα.

1.5.3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (NN)

Η ανάπτυξη των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων ή απλά Νευρωνικών Δικτύων (NN) ξεκίνησε πριν από 50 χρόνια περίπου λόγω της επιθυμίας του ανθρώπου να κατανοήσει καλύτερα τον ανθρώπινο εγκέφαλο και να εξομοιώσει μερικές από τις ικανότητές του. Δεν υπάρχει κάποιος ευρέως αποδεκτός ορισμός των NN. Συνοπτικά, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι ένας τρόπος επεξεργασίας δεδομένων που βασίζεται στο πρότυπο του ανθρώπινου εγκεφάλου χρησιμοποιώντας την κεντρική ιδέα της λογικής λειτουργίας του. Τα NN βασίζονται σε μία συλλογή μονάδων, αντίστοιχες προς τους νευρώνες, και προσπαθούν να επιτελέσουν τις ανάλογες διεργασίες. Τα NN είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για προβλήματα ταξινόμησης και προσέγγισης συναρτήσεων τα οποία έχουν αρκετά δεδομένα εκπαίδευσης και είναι ανεκτικά όσον αφορά την ακρίβεια (Sarle, 1997). Είναι ιδιαίτερα ικανά σε συνδυαστικά προβλήματα και σε γενικοποιήσεις, και έχουν χρησιμοποιηθεί μερικώς και για πρόγνωση χωρικής εμφάνισης πυρκαγιών (Vasconcelos et al. 2001).



Εικόνα 2: Τυπική δομή ΤΝΔ με ένα κρυφό επίπεδο

Η προσέγγιση των συναρτήσεων για τον υπολογισμό των τριών αρχικών δεικτών πραγματοποιήθηκε με την χρήση ΝΝ τα οποία εκπαιδεύτηκαν με την μέθοδο της ανάστροφης διάδοσης σφάλματος. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για την επιβλεπόμενη εκπαίδευση ΝΝ ευθείας τροφοδότησης. Αποτελεί την πιο δημοφιλή μέθοδο για την εκπαίδευση ενός ΝΝ με πολλά επίπεδα επεξεργασίας. Αναπτύχθηκε σε διάφορες παραλλαγές αλλά προωθήθηκε και έγινε δημοφιλής από τους Rumelhart and McClelland (1986). Η κεντρική ιδέα είναι αρκετά απλή: Το δίκτυο ξεκινά την διαδικασία μάθησης από τυχαίες τιμές των βαρών του. Εάν δώσει λάθος απάντηση (που είναι και το πιο πιθανό) τότε τα βάρη διορθώνονται, έτσι ώστε το λάθος να γίνει μικρότερο. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές έτσι ώστε σταδιακά το λάθος ελαττώνεται μέχρι να γίνει πολύ μικρό και ανεκτό.

Ως συνάρτηση ενεργοποίησης, η οποία χρειάζεται για την εφαρμογή της μη-γραμμικότητας στο δίκτυο, χρησιμοποιείται η παρακάτω λογιστική συνάρτηση τόσο στα ενδιάμεσα επίπεδα επεξεργασίας όσο και στην έξοδο του ΝΔ, η λογιστική συνάρτηση:

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

Αυτή η συνάρτηση προσεγγίζει το 1, για μεγάλες και θετικές τιμές του z , και το 0 για μεγάλες και αρνητικές τιμές του z , και είναι κατάλληλη για την εμφάνιση ή μη δασικών πυρκαγιών επειδή η εξαρτημένη μεταβλητή έχει δυαδική τιμή (0 ή 1) (Jordan, 1995; Sarle, 1997). Επίσης, η χρήση μιας τέτοιας συνάρτησης ως συνάρτησης ενεργοποίησης επιτρέπει να ερμηνευτεί το αποτέλεσμα ως πιθανότητα (Bishop, 1995).

Στόχος της εκπαίδευσης είναι να ελαχιστοποιηθεί η συνάρτηση του λάθους μέσω της διόρθωσης των βαρών w . Για την αξιολόγηση της απόδοσης του ΝΝ χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (MSE):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_k [\hat{t}]_k - d_k)^2 \quad \square$$

όπου \hat{t}_k το επιθυμητό αποτέλεσμα, d_k το πραγματικό αποτέλεσμα στο τελευταίο επίπεδο επεξεργασίας και n ο συνολικός αριθμός του δείγματος εκπαίδευσης.

1.6 Δειγματοληψία – Μέγεθος δείγματος

Η μέθοδος δειγματοληψίας που επιλέγεται συχνότερα είναι η στρωματική τυχαία δειγματοληψία. Στη μέθοδο αυτή, ο αναλυτής επιλέγει ένα σύνολο από στρώματα στα οποία διαιρείται η εικόνα και ένα ελάχιστο πλήθος δειγμάτων από κάθε στρώμα. Τα στρώματα μπορούν να είναι κάθε κατηγορία που εμφανίζεται μία ή περισσότερες φορές στην εικόνα. Η στρωματική τυχαία δειγματοληψία υπερτερεί της απλής διότι εξασφαλίζει την αντιπροσώπευση των μικρών τάξεων και την εκτίμηση της ακρίβειάς τους.

Το μέγεθος του δείγματος που πρέπει να ληφθεί για την εκτίμηση των κατηγοριών μετά την ταξινόμηση συνήθως είναι δύσκολο να προσδιορισθεί. Μερικοί αναλυτές χρησιμοποιούν μια συνάρτηση που βασίζεται στη διωνυμική κατανομή για τον υπολογισμό της ολικής ακρίβειας μιας ταξινόμησης. Συγκεκριμένα, αν N είναι το πλήθος των δειγμάτων που πρέπει να χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης, τότε από τη συνάρτηση της διωνυμικής πιθανότητας είναι:

$$N = [Z^2 (p) (q)] / E^2$$

Όπου p = αναμενόμενη % ακρίβεια

$q = 100 - p$

E = το επιτρεπόμενο σφάλμα και

$Z = 2$ από την τυπική απόκλιση κανονικής κατανομής (1.96 για το 95%).

Για παράδειγμα, αν για ένα δείγμα αναμένεται ακρίβεια $p = 85\%$ και το επιτρεπόμενο σφάλμα είναι $E = 5\%$, το πλήθος των σημείων που απαιτούνται είναι:

$$N = [2^2 (85) (15)] / 5^2 = 204 \text{ σημεία το ελάχιστο.}$$

Παρατηρείται ότι για μεγαλύτερο επιτρεπόμενο σφάλμα, επομένως μικρότερη ακρίβεια, απαιτούνται λιγότερα σημεία ελέγχου στην εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης (Τσακίρη, 2004).

Εντούτοις, σύμφωνα με τον Congalton (1991), η συνάρτηση διωνυμικής κατανομής δε σχεδιάστηκε για να επιλέγει ο αναλυτής ένα μέγεθος δείγματος για τη συμπλήρωση ενός πίνακα σφάλματος. Στην περίπτωση του πίνακα σφάλματος είναι σημαντικό να προσδιοριστεί σε ποιες κατηγορίες υπάρχει σύγχυση και να εξασφαλιστούν ικανοποιητικά δείγματα για να μπορεί αυτή η σύγχυση να αντιπροσωπευθεί επαρκώς. Επειδή τα τηλεπισκοπικά δεδομένα έχουν μεγάλο πλήθος ψηφίδων, για την ισορροπία μεταξύ πρακτικής και στατιστικής, εμπειρικά προτείνεται η συλλογή τουλάχιστον 50 δειγμάτων για κάθε τάξη κάλυψης γης. Εάν η περιοχή είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη ή η ταξινόμηση περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό κατηγοριών κάλυψης γης (πάνω από 12), ο ελάχιστος αριθμός δειγμάτων πρέπει να αυξηθεί στα 75 ή 100 δείγματα ανά κατηγορία.

Το πλήθος των δειγμάτων για κάθε κατηγορία μπορεί επίσης να ρυθμιστεί βάσει της σημαντικότητας εκείνης της κατηγορίας σε σχέση με τους στόχους της χαρτογράφησης ή βάσει της έμφυτης μεταβλητότητας καθεμιάς κατηγορίας. Μερικές φορές είναι καλύτερο να επικεντρωθεί η δειγματοληψία στις κατηγορίες ενδιαφέροντος και να αυξηθεί ο αριθμός των δειγμάτων τους, μειώνοντας παράλληλα τον αριθμό των δειγμάτων των λιγότερο σημαντικών κατηγοριών. Επίσης, μπορεί να είναι χρήσιμο να ληφθούν λιγότερα δείγματα στις κατηγορίες που παρουσιάζουν μικρή μεταβλητότητα όπως το νερό και να αυξηθούν τα δείγματα των κατηγοριών που είναι πιο μεταβλητές, όπως οι παρόχθιες περιοχές. Ο στόχος σε κάθε περίπτωση είναι να ισορροπηθούν οι στατιστικές συστάσεις με το χρόνο, το κόστος και τους πρακτικούς περιορισμούς που συνδέονται με οποιοδήποτε εφαρμόσιμο πρόγραμμα τηλεπισκόπησης.

1.7 Χαρακτηριστικά - Πηγές σφαλμάτων ταξινόμησης

Σφάλμα ταξινόμησης είναι η αντιστοίχιση ενός εικονοστοιχείου κάποιας κατηγορίας, όπως καθορίζεται από μετρήσεις υπαίθρου, σε μια άλλη κατηγορία κατά την ταξινόμηση των δεδομένων της εικόνας. Υπάρχουν λίγες συστηματικές μελέτες των γεωγραφικών χαρακτηριστικών αυτών των σφαλμάτων, αλλά η εμπειρία προτείνει ότι τα **χαρακτηριστικά** αυτά είναι:

- Τα σφάλματα δεν κατανομούνται τυχαία σε όλη την εικόνα, αλλά ως έναν βαθμό εμφανίζονται κατά συστηματικό τρόπο στο χώρο (π.χ. κάποια σφάλματα μπορεί να σχετίζονται με μια συγκεκριμένη κατηγορία βλάστησης).
- Εσφαλμένα ταξινομημένα εικονοστοιχεία εμφανίζονται ομαδοποιημένα σε περιοχές μεταβλητού μεγέθους και σχήματος.
- Τα σφάλματα έχουν την τάση να εμφανίζονται σε τμήματα της επιφάνειας της γης συγκεκριμένου μεγέθους, σχήματος και θέσης.
- Σφάλματα εμφανίζονται συνήθως στα όρια ή στο εσωτερικό τμημάτων της επιφάνειας της γης (Μερτίκας, 1999).

Σφάλματα εμφανίζονται σε κάθε ταξινόμηση. Η συνθετότητα των ψηφίδων μέσα στα τμήματα των τάξεων μιας εικόνας της γήινης επιφάνειας συνεισφέρει στη δυνατότητα εμφάνισης σφαλμάτων στην ταξινόμηση. Για παράδειγμα, μια απλή γήινη επιφάνεια που αποτελείται από μεγάλες, ενιαίες και διακριτές κατηγορίες μπορεί να λεχθεί ότι ταξινομείται με ακρίβεια πιο εύκολα από μια επιφάνεια μικρή και ετερογενή.

Στην καθοδηγούμενη ταξινόμηση, τα σφάλματα συνήθως προέρχονται από τη μη-αναγνώριση των τμημάτων του εδάφους, την "υπερβολική" γενίκευση, τα σφάλματα καταγραφής, τις μεταβολές στην ερμηνεία των εικόνων και άλλους παράγοντες. Ίσως η απλούστερη αιτία σφαλμάτων σχετίζεται με την εσφαλμένη αντιστοίχιση των ειδών της πληροφορίας με τις φασματικές τάξεις. Για παράδειγμα, ο εκτεθειμένος γρανίτης σε ορεινές περιοχές μπορεί εύκολα να μπερδευτεί με τη φασματική εικόνα που δίνει το μετόν σε κατοικημένες περιοχές.

Ο τηλεπισκοπικός δέκτης μπορεί να δημιουργήσει σφάλματα σε ορισμένα επίπεδα της χωρικής, ραδιομετρικής και φασματικής ανάλυσης με τις αντίστοιχες μεταβλητές των τμημάτων του εδάφους. Επιπλέον, ο θόρυβος του συστήματος μπορεί να δημιουργήσει σφάλματα που προέρχονται από τον εν γένει σχεδιασμό και λειτουργία του. Τέλος, σφάλματα στην ταξινόμηση μπορεί να προκαλέσει η προετοιμασία για την επεξεργασία που γίνεται για να διορθωθούν ραδιομετρικά και γεωμετρικά σφάλματα της εικόνας (Αγγελοπούλου, 2003).

1.7.1 Εκτίμηση της ακρίβειας ταξινόμησης

Για να ολοκληρωθεί η διαδικασία της ταξινόμησης είναι απαραίτητη η εκτίμηση της ακρίβειάς της. Το ποσοστό επιτυχίας της ταξινόμησης καθορίζεται από το βαθμό σφάλματός της, δηλαδή από το πλήθος των ψηφίδων που ταξινομήθηκαν σε λάθος τάξη. Οι λόγοι για τους οποίους γίνεται εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης είναι:

- Η ανάγκη για **βελτίωση της ποιότητας της πληροφορίας** του χάρτη με τον προσδιορισμό και τη διόρθωση των πηγών σφαλμάτων.
- Η ανάγκη για τη **σύγκριση ποικίλων τεχνικών**, αλγορίθμων ή και ερμηνειών, προκειμένου να προσδιορισθεί ποια είναι η καλύτερη.
- Αν η πληροφορία που προέρχεται από τηλεπισκοπικές εικόνες πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε μια **διαδικασία λήψης αποφάσεων**, είναι κρίσιμο να είναι γνωστό κάποιο μέτρο εκτίμησης της ποιότητάς τους (URL1).

Η εκτίμηση της ακρίβειας είναι ένας γενικός όρος για τη σύγκριση της ταξινόμησης με γεωγραφικά δεδομένα που υποτίθεται ότι υφίστανται στην πραγματικότητα, προκειμένου να καθοριστεί η ακρίβεια της ταξινόμησης. Τα υποτιθέμενα πραγματικά δεδομένα προκύπτουν συνήθως από τα στοιχεία «υπαίθριας επιβεβαίωσης». Κατά τη διαδικασία της εκτίμησης χρησιμοποιείται ένα σύνολο από pixels αναφοράς (ελέγχου), τα οποία είναι σημεία στην ταξινομημένη εικόνα με γνωστά τα πραγματικά τους στοιχεία και επιλεγμένα τυχαία.

Ο αναλυτής έχει συνήθως την τάση να επιλέγει τα ίδια σύνολα pixels αναφοράς για τη δοκιμή της ταξινόμησης με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στα δείγματα εκπαίδευσης. Αυτό όμως προκαταλαμβάνει τη δοκιμή δεδομένου ότι τα δείγματα εκπαίδευσης αποτελούν τη βάση της ταξινόμησης- και οδηγεί σε υπερεκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης. Όταν όμως τα pixels αναφοράς επιλέγονται τυχαία, η πιθανότητα της προκατάληψης ελαττώνεται ή εξαλείφεται. Ο αριθμός των pixels αναφοράς είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό της ακρίβειας της ταξινόμησης. Έχει αποδειχθεί ότι απαιτούνται περισσότερα από 250 pixels αναφοράς για να υπολογίσουν τη μέση ακρίβεια μιας τάξης με ποσοστό απόκλισης $\pm 5\%$ (URL2).

1.7.2 Πίνακας εκτίμησης ακρίβειας

Σύμφωνα με τον Congalton (1991), η εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης γίνεται μέσω του πίνακα εκτίμησης ακρίβειας, από τον οποίο μπορούν να εξαχθούν δύο είδη αναφοράς: ο **πίνακας σφάλματος** (error matrix) και η **αναφορά ακρίβειας** (accuracy report). Ο πίνακας σφάλματος συγκρίνει τα pixels αναφοράς με τα ταξινομημένα σημεία σε ένα πίνακα διαστάσεων ίσων με τον αριθμό των τάξεων. Η αναφορά ακρίβειας υπολογίζει τις στατιστικές των ποσοστών ακρίβειας βασιζόμενη στα αποτελέσματα του πίνακα σφάλματος. Κατά την ερμηνεία των αναφορών είναι σημαντικό ο αναλυτής να παρατηρήσει τα ποσοστά των σωστά ταξινομημένων pixels και να καθορίσει τη φύση των λαθών του παραγωγού και του ίδιου.

Ο πίνακας σφάλματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημείο εκκίνησης για μια σειρά από περιγραφικές και αναλυτικές στατιστικές τεχνικές. Ίσως η απλούστερη περιγραφική στατιστική είναι η **ολική ακρίβεια** που υπολογίζεται διαιρώντας τον συνολικό αριθμό των σωστών pixels (το άθροισμα της κύριας διαγωνίου) με τον συνολικό αριθμό των pixels του πίνακα σφάλματος. Με όμοιο τρόπο μπορούν να υπολογιστούν επιπλέον οι ακρίβειες των ατομικών τάξεων. Αυτή η περίπτωση εν τούτοις είναι λίγο πιο σύνθετη, δεδομένου ότι ο αναλυτής έχει να επιλέξει το πλήθος των σωστά ταξινομημένων ψηφίδων που διαιρείται με το ολικό πλήθος των ψηφίδων στην αντίστοιχη σειρά ή στήλη.

Παραδοσιακά, το ολικό πλήθος των σωστών pixels σε μια κατηγορία διαιρείται με το ολικό πλήθος των ψηφίδων της κατηγορίας, όπως ταξινομήθηκε με τα δεδομένα αναφοράς. Αυτό το μέτρο ακρίβειας προσδιορίζει την πιθανότητα ένα pixel αναφοράς να έχει ταξινομηθεί σωστά και αποτελεί στην πραγματικότητα μια μέτρηση του σφάλματος αποφόρτισης/παράλειψης (omission error). Αυτή η μέτρηση ακρίβειας καλείται συχνά **«ακρίβεια παραγωγού/ αναλυτή»**, γιατί ο παραγωγός της ταξινόμησης ενδιαφέρεται για το πόσο καλά μπορεί να ταξινομηθεί μια συγκεκριμένη περιοχή.

Από την άλλη πλευρά, αν ο συνολικός αριθμός των σωστών pixels σε μια κατηγορία διαιρείται με το συνολικό αριθμό pixels που ταξινομήθηκαν σε αυτή την κατηγορία, τότε αυτό το αποτέλεσμα είναι μια μέτρηση του σφάλματος επιφόρτισης (commission error). Αυτή η μέτρηση, η οποία ονομάζεται **«ακρίβεια χρήστη» ή αξιοπιστία**, δηλώνει την πιθανότητα ένα pixel που ταξινομήθηκε στο χάρτη/εικόνα, να αναπαριστά πραγματικά αυτή την κατηγορία στο έδαφος (Story and Congalton, 1986) (Από Congalton, 1991).

Δεδομένου ότι για την ακρίβεια της ταξινόμησης μπορεί να ενδιαφέρεται άλλοτε ο αναλυτής και άλλοτε ο χρήστης της παραγόμενης θεματικής εικόνας, είναι απαραίτητο σε όλες τις ταξινομήσεις να παρουσιάζονται και οι τρεις μετρήσεις ακρίβειας:

- ολική ακρίβεια
- ακρίβεια παραγωγού
- ακρίβεια χρήστη.

Reference Data					
	D	C	BA	SB	row total
D	65	4	22	24	115
C	6	91	5	8	100
BA	0	11	85	19	115
SB	4	7	3	90	104
column total	75	103	115	141	434

Land Cover Categories

D = deciduous
C = conifer
BA = barren
SB = shrub

OVERALL ACCURACY = 321/434 = 74%

PRODUCER'S ACCURACY

D = 65 / 75 = 87%
C = 81 / 103 = 79%
BA = 85 / 115 = 74%
SB = 90 / 141 = 64%

USER'S ACCURACY

D = 65 / 115 = 57%
C = 81 / 100 = 81%
BA = 85 / 115 = 74%
SB = 90 / 104 = 87%

Εικόνα 3: Παράδειγμα πίνακα σφάλματος ταξινόμησης με τέσσερις κατηγορίες κάλυψης γης (D:φυλλοβόλα, C:κωνοφόρα, BA:άγονο έδαφος, SB:θάμνοι). Στον πίνακα παρουσιάζεται η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης καθώς και η ακρίβεια του παραγωγού και του χρήστη για καθεμιά κατηγορία (Congalton, 1991).

Ο πίνακας σφάλματος αντιπροσωπεύει όλη την ταξινόμηση. Εάν ο πίνακας δεν παραχθεί κατάλληλα, τότε η ανάλυση της ταξινόμησης δεν έχει νόημα. Συνεπώς, για τη δημιουργία του πίνακα σφάλματος πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες:

- η συλλογή στοιχείων υπαίθρου
- η χρήση των δειγμάτων εκπαίδευσης σε σχέση με τα δείγματα ελέγχου
- το μέγεθος του δείγματος
- το σύστημα της δειγματοληψίας
- το σύστημα της ταξινόμησης
- η εφαρμογή κατάλληλων περιγραφικών στατιστικών και τεχνικών διακριτών στατιστικών πολλών μεταβλητών.

Καθένας από αυτούς τους παράγοντες παρέχει θεμελιώδη πληροφορία στην εκτίμηση. Αν δε ληφθεί υπόψη έστω και ένας από αυτούς, μπορεί η διαδικασία εκτίμησης της ταξινόμησης να εμφανίσει σοβαρές ελλείψεις.

Αναλυτικότερα, προκειμένου να εκτιμηθεί επαρκώς η ακρίβεια της ταξινόμησης δεδομένων τηλεπισκόπησης πρέπει να συλλεχθούν ορθά **επίγεια στοιχεία ή στοιχεία αναφοράς**. Ωστόσο, ούτε η ακρίβεια των επίγειων στοιχείων είναι συνήθως γνωστή, ούτε έχει διασαφηνιστεί το επίπεδο της προσπάθειας που απαιτείται για τη συλλογή των κατάλληλων στοιχείων. Η κλασική λύση σε αυτό το πρόβλημα για τον παραγωγό και το χρήστη της ταξινόμησης, είναι να υποθέσει ότι κάποια από τα σύνολα των στοιχείων αναφοράς είναι σωστά. Η υπόθεση αυτή μπορεί να βασιστεί σε ορισμένα στοιχεία αναφοράς, όπως τα αποτελέσματα κάποιας φωτοερμηνευτικής ή εναέριας αναγνώρισης. Πιθανά λάθη όμως στην ερμηνεία θα επιβαρύνουν την ψηφιακή ταξινόμηση και ως εκ τούτου θα μειωθεί εσφαλμένα η ακρίβειά της. Παρόλο που κανένα σύνολο στοιχείων αναφοράς δεν είναι απόλυτα ακριβές, είναι σημαντικό τα

στοιχεία αναφοράς να έχουν υψηλή ακρίβεια, ειδικά δεν είναι επαρκή για την εκτίμηση της ταξινόμησης.

Ένας άλλος παράγοντας στον οποίο επιβάλλεται να δοθεί προσοχή είναι το **σύστημα ταξινόμησης**. Ο αναλυτής μπορεί είτε να χρησιμοποιήσει ένα ήδη υπάρχον σύστημα, όπως το σύστημα ταξινόμησης Anderson (Anderson et al., 1976) (Από Congalton, 1991), είτε να δημιουργήσει ένα νέο που εξυπηρετεί τους στόχους της μελέτης. Σε κάθε περίπτωση υπάρχουν κάποιοι απλοί κανόνες που συνίσταται να ακολουθούνται:

Κάθε περιοχή που πρόκειται να ταξινομηθεί πρέπει να εμπίπτει σε μία και μοναδική κατηγορία ή τάξη.

2. Κάθε περιοχή πρέπει να συμπεριληφθεί στην ταξινόμηση.

3. Εάν είναι δυνατόν είναι πολύ συμφέρον να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ταξινόμησης που να είναι ιεραρχικό στη φύση. Όταν χρησιμοποιείται ένα τέτοιο σύστημα, ορισμένες κατηγορίες μπορούν να συγχωνευτούν και να σχηματίσουν πιο γενικές κατηγορίες. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν γίνεται προσπάθεια να διατηρηθούν προκαθορισμένα όρια ακρίβειας. Δύο ή περισσότερες κατηγορίες με ακρίβεια χαμηλότερη από την ελάχιστη απαιτούμενη, μπορεί να χρειαστεί να συγχωνευτούν για να σχηματίσουν μια γενικότερη κατηγορία που υπερβαίνει την ελάχιστη απαραίτητη ακρίβεια.

Επειδή το σύστημα ταξινόμησης είναι τόσο σημαντικό, δεν πρέπει να ξεκινήσει καμιά εργασία στα δεδομένα τηλεπισκόπησης έως ότου το σύστημα επιθεωρηθεί πλήρως και εντοπιστούν όσο το δυνατόν περισσότερα προβλήματα.

1.7.3 Η Κappa ανάλυση

Η **Κappa ανάλυση** είναι μια διακριτή πολυμεταβλητή τεχνική που χρησιμοποιείται στην εκτίμηση της ακρίβειας για τη σύγκριση ενός πίνακα σφάλματος με έναν άλλο. Το αποτέλεσμα είναι ένας στατιστικός συντελεστής K, ο οποίος είναι ένα άλλο μέτρο συμφωνίας ή ακρίβειας.

Ο συντελεστής K είναι μια μέτρηση διαφοράς μεταξύ των **πραγματικών συμφωνιών** που παρατηρήθηκαν μεταξύ των δεδομένων αναφοράς και της ταξινόμησης (όπως παρουσιάζονται στα διαγώνια στοιχεία του πίνακα σφάλματος) και των **τυχαίων συμφωνιών** μεταξύ των δεδομένων αναφοράς και της ταξινόμησης.

$$K = \frac{\text{observed. accuracy} - \text{chance. agreement}}{1 - \text{chance. agreement}}$$

Ο στατιστικός αυτός συντελεστής λειτουργεί ως δείκτης μεγέθους/ βαθμού, με τον οποίο οι % σωστές τιμές του πίνακα σφάλματος οφείλονται στις «σωστές» συμφωνίες έναντι των «πιθανών/ τυχαίων» συμφωνιών. Αν οι σωστές συμφωνίες προσεγγίζουν τη μονάδα και οι πιθανές συμφωνίες προσεγγίζουν το μηδέν, τότε το K προσεγγίζει τη μονάδα. Αυτή είναι η ιδανική περίπτωση. Στην πραγματικότητα συνήθως το K εκτείνεται μεταξύ μηδέν και ένα. Παράδειγμα αν K= 0.67, αυτό σημαίνει ότι η

ταξινόμηση λόγω των πραγματικών συμφωνιών είναι 67% καλύτερη από την τυχαία ταξινόμηση. Για $K=0$, η ταξινόμηση δεν είναι καλύτερη από μια τυχαία καταχώρηση των ψηφίδων. Σε περίπτωση που η πιθανή/ τυχαία συμφωνία είναι αρκετά μεγάλη, το K μπορεί να πάρει αρνητικές τιμές με αποτέλεσμα ο δείκτης να εκφράζει φτωχή ταξινόμηση.

Ο στατιστικός δείκτης K ορίζεται από τη σχέση:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}$$

Όπου N = πλήθος παρατηρήσεων

$i=1,2, \dots, r$ με r το πλήθος των γραμμών ή στηλών στον πίνακα σφάλματος

x (με δείκτη ii)= το πλήθος των παρατηρήσεων στη διαγώνιο του πίνακα

x (με δείκτη $i+$)= ολικά περιθώρια στηλών

x (με δείκτη $+i$)= ολικά περιθώρια γραμμών.

Οι διαφορές μεταξύ της ολικής ακρίβειας και του δείκτη K οφείλονται στο ότι διαχειρίζονται διαφορετικά τις πληροφορίες του πίνακα σφάλματος. Η ολική ακρίβεια περιλαμβάνει μόνο τα διαγώνια στοιχεία του πίνακα χωρίς να λαμβάνει υπόψη τα σφάλματα omission και commission. Αντίθετα, ο δείκτης K χρησιμοποιεί τόσο τα διαγώνια όσο και τα μη διαγώνια στοιχεία.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του δείκτη K είναι η ιδιότητά του να χρησιμοποιεί την τιμή αυτή ως βάση για τον προσδιορισμό της στατιστικής σπουδαιότητας κάθε πίνακα ή τις διαφορές μεταξύ πινάκων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του δείκτη K αποτελεί η περίπτωση που το ζητούμενο είναι να συγκριθούν οι πίνακες σφάλματος, οι οποίοι είναι αποτέλεσμα ταξινόμησης εικόνων διαφορετικών ημερομηνιών ή τεχνικών.

1.8 Αναδρομή στις μεθόδους και τεχνικές χαρτογράφησης χρήσης/κάλυψης γης.

Παραδοσιακά η μέθοδος χαρτογράφησης αποτελεί την αποτύπωση της επιφάνειας της εκάστοτε περιοχής μελέτης με επιτόπιες αυτοψίες στο πεδίο. Χαρτογραφήσεις υπεδάφινων χαρακτηριστικών όπως πετρωμάτων, ή σκιασμένων επιφανειών όπως η αναγέννηση του υπόροφου σε ένα δάσος, καταγράφονται μόνο με επιτόπιες αυτοψίες. Στο πεδίο όμως ο επιστήμονας κατά την αποτύπωση των κλάσεων περιορίζεται σε μια πλάγια όψη μικρής έκτασης κάθε φορά. Συνεπώς η χωρική ποικιλομορφία μέσα στα χαρτογραφημένα πολύγωνα και στα όρια αυτών τις περισσότερες φορές αποτυπώνεται ανεπαρκώς, και ιδιαίτερα στα σύνθετα περιβάλλοντα όπου παρατηρούνται επικαλύψεις κλάσεων. Επιπροσθέτως, οι επισκέψεις στο πεδίο απαιτούν έξοδα, χρόνο, εντατική εργασία, προσβασιμότητα και γρήγορα χαρακτηρίζονται χρονικά ξεπερασμένες. Ο φόρτος της εργασίας μειώθηκε σημαντικά με τη χρήση αεροφωτογραφιών για στερεοσκοπική παρατήρηση και φωτοερμηνεία.

Η τεχνολογική πρόοδος των αεροφωτογραφιών και της χρήσης τους άλλαξε ριζικά τον τρόπο κατασκευής των χαρτών. Νέες τεχνικές και τεχνολογίες αναπτύχθηκαν, οι οποίες αφενός μεν επιταχύνουν τη διαδικασία χαρτογράφησης και κατά συνέπεια μειώνουν το κόστος, αφετέρου δε, καθιστούν δυνατή την ακριβή χαρτογράφηση απρόσιτων ορεινών περιοχών (Dickinson 1979). Η φωτοερμηνεία σε συνδυασμό με την φωτογραμμετρία, μπορούν να χαρακτηρίσουν, να ερμηνεύσουν και να ταξινομήσουν σε κλάσεις την επιφάνεια του εδάφους με τη χρήση αεροφωτογραφιών. Αυτού του είδους η εργασία απαιτεί ελάχιστη δουλειά πεδίου και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Πολλές φορές όμως δεν υπάρχουν διαθέσιμες αεροφωτογραφίες για μια δεδομένη χρονική στιγμή, οπότε και ο ειδικός αναγκάζεται να χρησιμοποιήσει αρχαιακό υλικό. Το οποίο είναι συχνά περιορισμένο και οι πτήσεις για τη λήψη των αεροφωτογραφιών έχουν μεγάλο κόστος. Με χρήση του αρχαιακού υλικού ή σχεδιάζοντας εκ νέου λήψη αεροφωτογραφίας είναι δύσκολο να καταγραφεί η εποχικότητα των φυτών και να καλυφτεί μεγάλη επιφάνεια χωρίς τη χρήση μωσαϊκού από διαφορετικές ημερομηνίες πτήσης. Πρόβλημα ακόμη αποτελεί η ραδιομετρική ανάλυση των αεροφωτογραφιών, η οποία συνήθως εντοπίζεται αλλοιωμένη λόγω της εναλλαγής στην γωνία λήψης και του φωτισμού της περιοχής. Μέχρι πρόσφατα για τη λήψη αεροφωτογραφιών χρησιμοποιούταν ως επί τω πλείστον φιλμ και όχι ψηφιακό μέσο αποθήκευσης, το οποίο ήταν κατά κόρον παγχρωματικό και όχι υπέρυθρο ώστε να αποτυπώνει τη βλάστηση και της αλλαγές της καλύτερα. Βέβαια, η όλη διαδικασία παραγωγής χάρτη από αεροφωτογραφίες και επίγειες παρατηρήσεις δεν είναι απαλλαγμένη σφαλμάτων. Εκτός από τα σφάλματα σάρωσης της γης, παρατηρούνται και γεωμετρικές παραμορφώσεις των

αεροφωτογραφιών που οφείλονται στην προοπτική προβολή της αεροφωτογραφίας και στις αλλαγές στην κλίμακα εξαιτίας υψομετρικών μεταβολών του αναγλύφου και της επίκλισης της αεροφωτογραφίας. Τα σφάλματα αυτά διορθώθηκαν με τις ορθοφωτογραφίες και τους ορθοφωτοχάρτες, που είναι διορθωμένες αεροφωτογραφίες στις οποίες τα σημεία του αναγλύφου βρίσκονται στην ορθογραφική τους θέση και έχουν την ίδια ακριβώς κλίμακα (Καρτέρης, 1990).

Επισημαίνοντας τις αδυναμίες της εργασίας πεδίου και της χρήσης των αεροφωτογραφιών, γίνεται καταφανές πως χρειάζεται μια διαφορετική πηγή δεδομένων ειδικά έτσι όπως διαμορφώνεται η ανάγκη για ενημερωμένα προϊόντα ακριβείας (χάρτες χρήσης/κάλυψης γης). Τη λύση στο πρόβλημα έρχονται να δώσουν τα δορυφορικά δεδομένα τα οποία έχουν ευρύτερο πλαίσιο λήψης από τις αεροφωτογραφίες, καλύπτοντας έτσι μεγαλύτερες επιφάνειες στο έδαφος. Επίσης οι δορυφορικές πλατφόρμες παρέχουν εκτός από δεδομένα υψηλής ραδιομετρικής ποιότητας στο ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δεδομένα τόσο στο κοντινό τμήμα όσο και στο μέσο υπέρυθρο τμήμα, τα οποία έχουν μεγαλύτερο δυναμικό εύρος και κρίνονται ως τα πλέον κατάλληλα για χαρτογράφηση χρήσεων/κάλυψης γης (Lucas κ.α. 2004). Έτσι μπορούν να διακριθούν τα φασματικά χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων βλάστησης, και δίνεται η δυνατότητα αναγνώρισής τους. Ο συνδυασμός των διαύλων της εικόνας για την εξαγωγή της επιθυμητής πληροφορίας, η εφαρμογή τεχνικών οπτικής βελτίωσης της για να γίνουν πιο εμφανή τα φασματικά ή τα χωρικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων, και η εφαρμογή διαφόρων αλγορίθμων αυτόματης ταξινόμησης για την εξαγωγή των επιθυμητών κατηγοριών χρήσεων γης, είναι κάποιες από τις τεχνικές της δορυφορικής τηλεπισκόπησης.

Βασικά πλεονεκτήματα των δορυφορικών εικόνων έναντι των αεροφωτογραφιών και των κλασικών μεθόδων χαρτογράφησης είναι τα παρακάτω (Καρτέρης, 1999):

- Συνοπτική κάλυψη της γης
- Επαναλαμβανόμενη κάλυψη
- Κατά χώρο διακριτική ικανότητα
- Πολυφασματική δομή δεδομένων
- Ψηφιακή μορφή δεδομένων
- Σχεδόν ορθογραφική κάλυψη
- Δυνατότητα, έγχρωμης και ψευδοέγχρωμης απόδοσης των δεδομένων.
- Δυνατότητα συνδυασμού φασματικών διαύλων
- Προσβασιμότητα
- Ομοιογένεια δεδομένων
- Διαχρονική ανάλυση
- “Φωτογραφική” απόδοση
- Δυνατότητα συνδυασμού με άλλα δεδομένα
- Δυνατότητα δυναμικής επεξεργασίας
- Χωρική/περιγραφική απόδοση
- Εύκολη αναπαραγωγή
- Υλικοτεχνική υποδομή
- Ελεύθερη απόκτηση δεδομένων
- Χαμηλό κόστος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δορυφορικά δεδομένα είναι πλέον σήμερα ανταγωνιστικά και όχι συμπληρωματικά των αεροφωτογραφιών, και σε κάποιο βαθμό των επίγειων μετρήσεων. Για την τελευταία παρατήρηση πρέπει να τονιστεί ότι οι επίγειες μετρήσεις είναι απαραίτητες για μια πιο ικανοποιητική ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων, αλλά ο αριθμός των επισκέψεων και μετρήσεων και κατ'επέκταση ο απαιτούμενος χρόνος και κόπος για την ολοκλήρωση τέτοιων διαδικασιών, περιορίζεται σημαντικά. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα πεδίου που συλλέγονται έχουν πλέον καθαρά ρόλο βαθμονομητή, με την ικανότητα να ρυθμίζουν τις παραμέτρους του ταξινομητή ή να κρίνουν την ποιότητα της χαρτογράφησης.

Οι δορυφορικές εικόνες λοιπόν είναι ικανές να παρέχουν γρήγορα και με ακρίβεια θεματικά επίπεδα χαρτογράφησης. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, η συρροή διαθέσιμων ψηφιακών δεδομένων δημιούργησε νέες ανάγκες. Ο συνδυασμός, η ανάλυση, η παρουσίαση και η διαχείριση αυτών των θεματικών επιπέδων με ένα τρόπο οικονομικό, γρήγορο και ακριβή, ενσωμάτωσαν άμεσα στον τομέα της χαρτογράφησης τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π-Geographical Information Systems-G.I.S). Αυτά έδωσαν την ικανότητα στους ειδικούς για πρώτη φορά να συνδυάσουν χωρικές μεταβλητές, και να μπορούν να ανακαλέσουν και να αναβαθμίσουν την χωρική πληροφορία γρήγορα και εύκολα. Έτσι προέκυψαν τα πρώτα χαρτογραφικά μοντέλα συνδυάζοντας με ποικίλους τρόπους, διαφορετικά θεματικά επίπεδα που όλα μαζί περιέχονται στην ίδια βάση δεδομένων (Chuvieco και Congalton, 1989). Τα Γ.Σ.Π μαζί με την τηλεπισκόπηση, αποτελούν ότι πιο σύγχρονο έχει να επιδείξει η τεχνολογία στον τομέα της χαρτογράφησης.

Χρησιμοποιούνται κατά κόρον από επιστήμονες διαφόρων αντικειμένων και οι εφαρμογές τους έχει αποδειχτεί ότι είναι απεριόριστες.

1.8.1 Ανασκόπηση σε μελέτες έρευνας χαρτών χρήσης/κάλυψης γης.

Μέχρι σήμερα σε πολλές έρευνες έχουν χρησιμοποιηθεί δορυφορικά δεδομένα, και ιδιαίτερα του καταγραφέα Landsat TM, στον προσδιορισμό και καταγραφή των χρήσεων γης (Καρτέρης 1990, Fuller κ.α. 1994, Vogelmann κ.α. 1998, Muller κ.α. 1999). Η μεγαλύτερη και πιο σημαντική χρησιμότητα των δορυφορικών δεδομένων είναι η διάκριση και η χαρτογράφηση των επίγειων χαρακτηριστικών εξάγοντας χάρτες χρήσης κάλυψης γης. Σαν παράδειγμά χάρτες δασικών εκτάσεων με ακριβή υπολογισμό έκτασης που καταλαμβάνουν που η ακρίβεια των θεματικών χαρτών μπορεί να φτάνει και να ξεπερνά το 90%. (Williams & Nelson 1986, Wolter κ.α. 1995).

Οι Nelson κ.α. (1984) χρησιμοποιώντας δεδομένα του M.S.S. υπολόγισαν τα δάση πλατύφυλλων και κωνοφόρων των Η.Π.Α. Έτσι, ενώ η ταξινόμηση της Δασικής Υπηρεσίας των Η.Π.Α. έδινε ότι το 13% της χώρας καλύπτεται από δάση κωνοφόρων και 15% από πλατύφυλλα, η ταξινόμηση των ψηφιακών δορυφορικών δεδομένων έδωσε 11% και 12% αντίστοιχα. Η στατιστική ανάλυση απέδειξε ότι το 74% των

κωνοφόρων και το 80% των πλατύφυλλων είχαν ταξινομηθεί σωστά και ότι η ακρίβεια ταξινόμησης ήταν 85%, ποσοστό αποδεκτό για τις δασικές απογραφές.

Ο Καρτέρης (1991) χρησιμοποίησε δορυφορικά δεδομένα SPOT για την ταξινόμηση των Μεσογειακών δασικών εκτάσεων με συνολική ακρίβεια της τάξης του 82%. Οι Καρτέρης και Μελιάδης (1992) αναφέρουν ότι ο συνδυασμός των καναλιών 3-4-5 του TM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση των ειδών, όπως κωνοφόρων, πλατύφυλλων, ελαιώνων και αστικών περιοχών. Ο συνδυασμός αυτός έδωσε συνολική ακρίβεια χρήστη 96,29%. Η διάκριση των δασοπονικών ειδών όμως, παρουσιάζει αρκετά προβλήματα και τις περισσότερες φορές είναι πολύ δύσκολη η αναγνώριση των ειδών (Horkins κ.α. 1988, Martin κ.α. 1998). Στην παγκόσμια βιβλιογραφία υπάρχουν μελέτες για την αναγνώριση των ειδών με αντιλεγόμενα αποτελέσματα. Παρακάτω γίνεται μια παρουσίαση μελετών πάνω στην αξιολόγηση και τη σύγκριση μεθόδων ταξινόμησης σε δεδομένα πολύ υψηλής ανάλυσης του δορυφόρου WorldView-2.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών, οι τηλεπισκοπικοί δορυφόροι έχουν αυξήσει την φασματική και τη χωρική τους ανάλυση. Οι δορυφόροι υψηλής ανάλυσης σε αντίθεση με αυτούς μέτριας ανάλυσης (π.χ. Landsat, SPOT) μπορούν να αναγνωρίζουν και μεμονωμένα αντικείμενα όπως δένδρα. Έτσι παρέχεται δυνατότητα για τη καλύτερη διαφοροποίηση των χρήσεων κάλυψης γης και κατ' επέκταση της κατηγοριοποίησης των χρήσεων. Οι εμπορικές δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρική ανάλυση μειώνουν συνεχώς το κόστος τους και παρουσιάζονται ως μια οικονομικότερη και αποδοτικότερη εναλλακτική λύση από την αεροφωτογράφιση και τη δημιουργία ψηφιακών χαρτών για την εξόρυξη πληροφοριών χρήσης κάλυψης γης (Davis & Wang, 2003).

Μέχρι σήμερα, η χαρτογράφηση των δασών και ο τύπος των ειδών δέντρων με τη χρήση υψηλής ανάλυσης δορυφορικά δεδομένα εικόνας δεν έχει παραχθεί με αποδεκτή ακρίβεια, ακόμα και σε δασώδης περιοχές, λόγω της έλλειψης επαρκούς φασματική πληροφορία (Chubey 2006, Goodwin 2005, Hall 1998, Johansen & Phinn, 2006, Ke & Quackenbush, 2007, Wang 2004). Για παράδειγμα, οι Carleer and Wolff (2004) πραγματοποίησαν μια μελέτη για τον εντοπισμό επτά ειδών δένδρων σε μια σχετικά ομοιογενή δασική έκταση, με χρήση δύο δορυφορικών εικόνων IKONOS που αποκτήθηκαν διαφορετικές εποχές (το καλοκαίρι και το φθινόπωρο) δεν κατάφερε όμως να επιτύχουν μεγάλη ακρίβεια μόνο τη μέτρια συνολική ακρίβεια του 82%. Οι Johansen και Phinn (2006) χρησιμοποιώντας IKONOS και Landsat TM+ δεδομένα σε τροπικές σαβάνες της Αυστραλίας, κατάφεραν ένα αποτέλεσμα 74 % ακρίβειας χαρτογράφηση των ειδών σύνθεσης της παρόχθιας βλάστηση που περιλαμβάνει έξι είδη / τύπους κατηγορίες δενδρώνων. Χρησιμοποιώντας IKONOS δεδομένα εικόνας για η περιοχή Iwamizawa στο κέντρο του Χοκάντο, στη βόρεια Ιαπωνία, μια περιοχή που κυριαρχείται από φυτείες κωνοφόρων και μικτά δάση που τυπικά αποτελούνται από πλατύφυλλα δέντρα με μεγάλες κορώνες, ο Katoh (2004) κατέταξε 14 είδη δέντρων / ομάδες με μέσο όρο ακρίβεια ταξινόμηση μόνο 52%.

Οι νέοι δορυφόροι όμως της DigitalGlobe, WorldView-1 και WorldView-2 φαίνεται να αύξησαν τα ποσοστά ακρίβειας και αξιοπιστίας της ταξινόμησης χρήσης/

κάλυψης γης. Οι Ruiliang Pu, και Shawn Landry το 2012 εξήγαγαν δεδομένα χαρτογράφησης 6 ειδών δένδρων στην περιοχή της πόλης Τάμπα στην Φλόριντα της Αμερικής από εικόνες των δορυφόρων WorldView-2 και IKONOS. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των ταξινομημένων εικόνων διαπίστωσαν ότι ο αισθητήρας WorldView-2 είχε καλύτερα αποτελέσματα κατά 16-18% σε σύγκριση με τον αισθητήρα IKONOS. Τα βελτιωμένα αποτελέσματα αποδίδονται στην καλύτερη χωρική ανάλυση και στα επιπλέον κανάλια του αισθητήρα WorldView-2 .

Οι Zhang Ruisi, Zeng Min, Chen Jianping το 2011 στην περιοχή Bangong-Nujiang στο κεντρικό Θιβέτ απόδειξαν μετά από σύγκριση εικόνων ETM+ και ASTER που θεωρούνται οι πιο ευρέως χρησιμοποιημένες, με εικόνα υψηλής χωρικής ανάλυσης WorldView-2 για εξαγωγή χαρτογράφησης εδαφολογικών χαρακτηριστικών. Τα αποτελέσματα έδειξαν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα των δεύτερων έναντι των πρώτων.

Επίσης μελέτη διεξάχθηκε από τη Διεύθυνση Έρευνας Διαστημικών Εφαρμογών του Πακιστάν από τον Ibrar ul Hassan Akhtar στην περιοχή Islamabad του Πακιστάν. Θέμα της έρευνας ήταν η σύγκριση διαφορετικών αλγορίθμων ταξινόμησης όπως ο Αλγόριθμος Maximum Likelihood Technique (MLT), Mahalanobis Distance Technique (MDT) και Spectral Angle Mapper Technique (SAMT) σε εικόνες της περιοχής μελέτης με ίδια ημερομηνίας λήψης, από τους δορυφόρους WorldView-2 και SPOT 5. Σκοπός ήταν να εξαχθούν οι κύριες κλάσεις όπως αραιή βλάστηση, άγονες περιοχές, τα αρδευόμενα αγροτεμάχια καθώς και συγκεκριμένα η καλλιέργειες σίτου και ζωοτροφών. Για το λόγο αυτό οι εικόνες πάρθηκαν το Μάρτιο του 2011 ως ο μήνας με την μεγαλύτερη ανάπτυξη των σιτηρών. Η ποιοτική ανάλυση για τους τρεις αλγορίθμους έγινε μέσω confusion matrix. Η συνολική ακρίβεια των ταξινομήσεων με την εικόνα WorldView-2 ήταν μεταξύ του 70% με 86%. Τα αποτελέσματα για την SPOT 5 είχαν καλύτερα ποσοστά αποτελέσματα αλλά μεγαλύτερο πρόβλημα υπερεκτίμησης. Για εξαγωγή χαρτών κάλυψης γης ο δορυφόρος WorldView-2 είχε τελικά καλύτερα αποτελέσματα από ότι η SPOT 5 λόγω του μισού μέτρου χωρικής ανάλυσης και στην ικανότητα ταξινόμησης χαρακτηριστικών όπως δένδρα, μικρούς δρόμους, σπίτια και άλλων τεχνητών κατασκευών. Ο αλγόριθμος Maximum Likelihood Technique είχε τα καλύτερα αποτελέσματα ενώ τα χειρότερα εξάχθηκαν από τον Spectral Angle Mapper.

Ακόμη μια μελέτη παρουσίασαν οι M.A. Cho, L. Naidoo, R. Mathieu, G.P. Asner στο Εθνικό Πάρκο Kruger στην Νότια Αφρική το 2009 για κατηγοριοποίηση δασών. Η μελέτη αποδεικνύει, μέσω της αξιολόγηση της φασματικής διαχωρισιμότητας, ότι εικόνες του δορυφόρου WorldView-2 είχαν καλύτερη ακρίβεια (91.9%) σε σχέση με τις εικόνες των δορυφόρων Landsat και SPOT (61.8%).

Το Μάιο του 2012 ο Dylan E. Broderick δημοσίευσε την έρευνα του που στόχευε στην δημιουργία ενός λεπτομερούς χάρτη κάλυψης γης 3036 km² στην γύρω περιοχή του Cherskiy στη βορειοανατολική Ρωσία, χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα WorldView-2. Προσπάθησε να χαρακτηρίσει την επίγεια περιεκτικότητα σε άνθρακα βάση της δειγματοληψίας σε εδαφολογικά χαρακτηριστικά και δεικτών βλάστησης

που συλλέχτηκαν τον Ιούλιο του 2011. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν της Ελάχιστης Απόστασης και της Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Η συνολική ακρίβεια του χάρτη από τον αλγόριθμο της Ελάχιστη Απόσταση ήταν 82%, με commission error 17%, και omission error 17%. Ενώ ο παραγόμενος χάρτης με χρήση του αλγορίθμου της Μέγιστης Πιθανοφάνειας είχε συνολική ακρίβεια 76%, commission error 27%, omission error 23%. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πλημμυρισμένες περιοχές περιείχαν την μεγαλύτερη ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα ανά εκτάριο, αλλά αποτελούσαν την μικρότερη περιοχή συνολικά. Η συνολική εκτιμώμενη επίγεια περιεκτικότητα σε άνθρακα για την περιοχή μελέτης ήταν 12,59 Tg.

Το αντικείμενο της έρευνα των M.R. Mustapha, H.S. Lim και M.Z. Mat Jafri στην έρευνα τους ήταν να συγκρίνουν τον παραμετρικό αλγόριθμο της Μέγιστης Πιθανοφάνειας και τον μη παραμετρικό των Νευρωνικών Δικτύων για την εξαγωγή χαρτών κάλυψης γης με δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης Worldview-2 στην ευρύτερη περιοχή της Μέκκας στην Σαουδική Αραβία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα Νευρωνικά Δίκτυα είχαν καλύτερο ποσοστό ακρίβειας με 89.3% και συντελεστή Kappa 0.820 έναντι του Αλγορίθμου της Μέγιστης Πιθανοφάνειας με ποσοστό ακρίβειας ταξινόμησης 80.3% και συντελεστή Kappa 0.672.

Με χρήση δορυφορικών δεδομένων Worldview-2 και με τη συμβολή του Knowledge-based λογισμικού InterIMAGE, πραγματοποιήθηκε η μελέτη των Ulisses D. V. Souza, Hermann J. H. Kux, στη νήσο Maranhão, βορειοανατολικά της Βραζιλίας. Σκοπός ήταν η ταξινόμηση του αστικού τμήματος του νησιού. Τα συμπεράσματα των αποτελεσμάτων έδειξαν ότι τα δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης του δορυφόρου WorldView-2 διευκόλυναν την αναγνώριση των αστικών χαρακτηριστικών χάρις τις πρόσθετα φασματικά κανάλια που διαθέτει ο δορυφόρος σε σχέση με τους συμβατικούς που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή χαρτών κάλυψης χρήσης γης, τονίζοντας τη χρήση του για τη διάκριση των διαφορετικών τύπων βλάστησης. Το λογισμικό InterIMAGE επέτρεψε μια γρήγορη ταξινόμηση των χαρακτηριστικών της εικόνας και χάρις της εύχρηστης χρησιμοποίησης του εργαλείου επεξεργασίας υψής τη εικόνας πραγματοποιήθηκε η βέλτιστη διάκριση των τάξεων.

Άλλη μελέτη σύγκρισης αποτελεσμάτων δορυφορικών εικόνων πάνω στην εξαγωγή χαρτών κάλυψης χρήσης γης με χρήση δορυφορικών δεδομένων υλοποιήθηκε από την Αικατερίνη Αϊναλή, για την περιοχή της Άνω Καλαμάς του Δήμου Παγωνιού της περιφέρειας Ηπείρου. Η σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων προερχόμενων από δορυφόρους IKONOS και WorldView2 απέδειξε ότι η χρησιμοποίηση εικόνων WorldView2 δίνει καλύτερα αποτελέσματα στην ταξινόμηση της βλάστησης από τις IKONOS.

Ο Justin E. Mesina πραγματοποίησε μελέτη εξαγωγής χαρτών χρήσης κάλυψης γης στην περιοχή του Σαν Φρανσίσκο χρησιμοποιώντας συνδυασμό LIDAR δεδομένων και φασματικών δεδομένων WorldView2. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο συνδυασμός των

δου ειδών δεδομένων σε ένα δένδρο αποφάσεων (decision tree) έχει καλύτερα από ότι θα είχε μόνο με WorldView-2

Οι Ahmed Elsharkawy, Mohamed Elhabiby, και Naser El-Sheimy προχώρησαν στην σύγκριση τεχνικών ταξινόμησης εικόνων ανάμεσα σε αλγόριθμους βασισμένοι στο εικονοστοιχείο (pixel-based) που θεωρούνται οι μέχρι τώρα πιο διαδεδομένοι και σε αντικειμενοστρεφή μέθοδο (object-based) που θεωρείται η πιο σύγχρονη μέθοδος ταξινόμηση, για την περιοχή του Καΐρου της Αιγύπτου. Στην έρευνα τους περιγράφουν ότι οι μέθοδοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης που είναι βασισμένη στην προσέγγιση ταξινόμησης του εικονοστοιχείου αποτελούν ένα προκαταρκτικό στάδιο για την τελική εξαγωγή αξιόπιστων χαρτών χρήσης κάλυψης γης (Bhaskaran et al., 2010). Ο απώτερος στόχος κάθε προσπάθειας ταξινόμησης εικόνας είναι τα εικονοστοιχεία της να κατηγοριοποιηθούν αυτόματα δημιουργώντας ως τελικό προϊόν ένα αξιόπιστο και όσον το δυνατόν πιο ακριβή χάρτη χρήσης κάλυψης γης (Lillesand and Kiefer, 2001). Για τον προσδιορισμό των αστικών περιοχών η επιβλεπόμενη ταξινόμηση έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς. Δυστυχώς, όμως πάντα στα αποτελέσματα παρατηρείται σφάλμα κάποιων εικονοστοιχείων που δεν έχουν κατηγοριοποιηθεί σωστά (Bhaskaran et al., 2010). Αυτό οδηγεί πολλούς ερευνητές να συνυπολογίζουν παραμέτρους όπως η υφή, το χρώμα, το σχήμα κτλ για να αποφεύγουν προβλήματα αξιοπιστίας όπως τα κακώς κατατάσσονται εικονοστοιχεία στη σωστή τους κατηγορία χρήσης γης. Συνθέτοντας όμως μεθόδους ταξινόμησης που είτε έχουν καλύτερα φασματικά αποτελέσματα, είτε είναι εξειδικευμένες στην δημιουργία κατάτμησης της εικόνας σε ομοιογενείς περιοχές με βάση χαρακτηριστικά όπως φασματικά, χωρικά ή λαμβάνοντας υπόψη την υφή ή την σχέση των εικονοστοιχείων τα αποτελέσματα είναι πολύ πιο αξιόπιστα και τα ποσοστά ακρίβειας πολύ πιο υψηλά (Bhaskaran et al., 2010). Η μελέτη τους αξιολογεί την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της ταξινόμησης χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα του δορυφόρου WorldView2 και ένα συνδυασμό τεχνικών ταξινόμησης pixel/object based. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση του ποσοστού ανίχνευσης κτιρίων κατά 30%.

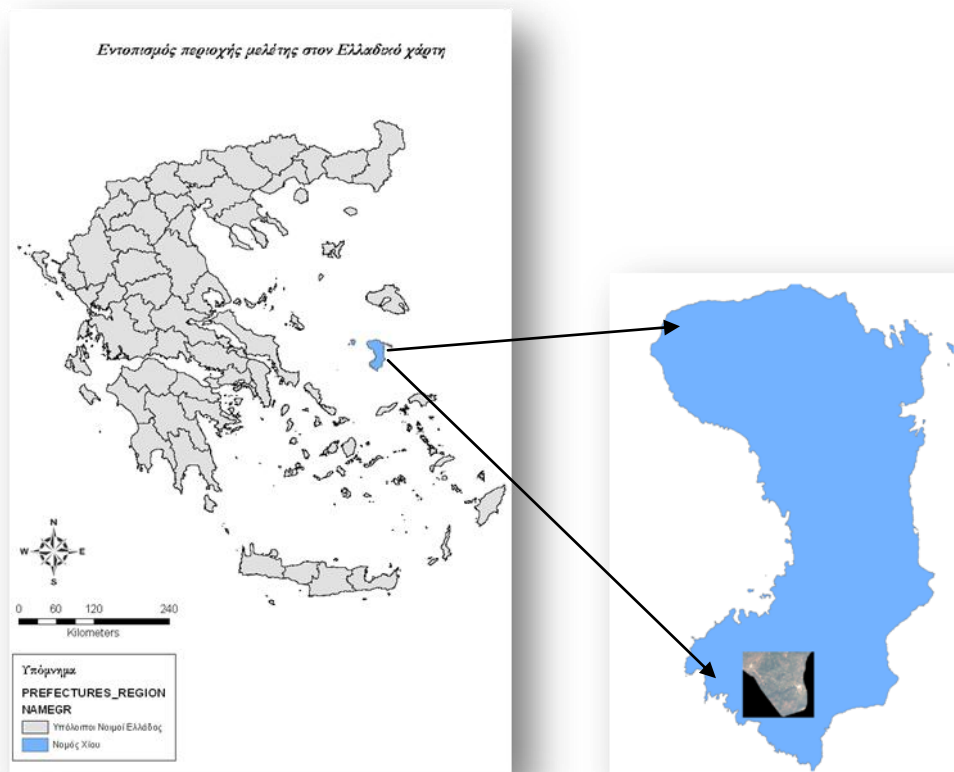
Στη μελέτη τους οι H.M. Tulldahl, P. Philipson και G. Tolt, πραγματοποιούν ταξινόμηση του πυθμένα της θάλασσας στο Σουηδικό πέλαγος. Ως δεδομένα χρησιμοποιούν εικόνες υψηλής ανάλυσης του δορυφόρου WorldView-2 σε συνδυασμό με βαθμομετρικά στοιχεία. Ο βασικός σκοπός της μελέτης είναι να αναπτύξει μεθόδους με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης για την ανίχνευση των μεγάλων υδάτινων εκτάσεων. Η πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με την έκταση, τη θέση και την ταχύτητα αλλαγής για διαφορετικά ενδιαφέροντα είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε μια εποχή που οι ανθρωπογενείς επιδράσεις επηρεάζουν γρήγορα την αλλαγή του περιβάλλοντος. Στην μελέτη παρουσιάζεται μια προσπάθεια ταξινόμησης 5 κατηγοριών, άμμος, Fukus (είδος φυκιού), Νηματοειδή φύκι, μαλακά ιζήματα και Potamogeton (ένα φυτό υδρόβιου γένους) η μέθοδος ταξινόμησης που εφαρμόστηκε ήταν αυτή της Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Τα

αποτελέσματα του confusion matrix της εικόνας WorldView-2 έδειξαν User's Accuracy (UA) 82% και Producer's Accuracy (PA) 87 %. Για σύγκριση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε μια συμβατική εικόνα (RGB), για την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκαν μόνο το κόκκινο και το πράσινο κανάλι (Μπάντες 3 και 5). Το μπλε κανάλι έχει περιορισμένες δυνατότητες στην Baltic τύπου νερό. Τα αποτελέσματα του confusion matrix για τη συμβατική εικόνα έδειξαν ακρίβεια UA 40% για τα δύο ταξινομημένα κανάλια σε σχέση με το 70% των τριών ταξινομημένων καναλιών της Worldview-2 εικόνας. Αποδεδειγμένα καλύτερα λοιπόν αποτελέσματα είχε η Worldview-2 και αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι διαθέτει το κίτρινο κανάλι (Μπάντα 4) που αυξάνει την διαχωριστικότητα μεταξύ των κλάσεων.

2 Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Περιοχή μελέτης

Για την παραγωγή της συγκριτικής μελέτης εξαγωγής κάλυψης/ χρήσης γης προϋπόθεση ήταν η προμήθεια μιας πολυφασματική δορυφορικής εικόνας υψηλής χωρικής ανάλυσης. Η παραχώρηση της έγινε από τον ΟΠΕΚΕΠΕ, λόγω του ερευνητικού σκοπού της εργασίας. Σύμφωνα με την δυνατότητα επιλογής που είχαμε στην διάθεση μας επιλέχθηκε εικόνα του δορυφόρου WorldView2 του ΝΑ τμήματος της Χίου λόγω της πρόσφατης λήψης της 14/5/2011 και βάση της ποικιλομορφίας που παρουσιάζει, καθώς περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές κατηγορίες κάλυψης/χρήσεων γης.



Χάρτης 1 Εντοπισμός περιοχής μελέτης στον Ελλαδικό χάρτη, ως περιοχή μελέτης ορίστηκε το Νοτιοανατολικό τμήμα της Χίου

Χάρτης περιοχής μελέτης ΝΑ τμήμα της νήσος Χίου



Χάρτης 2: Απεικόνιση της δορυφορικής εικόνας της περιοχής μελέτης

Γεωγραφική θέση, Όρια, Έκταση

Η Χίος είναι το πέμπτο σε έκταση ελληνικό νησί. Έχει έκταση 841 τετρ. χλμ. και μαζί με τα Ψαρά έκτασης 39 τετρ. χλμ., και τις Οινούσσες έκτασης 14 τετρ. χλμ., αποτελούν ενιαίο νομό. Βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του ανατολικού Αιγαίου απέναντι από τη χερσόνησο της Ερυθραίας, από την οποία χωρίζεται από τον ομώνυμο δίαυλο. Στην αρχαιότητα η Χίος λεγόταν και Πιτυούσα (από το πλήθος των πεύκων που κάλυπταν σχεδόν ολόκληρο το έδαφος της), Οφιούσα (για το πλήθος των φιδιών που ζούσαν στο

νησί), Αιθάλη (από το ηφαιστιογενές του εδάφους) και Μάκρη (λόγω του σχήματός της). (Σαλιάρης Π., 1990).

Το υψηλότερο βουνό είναι το Πεληναίο 1297 μ. που βρίσκεται στο κέντρο της βόρειας Χίου και δημιουργεί απόκρημνα παράλια. Άλλες υψηλές κορφές είναι η Αμανή 764 μ. προς δυτικά, το Όρος 1126 μ. νοτιότερα, το Αίπος 448 μ. και ο Προβατάς 773 μ. Το ανάγλυφο του νησιού σβήνει ομαλά με λόφους στις παραλίες της νότιας Χίου. Στην δυτική πλευρά σχηματίζεται ο κόλπος της Βολισσού, στα βόρεια ο όρμος του Μαρμάρου και των Παρπάντων, στα ανατολικά ο κόλπος της Καλαμωτής. Η υψηλότερη κορφή των Ψαρών είναι ο Αγ. Ηλίας 564 μ. στα βόρεια. Το νησί είναι απόκρημνο, σχηματίζει δε ένα όρμο στη ΝΑ πλευρά όπου και ο ομώνυμος οικισμός. (Σπινθάκης Β. et al, 1993).

Κλιματικές συνθήκες

Τα μετεωρολογικά στοιχεία προέρχονται από τις μετρήσεις που έγιναν στο Μετεωρολογικό σταθμό της Χίου. Ο σταθμός αυτός, μοναδικός στο νησί, είναι εγκατεστημένος στην περιοχή του αεροδρομίου, σε γεωγραφικό πλάτος 38° 21' N, γεωγραφικό μήκος 26° 09' E και υψόμετρο 3,8μ. Τα μετεωρολογικά στοιχεία είναι μέσοι όροι της χρονικής περιόδου 1974-2004 (Διεύθυνση Γεωργίας, 2005).

Σε γενικές γραμμές το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως θερμό μεσογειακό, χαρακτηριστικό των νησιών του Αν. Αιγαίου. Ο αριθμός των βιολογικά ξηρών ημερών κατά την θερμή και ξηρή περίοδο είναι μεγαλύτερος των 125 με χειμώνα ύφυγρο και μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα 5,8°C.

2.1.1 Μορφολογία και γεωλογικά χαρακτηριστικά

Από μορφολογική άποψη, το νησί στο σύνολό του, σχεδόν είναι ορεινό. Το μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειάς του, είναι ορεινό και τραχύ με μέσο υψόμετρο τα 400 m ενώ οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις φτάνουν σε ποσοστό της τάξης του 18% της ολικής επιφάνειάς του, η οποία καλύπτεται από ασβεστολίθους σε ποσοστό 67% με εμφάνιση έντονων καρστικών φαινομένων.

Το τοπογραφικό ανάγλυφο είναι έντονο στο κεντρικό και βόρειο τμήμα, αλλά όσο κινούμαστε προς τον νότο, όπου απαντούν και τα νεογενή ιζήματα, το ανάγλυφο γίνεται ηπιότερο αφού το υψόμετρο των παρατηρουμένων οροσειρών ολοένα και μειώνεται, με λοφώδη παρουσία ομαλών κλίσεων στις πλαγιές και αβαθή ρέματα.

Το πλέον σημαντικό όρος είναι το Πεληναίο που φτάνει τα 1297m, με σχετικά απότομες πλαγιές και χαράδρες, στο κέντρο του βορείου τμήματος. Προς τα δυτικά εκτείνεται η μικρή οροσειρά της Αμανής (809m) που καλύπτει ολόκληρο το βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, ενώ νοτιότερα απαντά το Όρος (1186m), ο Κοχλίας (926m), η Κακή Ράχη (525m), ο Τράχωνας (377m), ο Κορακάρης (309m). Σχετικά ηπιότερο ανάγλυφο επικρατεί στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού, όπου και η προς

αξιοποίηση περιοχή (Νεογενές) και το βορειοδυτικό τμήμα, όπου επικρατούν ψαμμίτες και σχιστόλιθοι του Παλαιοζωικού.

Στο νοτιοανατολικό παράκτιο τμήμα του νησιού απαντούν μικρές κοιλάδες και επί των ορεινών περιοχών μικρά οροπέδια. Τα πεδινά τμήματα είναι πολύ λίγα, με το κυριότερο εξ αυτών να είναι ο Κάμπος, 5km νότια της πόλης της Χίου και η μικρή πεδιάδα της Βολισσού 40km βορειοδυτικά της πόλης.

Πυκνό υδρογραφικό δίκτυο δενδριτικής μορφής αναπτύσσεται στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού όπου επικρατούν αδιαπέρατα πετρώματα. Στο υπόλοιπο και μεγαλύτερο τμήμα του νησιού, το υδρογραφικό δίκτυο είναι αραιότερο και αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη κατείδυση των επιφανειακών υδάτων σε υδροπερατά πετρώματα.

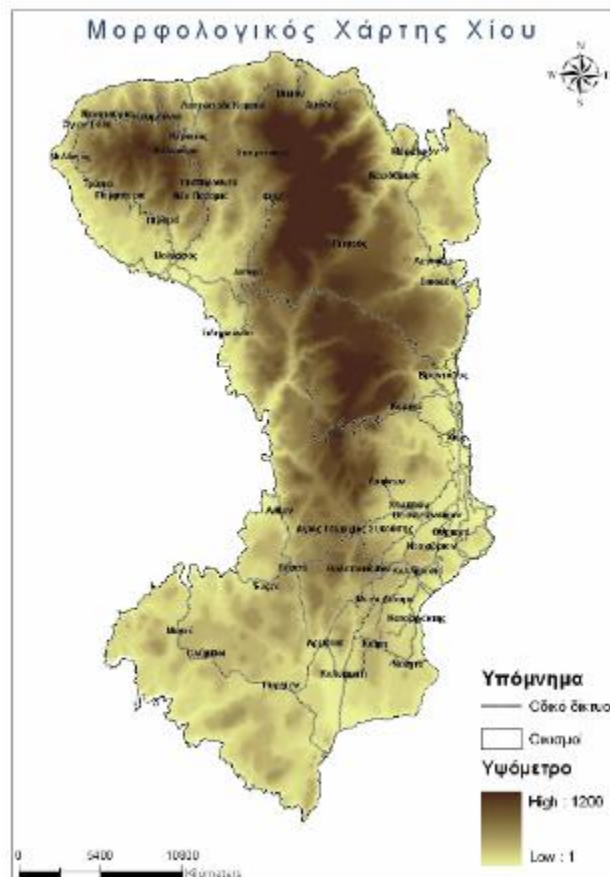
Το νησί μπορεί να χωριστεί στις εξής μορφολογικές ενότητες:

ΝΑ ενότητα : Λοφώδης – ημιορεινή με ιζήματα του νεογενούς

N-ΝΔ ενότητα : Ημιορεινή με λιγότερο τραχύ ανάγλυφο

B – Κεντρική : Ορεινή με έντονο και τραχύ ανάγλυφο, όπου επικρατούν μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι

ΒΔ ενότητα : Ημιορεινή – ορεινή, όπου επικρατούν ψαμμίτες και σχιστόλιθοι του Παλαιοζωικού



Χάρτης 3: Μορφολογικός Χάρτης της νήσου Χίου (GIS DATA)

2.1.2 Μορφές χρήσης γης στο Νομό Χίου

Με βάση τα στοιχεία της Ε.Σ.Υ.Ε.(απογραφή 2001) για τη βλάστηση και της εδαφοπονικές εκτάσεις η έκταση της νήσου είναι 90.400 εκτάρια και όσον αφορά τις μορφές χρήσης γης η κατανομή τους είναι η ακόλουθη:

Δάση 9.550 εκτάρια Χαλεπίου πεύκης, Κουκουναριάς. Τραχείας Πεύκης κ.λπ	10,6 %
Βοσκότοποι Δημόσιοι-Θάμνοι 44.150 εκτάρια	48,8 %
Βοσκότοποι Ιδιωτικοί-Λιβαδικές εκτάσεις 13.820 εκτάρια	15,3 %
Άγονες - βραχώδεις εκτάσεις 1.316 εκτάρια	1,4 %
Γεωργικές καλλιέργειες 16.540 εκτάρια	31,8 %
Οικιστικές περιοχές 5.024 εκτάρια	5,6 %

Στοιχεία Απασχόλησης

Το 1961, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της Χίου(56,3%) ασχολείται με τον αγροτικό τομέα, ενώ το 29,08% απασχολείται στον τριτογενή τομέα και το 14,62% στον δευτερογενή τομέα. Όμως, μέχρι το 1981 τα δεδομένα έχουν ανατραπεί. Το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού (44,67%) ασχολείται με τον τριτογενή τομέα, ενώ το 33,40% ασχολείται με τον πρωτογενή τομέα, και το 21,93% με τον δευτερογενή τομέα.

ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΧΙΟΥ			
ΕΤΟΣ	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ	ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ	ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ
1991	56,3%	14,62%	29,08%
2001	42,55%	20,42%	37,03%
2011	33,40%	21,93%	44,67%

Πηγή: Νομός Χίος, Προτάσεις Χωροταξικής Οργάνωσης, Χ.Ο.Π.(2012)

Πρωτογενής τομέας

Σήμερα στη Χίο τα καλλιεργούμενα εδάφη καλύπτουν περίπου 167.000 στρεμμάτων. Από αυτά ποσοστό 18,2% καλύπτονται από ελαιώνες, 31% είναι αροτριάες καλλιέργειες, 3% κηπευτικά, 1,5% αμπέλια, 4,4% εσπεριδοειδή, 13,3% λοιπές καλλιέργειες και 27,5% αγραναπαύσεις. Οι εκτάσεις αυτές βρίσκονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα του νησιού (Κάμπος) με την καλλιέργεια κυρίως εσπεριδοειδών και στο νότιο όπου κυριαρχεί η καλλιέργεια των μαστιχόδεντρων. Το πλέον χαρακτηριστικό προϊόν της Χίου, εξαιτίας και της μοναδικότητας του είναι η μαστίχα, τόσο αυτούσια όσο και επεξεργασμένη (τσιχλες, αιθέρια έλαια κλπ). Η καλλιέργεια της γίνεται στο νότιο τμήμα του νησιού, σε έκταση περίπου 18.000 στρεμμάτων, σε συνεχείς φυτείες ή μεμονωμένα δέντρα με πάνω από 2.000.000 μαστιχόδεντρα.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη γεωργική ανάπτυξη	Εκτάσεις σε στρέμματα		Μεταβολή % 100 (β-α)/α
	1971 (α)	1981 (β)	
ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΓΗΣ			
Σύνολο καλλιεργειών και αγραναπαύσεως	173.129	166.559	-3,94
Αγραναπαύσεις (1-5 ετών)	45.992	56.712	18,9
Αριθμός γεωργικών εκμεταλλεύσεων	8.746	7.920	10,42
ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ			
Αροτριάες	61.905	38.938	-58,96
Κηπευτική γη	4.695	4.829	2,7
Αμπέλια, Καλλιέργειες σταφίδας	2.606	2.441	-6,71
Δενδράδια	57.932	63.639	8,36

Πηγή: Νομός Χίου, Προτάσεις Χωροταξικής Οργάνωσης, Χ.Ο.Π./1984

Το 70% της ετήσιας παραγωγής διατίθεται στο εξωτερικό και το υπόλοιπο 30% διατίθεται στην εσωτερική αγορά. Ιδιαίτερα σημαντική και αξιόλογη είναι η προσπάθεια οργάνωσης των παραγωγών μέσω της Ένωσης Μαστιχοπαραγωγών Χίου, φορέα που έχει πλέον την αποκλειστικότητα στην παραγωγή και επεξεργασία της μαστίχας και που έχει ενισχύσει πολύ δυναμικά την παραγωγή και κυρίως την προώθηση του προϊόντος στη διεθνή και εθνική αγορά.

Εκτός, όμως, από τη μαστίχα τα εσπεριδοειδή κατέχουν σημαντική θέση στην τοπική παραγωγή. Η καλλιέργεια τους είναι συγκεντρωμένη στην περιοχή του **Κάμπου**, κοντά στην πρωτεύουσα, σε έκταση 5.500 στρεμμάτων και επεκτείνεται και στις περιοχές **Βασιλεωνοίκου, Βαβυλίου, Θυμιανών, Βολίσσου και Καρδαμύλων**. Κυρίαρχα στην παραγωγή είναι τα μανταρίνια, τα οποία καλύπτουν το 20% της συνολικής παραγωγής στην Ελλάδα. Μέρος της παραγωγής χρησιμοποιείται για την παραγωγή γλυκών του κουταλιού, χυμών, και αναψυκτικών, μαρμελάδας και αιθέριων ελαίων. Παρ' όλα αυτά, σημαντικός αριθμός καρπών συνεχίζει να παραμένει στα δέντρα ανεκμετάλλευτος, ενώ

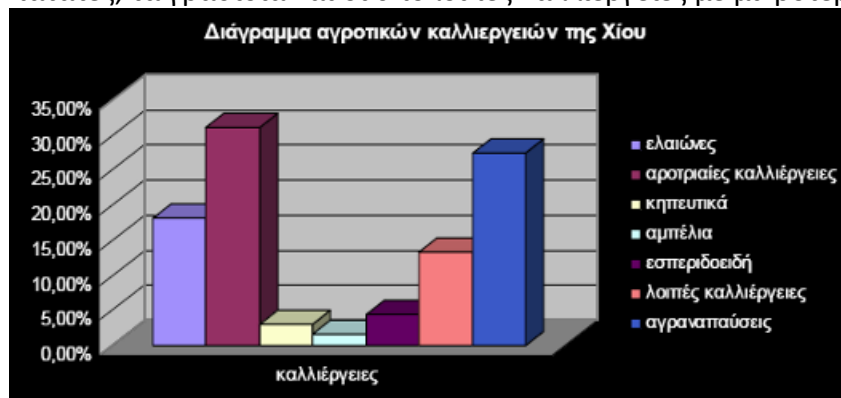
οι παραγωγοί την ίδια στιγμή τονίζουν την ανάγκη βελτίωσης με νέες προωθημένες ποικιλίες.

Η ελιά είναι ένα άλλο από τα παραγόμενα προϊόντα, με την καλλιέργεια της να γίνεται σε ολόκληρο το νομό αλλά κυρίως στη Β. Χίο στις περιοχές **Αμάνης και Πεληναίου**, καθώς και στις περιοχές **Ολύμπων, Μεστών, Καλλιμασιάς**. Αν και η καλλιέργεια της δεν είναι ιδιαίτερα ευνοημένη λόγω της μορφολογίας του εδάφους και της έλλειψης μηχανημάτων, εντούτοις συνεχίζει να παράγεται καλύπτοντας έστω τις βασικές ανάγκες των κατοίκων.

Στο νότιο τμήμα του Κάμπου και σε μικρές εκτάσεις του Βροντάδου και των Καρδάμυλων καλλιεργούνται κηπευτικά και αρωματικά φυτά, όπως ρίγανη, θυμάρι, κάπαρη, κρίταμος κ.α., προϊόντα που για την ώρα περιορίζονται σε μικρές ποσότητες. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στην παραγωγή ποτών όπως ούζο και σούμα (παραδοσιακό ποτό που παρασκευάζεται με την απόσταξη σύκων), καθώς και στην παραγωγή γλυκών του κουταλιού, παγωτού, μελιού, παστελιού, παστελαριών και τουρσιών και λιαστών ντοματών όπου οι μονάδες παραγωγής προσανατολίζονται κυρίως στην τοπική αγορά.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε τη μοναδική παγκοσμίως παραγωγή τεσσάρων ειδών τουλίπας που είναι γνωστές και με την ονομασία «λαλάδες», της tulipa praecox, της tulipa agerensis, της tulipa clusiana και της tulipa undulatifolia.

Το μεγαλύτερο ποσοστό γεωργικής γης είναι αρδεύσιμο. Τα εγγειοβελτιωτικά έργα στο νησί δεν συνοδεύονται από οργανωμένα δίκτυα αρδευτικών στραγγιστικών, αποχετευτικών και οδικών έργων. Κατά καιρούς έχουν διανοιχτεί γεωτρήσεις για λογαριασμό των δήμων και των κοινοτήτων ή και ιδιωτών, που χρησιμοποιούνται για την ύδρευση των κατοίκων ή την άρδευση των καλλιεργειών, κυρίως των εσπεριδοειδών και των κηπευτικών. Οι βοσκότοποι ανήκουν κατά το 1/3 στους ιδιώτες και κατά τα 2/3 στους δήμους και στις κοινότητες. Οι περισσότερες αγροτικές ιδιοκτησίες προέρχονται από κληρονομίες και λίγες από αγοραπωλησίες. Ο τεμαχισμός των ιδιοκτησιών είναι πολύ μεγάλος. Η αγρανάπαυση εμφανίζεται στο 1/3 των καλλιεργούμενων εκτάσεων, λόγω της μικρής απόδοσης των μη αρδευόμενων καλλιεργειών, συνέπεια της μείωσης των βροχοπτώσεων και της ασύμφορης, πολλές φορές, εκμετάλλευσής τους. Από τις καλλιέργειες, τη μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν οι ελιές, ακολουθούν τα μαστιχόδεντρα, τα κτηνοτροφικά φυτά, τα εσπεριδοειδή, το σιτάρι, τα λοιπά όσπρια, το κριθάρι και τα κηπευτικά. Ακολουθούν οι πατάτες, τα γρασίδια και οι υπόλοιπες καλλιέργειες με μικρότερα ποσοστά.



2.2 Πολυφασματική εικόνα περιοχής μελέτης

Η δορυφορική εικόνα WorldView-2 που επιλέχτηκε ως περιοχή μελέτης έχει ημερομηνία λήψης 14/5/2011. Αποτελείται από μια Παγχρωματική με ανάλυση 46cm και μια Πολυφασματική εικόνα οχτώ καναλιών με ανάλυση 1,84m. Ακολουθεί αναλυτικό διάγραμμα των φασματικών καναλιών.

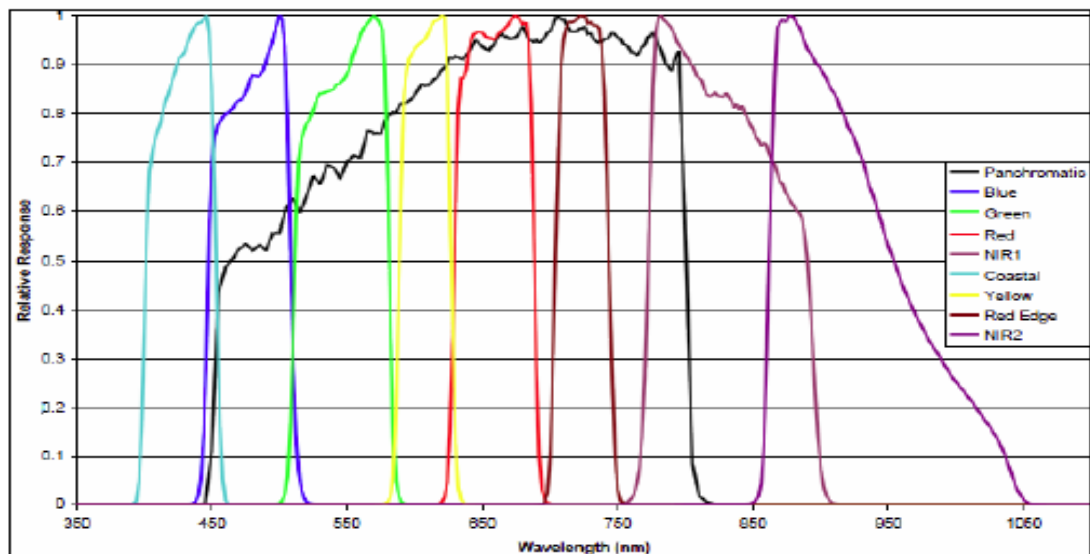


Τεχνικά χαρακτηριστικά εικόνας

Columns and Rows	27855, 24741
Number of Bands	8
Cell size (x,ψ)	0,49960191, 0,49960191
Extent	
Top	4553017,9404
Left	507029,3444
Right	520945,755603
Down	4540657,28954

Ο δορυφόρος WorldView2 είναι εμπορικός, οπτικός δορυφόρος εικόνων και ανήκει στην εταιρία DigitalGlobe. Εκτοξεύτηκε τον Οκτώβριο του 2009 με πυραύλο Delta 7920 από την αεροπορική βάση Βάντενμπεργκ και έχει προγραμματιστεί να παραμείνει μέχρι το 2017. Εκτελεί τροχιά σε ύψος 770Km σύγχρονη ηλιακά και κατέρχεται πάνω από τον ισημερινό σε κάθε τροχιά στις 10:30 π.μ σε τροχιακή περίοδο 100 λεπτών. Μεταφέρει αισθητήρα πολυφασματικής απεικόνισης με δυνατότητα συλλογής μονοσκοπικών και στερεοσκοπικών εικόνων. Συλλέγει μέχρι 975.000 Km² κατά τη διάρκεια μιας διέλευσης. Είναι δορυφόρος πολύ υψηλής Ανάλυσης που διαθέτει οχτώ φασματικά κανάλια.

Φασματική (μm)	Χωρική ανάλυση (m)	Πλάτος σάρωσης (km)	Περίοδος επανεμφάνισης	Τροχιά	Αναμενόμενη περίοδος λειτουργίας
450-510 (μπλε)	1,85	16,4 στο ναδίρ	1,1 ημέρες στο ναδίρ 3,7 ημέρες στις 20° εκτός ναδίρ	770 km ηλιακά συγχρονισμένη	2009-2017
510-580 (πράσινο)					
630-690 (κόκκινο)					
770-895 (εγγύς υπέρυθρο)					
400 - 450 (παράκτια ζώνη)					
585 - 625 (κίτρινο)					
705-745 (ερυθρό άκρο του φάσματος)					
860-1040 (εγγύς υπέρυθρο 2)					



Εικόνα 4: Η φασματική απόκριση των καναλιών της δορυφορικής εικόνας Worldview-2 (DigitalGlobe 2011)

2.3 Φωτοερμηνείας - Τεχνικές οπτικής προσέγγισης

Αρχικό στάδιο της διαδικασίας της οπτικής ερμηνείας απεικονίσεων είναι η ανίχνευση (detection). Η ανίχνευση εξαρτάται από τη διακριτική ικανότητα του δέκτη, η οποία ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή και το είδος του δορυφόρου σε:

Χωρική διακριτική ικανότητα (Spatial Resolution) Είναι η ικανότητα του δέκτη να ξεχωρίζει πολύ κοντινά αντικείμενα ή πληροφορίες στην απεικόνιση (ποσοτικά ισούται με τη μικρότερη απόσταση που μπορούν να έχουν δύο αντικείμενα, έτσι ώστε να εμφανίζονται ξεχωριστά).

- Χρονική διακριτική ικανότητα (Temporal Resolution), η οποία σχετίζεται με τη συχνότητα λήψης απεικονίσεων για την ίδια γεωγραφική περιοχή.
- Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (Radiometric Resolution), που ορίζεται ως η ευαισθησία του δέκτη να καταγράφει διαφορές στην ισχύ του σήματος.
- Φασματική διακριτική ικανότητα (Spectral Resolution), η οποία περιλαμβάνει το εύρος των περιοχών του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στις οποίες πραγματοποιεί καταγραφές ένας πολυφασματικός δέκτης, καθώς και τον αριθμό των καναλιών που χρησιμοποιούνται.

Το δεύτερο στάδιο είναι η αναγνώριση (recognition/identification) αντικειμένων/εμφανίσεων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Η αναγνώριση περιλαμβάνει ένα πρώτο στάδιο αναγνώρισης γενικών κατηγοριών και σχημάτων, στη συνέχεια ένα δεύτερο στάδιο ανάλυσης ομοιοτήτων και διαφορών και τέλος, το στάδιο της συσχέτισης με το περιβάλλον, όπου χρησιμοποιούνται φωτοερμηνευτικά κλειδιά, πορίσματα επιγείων ελέγχων και δειγματοληψιών. Τα βασικά φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται εδώ είναι ο τόνος, το χρώμα, το μέγεθος, το σχήμα, το πρότυπο, η υφή, η σκιά, η θέση/τοποθεσία και η σχέση με το περιβάλλον. Ο τόνος του γκρι ή το χρώμα, εξαρτάται από το ποσό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται και εκπέμπεται από ένα αντικείμενο/εμφάνιση, ανάλογα με την

περιοχή του φάσματος στην οποία είναι ευαίσθητος ο δέκτης. Η υφή, σχετίζεται με τη συχνότητα εναλλαγής του τόνου του γκρι, στοιχείο που μας δίνει μια εικόνα για το πόσο τραχύ ή λείο είναι το αντικείμενο/εμφάνιση που απεικονίζεται. Αφού ολοκληρωθεί η αναγνώριση, μπορούν να οριοθετηθούν περιοχές που παρουσιάζουν ομοιογένεια ως προς τα χαρακτηριστικά τους. Αυτό είναι το στάδιο

της ανάλυσης (analysis). Κάθε μια από τις περιοχές αυτές πρέπει να ταξινομηθεί σε μια κατηγορία, η οποία πρέπει να γίνεται σε συνδυασμό με επίγειους ελέγχους. Αυτό είναι και το τελευταίο στάδιο της οπτικής ερμηνείας και οδηγεί στη δημιουργία ενός θεματικού χάρτη της περιοχής που μας ενδιαφέρει, ο οποίος, με τη σειρά του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συμπληρώσει και να ενημερώσει χάρτες, να ενσωματωθεί σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (G.I.S) ή να βρει εφαρμογή σε πολλούς άλλους τομείς.

2.3.1 Φαινολογικός κύκλος των φυτών και η μηνιαία εμφάνιση απεικόνισης των καλλιεργειών στο Ελλαδικό πεδίο

Ο φαινολογικός κύκλος ορισμένων κύριων αροτραίων καλλιεργειών, κηπευτικών και αμπελιού απεικονίζεται στον παρακάτω Πίνακα 2. Οι ημερομηνίες αυτές σποράς και θερισμού των καλλιεργειών είναι μέσοι όροι, διότι ανάλογα την περιοχή και το κλίμα της, η σπορά και συνεπώς και η συγκομιδή μπορεί να μεταβάλλονται από 15-30 ημέρες. Για παράδειγμα καλλιέργεια βαμβακιού στην Λάρισα μπορεί να σπαρθεί μέσα Απρίλιο που έχει πιο ζεστό καιρό ενώ στη Δράμα τέλος Απριλίου ή αρχές Μαΐου, επειδή ο καιρός είναι πιο ψυχρός. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι σε ορισμένες περιοχές, αρκετά σπάνια πάντως, λόγω καλών καιρικών συνθηκών είναι δυνατή η καλλιέργεια και 2 διαφορετικών καλλιεργειών μέσα στο χρόνο με αποτέλεσμα το χωράφι να φαίνεται πράσινο σχεδόν όλους τους μήνες του χρόνου (εκτός από τον χειμώνα).

Πίνακας 2 Περιλαμβάνει κατά κανόνα το ετήσιο ημερολόγιο ανάπτυξης των πιο σημαντικών (ως προς την έκταση) αροτραίων, κηπευτικών καλλιεργειών και αμπελιού.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΣΙΤΑΡΙ	ΣΠΟΡΑ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ-ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ
	ΘΕΡΙΣΜΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ
ΒΑΜΒΑΚΙ	ΣΠΟΡΑ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ
	ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ-ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ
ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	ΣΠΟΡΑ	ΜΑΡΤΙΟΣ
	ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ Ή ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ-ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ
ΒΙΚΟΣ	ΣΠΟΡΑ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ-ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ
	ΘΕΡΙΣΜΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ
ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	ΣΠΟΡΑ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ
	ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ
ΚΑΠΝΟΣ	ΣΠΟΡΑ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ
	ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΚΡΙΘΑΡΙ	ΣΠΟΡΑ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ-ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ-ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ
	ΘΕΡΙΣΜΟΣ	ΜΑΙΟΣ-ΙΟΥΝΙΟΣ
ΝΤΟΜΑΤΑ	ΣΠΟΡΑ	ΜΑΡΤΙΟ
	ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	ΑΥΓΟΥΣΤΟ
ΠΙΠΕΡΙΑ	ΣΠΟΡΑ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ
	ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
ΣΑΝΟΣ ΜΗΔΙΚΗΣ	ΣΠΟΡΑ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ-ΜΑΡΤΙΟΣ
	ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	ΙΟΥΝΙΟΣ
ΤΡΙΦΥΛΛΙ	ΣΠΟΡΑ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

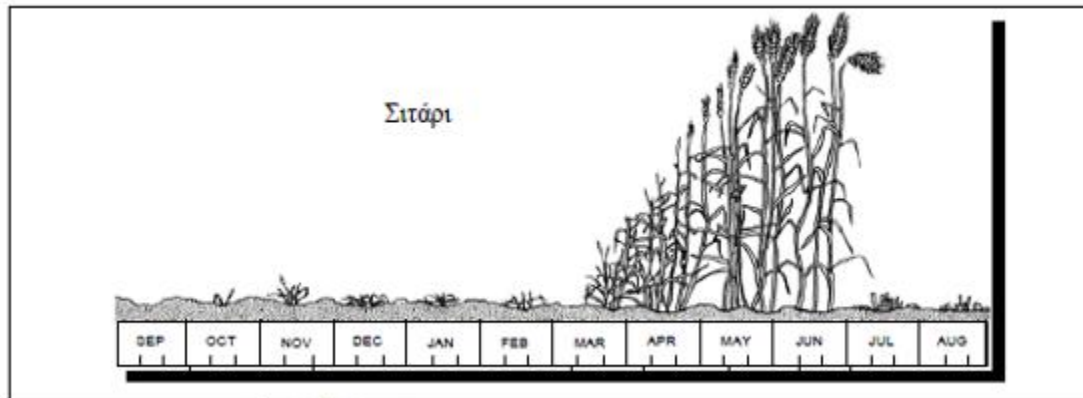
	ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	ΙΟΥΝΙΟΣ
ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΦΥΛΛΩΜΑΤΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ
	ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ-ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ

Πίνακας 3: Αναμενόμενη εμφάνιση κύριων καλλιεργειών ανά μήνα του έτους κατά την επί της οθόνης φωτοερμηνεία

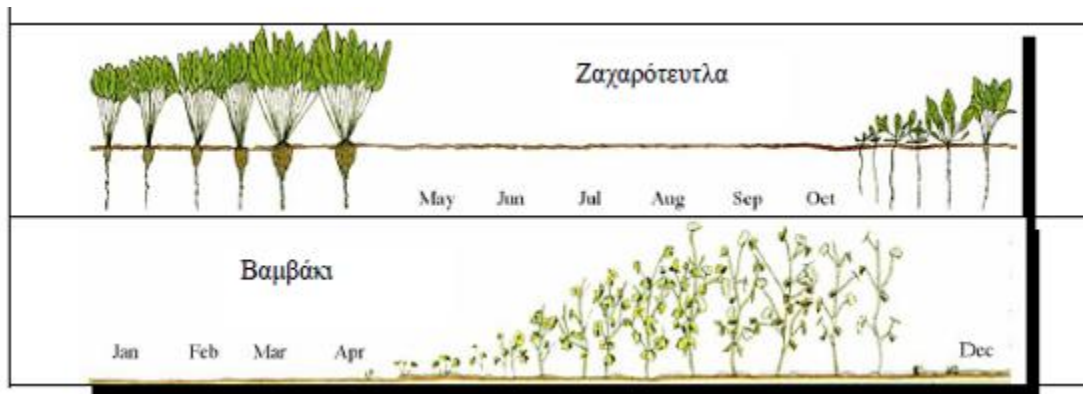
ΜΗΝΑΣ	ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	Έχουν σπαρθεί τα σιτηρά (χειμερινά αροτραία) και είναι σε πολύ μικρή ανάπτυξη, οπότε το χωράφι φαίνεται ελαφρά πράσινο. Επίσης, τα κτηνοτροφικά αροτραία όπως Μηδική, Τριφύλλι βρίσκονται σε αρκετά μεγάλη ανάπτυξη. Τα Ζαχαρότευτλα έχουν αναπτυχθεί αρκετά και έχουν πλέον αρκετά μεγάλο φύλλωμα. Οι Μόνιμες καλλιέργειες με φυλλοβόλα δέντρα όπως Κερασιές, Αμυγδαλιές, Καρυδιές, Μηλιές, Καστανιές δεν έχουν φύλλωμα και συνεπώς τα δέντρα τους θα είναι πιο λεπτά. Τα Εσπεριδοειδή και τις Ελιές που διατηρούν το φύλλωμά τους όλο το χρόνο. Ιδιαίτερη προσοχή κατά την επί της οθόνης φωτοερμηνεία πρέπει να δοθεί στις περιοχές όπου οι Ελιές κλαδεύονται πολύ ή όταν κατά την ελαιοσυλλογή κόβονται οι κλάδοι, οπότε μειώνεται το φύλλωμα της ελιάς. Οι αμπελώνες δεν έχουν φύλλωμα και φαίνονται μόνο τα πρέμνα.
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	Τα σιτηρά είναι περίπου στο ίδιο στάδιο με το προηγούμενο μήνα, οπότε το χωράφι φαίνεται ελαφρά πράσινο. Επίσης, τα κτηνοτροφικά αροτραία όπως Μηδική, Τριφύλλι βρίσκονται σε πλήρη ανάπτυξη, έτοιμα για την πρώτη κοπή. Τα Ζαχαρότευτλα έχουν αναπτύξει ακόμα πιο έντονο φύλλωμα, άρα δίνουν πιο έντονο πράσινο χρώμα στις εικόνες. Οι αμπελώνες δεν έχουν φύλλωμα και φαίνονται μόνο τα πρέμνα.
ΜΑΡΤΙΟΣ	Τα σιτηρά έχουν αρχίσει πλέον να αναπτύσσονται περισσότερο και το χωράφι εμφανίζεται πράσινο. Τα κτηνοτροφικά αροτραία όπως Μηδική, Τριφύλλι έχουν κοπεί και το χωράφι θα φαίνεται ελαφρώς πράσινο με πιθανές «ροδιές» από χρήση του τεμαχίου μιας και η κοπή γίνεται με μηχανικά μέσα. Το ίδιο συμβαίνει καθ' όλη την διάρκεια του έτους (3-4 κοπές σε όλη την διάρκεια του έτος), οπότε το χωράφι θα έχει πάντοτε βλάστηση και θα διαφέρει μόνο το πόσο έντονα πράσινο θα φαίνεται. Τα φυλλοβόλα οπωροφόρα δέντρα έχουν αναπτύξει πιο έντονο φύλλωμα και συνεπώς φαίνονται πιο μεγάλα. Επίσης, αρχίζει να αναπτύσσεται το φύλλωμα στους αμπελώνες με αποτέλεσμα να αρχίζουν να πρασινίζουν ελαφρά στην εικόνα.
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	Τα σιτηρά είναι σε πλήρη ανάπτυξη και το χωράφι εμφανίζεται πράσινο. Τα κτηνοτροφικά αροτραία έχουν αρχίσει και πάλι να μεγαλώνουν. Σε ορισμένες πρώιμες περιοχές (νότια Ελλάδα) προετοιμάζονται τα χωράφια για την σπορά των θερινών αροτραίων καλλιεργειών (βαμβάκι, αραβόσιτος) και των καπνών. Τα ζαχαρότευτλα συγκομίζονται και τα χωράφια εμφανίζονται πλέον γυμνά, με αποχρώσεις του καφέ στην εικόνα. Συνεχίζει να αναπτύσσεται το φύλλωμα στους αμπελώνες με αποτέλεσμα να αρχίζουν να πρασινίζουν ακόμα περισσότερο στην εικόνα.

ΜΑΙΟΣ	Τα σιτηρά πλέον είναι στην μεγαλύτερη ανάπτυξή τους και έχουν σχεδόν ξεραθεί (στις πρώιμες περιοχές) οπότε εκεί φαίνονται με πιο σκούρο πράσινο χρώμα έως και καφετί χρώμα. Σε πολύ πρώιμες περιοχές έχουν ξεραθεί τελείως οπότε δεν είναι καθόλου πράσινο και έχει αρχίσει ο θερισμός. Τα χειμερινά αροτραία, ιδιαίτερα ο αραβόσιτος (καλαμπόκι) έχουν σπαρθεί παντού, αλλά τα χωράφια εμφανίζονται ακόμα με αποχρώσεις του καφέ γιατί δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα. Ο αραβόσιτος επειδή σπέρνεται νωρίτερα, στις πρώιμες περιοχές μπορεί να έχει αναπτυχθεί λίγο και να εμφανίζονται και με ένα πολύ ανοιχτό πράσινο χρώμα και μια τραχεία υφή λόγω της ιδιαιτερότητας που έχει η καλλιέργεια αυτή. Το φύλλωμα των αμπελώνων είναι πλέον σε πλήρη ανάπτυξη. Τα ζαχαρότευτλα έχουν συγκομισθεί και το χωράφι φαίνεται πλέον γυμνό, δηλαδή με απόχρωση του καφέ χρώματος.
ΙΟΥΝΙΟΣ	Τα σιτηρά έχουν συγκομισθεί οπότε από τον Ιούνιο και μέχρι τον Δεκέμβριο-Ιανουάριο τα χωράφια των σιτηρών θα είναι γυμνά από βλάστηση και θα εμφανίζονται με μπεζ-καφέ χρώμα ανάλογα με το πότε θα οργωθεί. Τα βαμβάκια και ο αραβόσιτος έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται ελαφρά και η εικόνα αρχίζει να πρασινίζει. Ο καπνός επίσης έχει αναπτυχθεί αρκετά (περίπου στο 50%) και στις εικόνες αρχίζει να πρασινίζει.
ΙΟΥΛΙΟΣ	Ο αραβόσιτος και τα καπνά βρίσκονται σε πλήρη ανάπτυξη, ενώ και το βαμβάκι έχει αναπτυχθεί αρκετά. Τα αμπέλια είναι σε πλήρη ανάπτυξη και σε πρώιμες περιοχές (π.χ. Κρήτη) έχει αρχίσει ο τρύγος.
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	Ο αραβόσιτος, το βαμβάκι βρίσκονται σε πλήρη ανάπτυξη. Τα καπνά συγκομίζονται οπότε και τα χωράφια από την περίοδο αυτή και μετά θα φαίνονται γυμνά (καφέ-μπεζ αποχρώσεις) Στα αμπέλια συνεχίζεται και ολοκληρώνεται ο τρύγος.
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	Αρχίζει να συγκομίζεται ο αραβόσιτος, ενώ προς το δεύτερο δεκαπενθήμερο του μήνα αρχίζουν να ξεραίνουν με χημικά μέσα τα στελέχη του βαμβακιού, οπότε και μειώνεται αισθητά η πράσινη απόχρωσή τους στις εικόνες.
ΟΚΤΩΒΙΟΣ	Αρχίζει η σπορά των σιτηρών και των τεύτλων. Ολοκληρώνεται η συγκομιδή του αραβόσιτου και στις πιο όψιμες περιοχές, ενώ αρχίζει και η συλλογή του βαμβακιού. Αρχίζει και ολοκληρώνεται η συλλογή του βαμβακιού και από το σημείο αυτό και μέχρι το πρώτο δεκαπενθήμερο του Γενάρη σχεδόν όλα τα αγροτεμάχια με αροτραίες καλλιέργειες, πλην των κτηνοτροφικών φυτών, έχουν γυμνό έδαφος και εμφανίζονται με καφέ-μπεζ αποχρώσεις.
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	Οι αμπελώνες όπως και τα φυλλοβόλα καρποφόρα δέντρα (μόνιμες καλλιέργειες) αρχίζουν και χάνουν το φύλλωμά τους και μένου γυμνά με αποτέλεσμα να εμφανίζεται περισσότερο το έδαφος που βρίσκεται από κάτω και μειώνονται οι πράσινες αποχρώσεις στις εικόνες και αυξάνονται οι μπεζ-καφέ αποχρώσεις. Αρχίζει να βγαίνει το φύλλωμα στα τεύτλα.
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Αναπτύσσονται περισσότερο τα τεύτλα, όπως και τα κτηνοτροφικά φυτά.

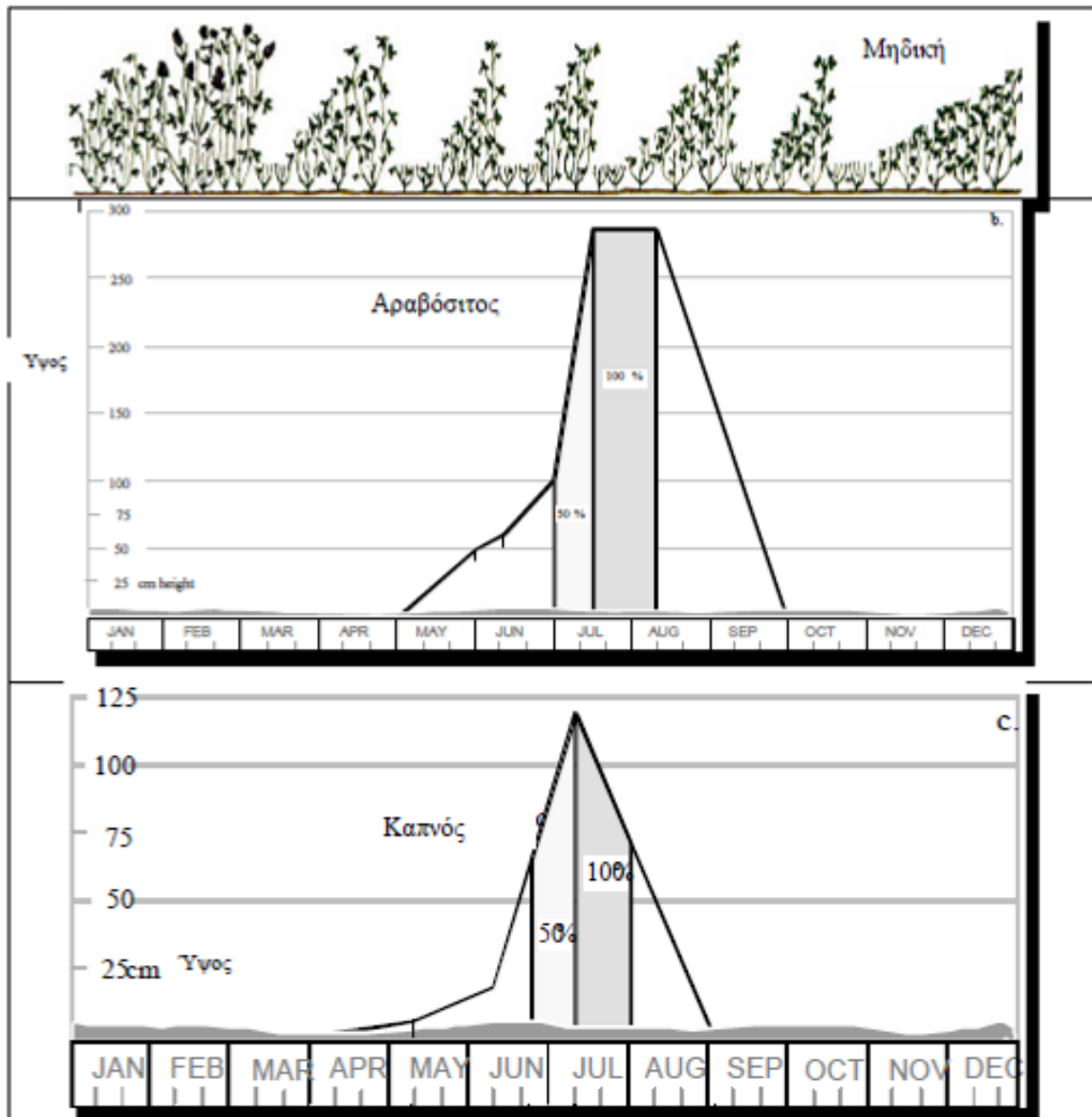
Παραδείγματα της ανάπτυξης ορισμένων καλλιεργειών μέσα στο χρόνο απεικονίζονται στις εικόνες και τα γραφήματα που ακολουθούν:



Εικόνα 5 Ανάπτυξη καλλιέργειας σίτου



Εικόνα 6 Ανάπτυξη καλλιεργειών Βαμβακιού και Ζαχαρότευτλου



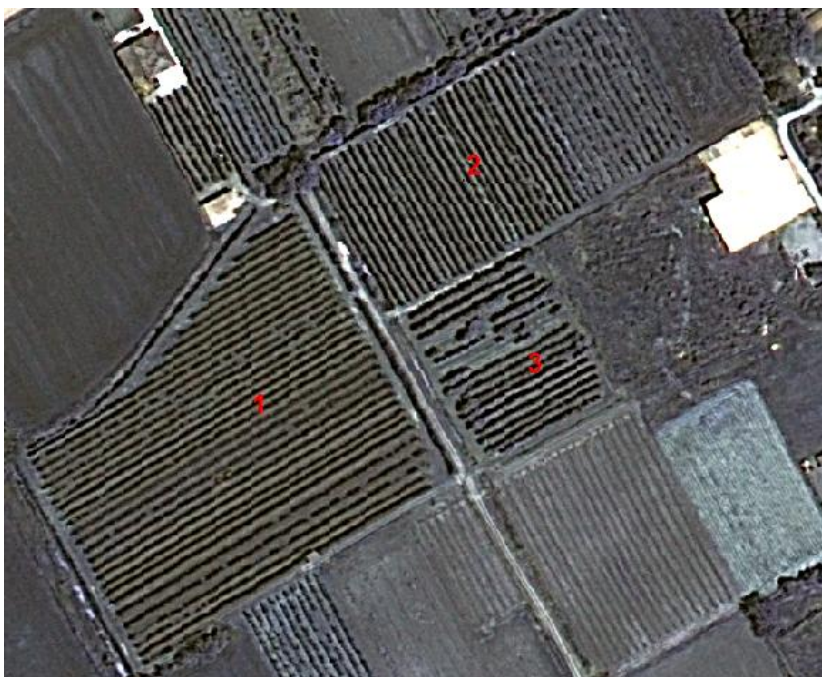
Εικόνα 7 Ανάπτυξη καλλιιεργειών Μηδικής, Αραβόσιτου και Καπνού

2.3.2 Φωτοερμηνευτικά κλειδιά καλλιεργειών

Μόνιμες καλλιέργειες

Εσπεριδοειδή: Μικρά δέντρα, στρογγυλά, με πολύ πυκνή και γραμμική διάταξη (τις περισσότερες φορές καλά στοιχισμένα)

Φυλλοβόλα δέντρα: Μικρά δέντρα, με σκούρο πράσινο χρώμα. Βρίσκονται συνήθως δίπλα σε ποτάμια ή ρέματα & επειδή είναι πολύ κοντά μεταξύ τους δεν εμφανίζεται ανάμεσά τους το έδαφος. Είναι συνήθως καλά και κοντά στοιχισμένα σε σειρές (Μηλιές, Ροδακινιές, Νεκταρινιές, Δαμασκηνιές, Κερασιές).



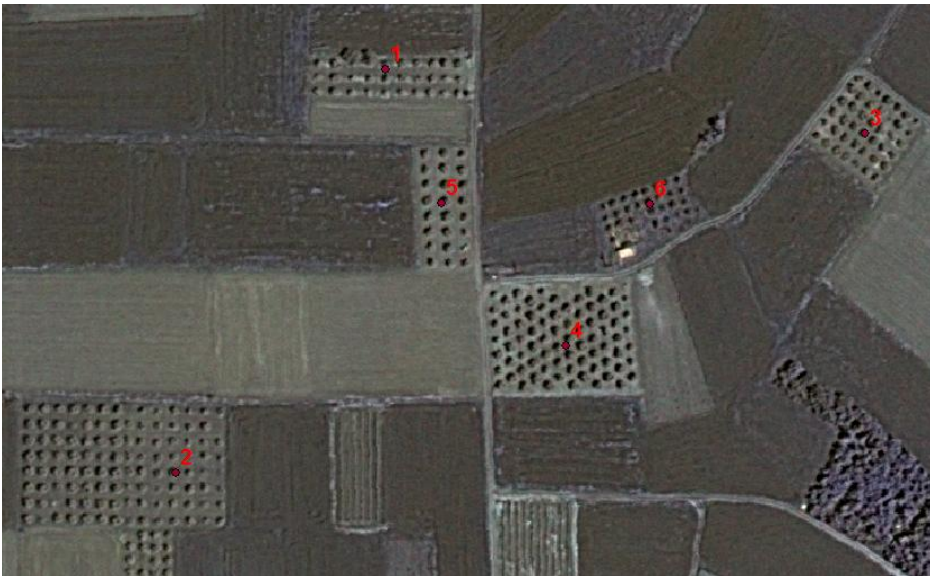
Εικόνα 8 Τεμάχια 1,2,3 με μικρά δέντρα καλά διατεταγμένα (φαίνεται και από τη σκιά που δημιουργούν) που αποτελούν μόνιμη καλλιέργεια.



Εικόνα 9 Τεμάχια 1,2,3,4 αποτελούν μόνιμη καλλιέργεια. Στο τεμάχιο 3 φαίνονται μεγαλύτερα δέντρα.

Ελιές

Δέντρα με κανονική συνήθως διάταξη και περιποιημένο έδαφος (δηλαδή το έδαφος ανάμεσα στα δέντρα είναι λευκό), κανονικό κόκκινο χρώμα και με καλή σχεδόν κανονική μορφή κόμης. Όταν βρίσκονται σε ορεινές περιοχές ή είναι εγκαταλελειμμένες τότε είναι μεγάλα δέντρα και ξεχωρίζουν από τις χαρουπιές διότι έχουν πιο σκούρο κόκκινο χρώμα.



Εικόνα 10 Χαρακτηριστικός Ελαιώνας, περιποιημένος με αρκετά μεγάλα ακανόνιστης κόμης δέντρα με σκούρο πράσινο χρώμα, με μεγάλες αποστάσεις φύτευσης και περιποιημένο έδαφος.

Αροτραίες καλλιέργειες

Όταν οι δορυφορικές εικόνες έχουν ληφθεί χειμώνα τότε τα αγροτεμάχια έχουν αποχρώσεις του πράσινου ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας -κυρίως σιτηρών. Όταν είναι σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης ή κατά την διάρκεια της άρωσης ή της σποράς και δεν υπάρχουν φυτά, το αγροτεμάχιο εμφανίζονται με λευκό-μπεζ ανοιχτό χρώμα, αν είναι καθαρό το τεμάχιο ή εάν μετά την συγκομιδή έχει πραγματοποιηθεί όργωμα του χωραφιού. Εάν έχει συγκομισθεί και υπάρχουν φυτικά ξερά υπολείμματα τότε εμφανίζεται με σκούρο μπεζ χρώμα.

Τα αντίστοιχα συμβαίνουν για τις θερινές αροτραίες καλλιέργειες (όπως βαμβάκι ή αραβόσιτος) ή χωράφια που περιέχουν κηπευτικές καλλιέργειες ή κτηνοτροφικά φυτά (βίκος, μηδική, τριφύλλι κλπ) ή άλλες αροτραίες καλλιέργειες (όπως καπνός, σπαράγγια κλπ). Προσοχή πρέπει να δίνεται και σε περιπτώσεις, όπου το χωράφι είναι ποτισμένο και φαίνεται με σκούρο πράσινο ή καφέ χρώμα ανάλογα με το αν έχει ή όχι καλλιέργεια (Εικόνα 13) καθώς επίσης αν έχει πραγματοποιηθεί κάψιμο της καλαμιάς οπότε το χωράφι εμφανίζεται μαύρο.

Επίσης, στην φωτοερμηνεία καλλιεργειών δίνεται μεγάλη σημασία στην ημερομηνία λήψης του ορθοφωτοχάρτη προκειμένου να εξεταστεί τι καλλιέργεια θα μπορούσε να έχει και σε τι στάδιο ανάπτυξης μπορεί να βρίσκεται.



Εικόνα 11 Αροτραίες καλλιέργειες με (πράσινο χρώμα) ή χωρίς καλλιέργεια (μπεζ χρώμα)



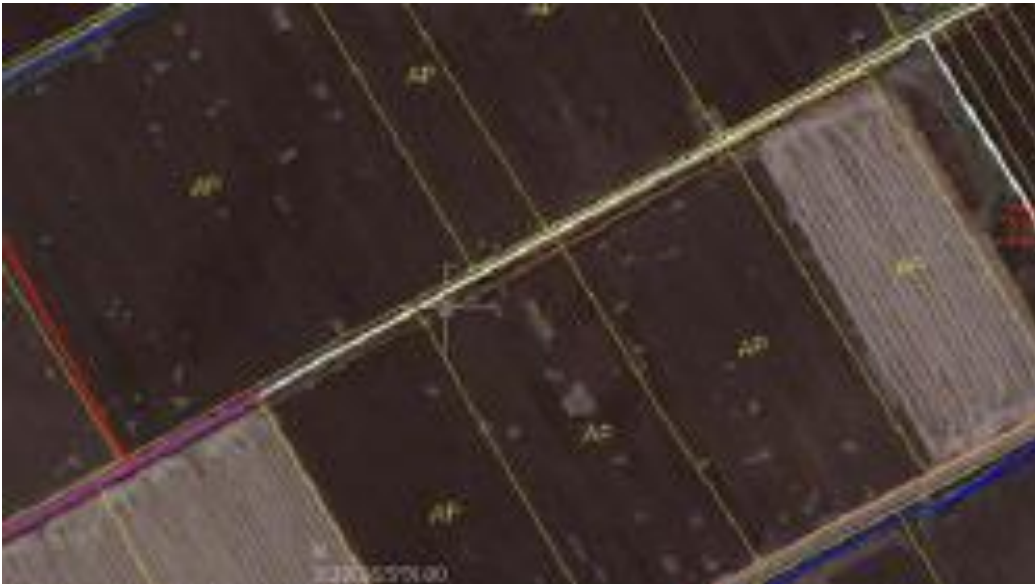
Εικόνα 12 Παραδείγματα αροτραίων καλλιεργειών.



Εικόνα 13 Αροτραία καλλιέργεια όπου ένα τμήμα της έχει πιο σκούρο χρώμα από το υπόλοιπο διότι έχει μόλις ποτιστεί.



Εικόνα 14: «Κανονάκι» που ποτίζει σε αροτραίο τεμάχιο και βρίσκεται στην αρχή της διαδικασίας.



Εικόνα 15 Αροτραίες καλλιέργειες, ποτισμένες που έχουν αρχίσει να στεγνώνουν ακανόνιστα και γι' αυτό υπάρχουν μικρά άσπρα τμήματα

Αμπέλια

Τα αμπέλια ανάλογα με την μόρφωση που τους δίνεται (ανάλογα και με την ποικιλία τους) μπορεί να απεικονίζονται είτε σε γραμμική διάταξη δηλαδή με λεπτές παράλληλες γραμμές, είτε με τραχεία υφή όταν έχουν ακανόνιστη διάταξη.



Εικόνα 16 Αμπέλι με γραμμική διάταξη στο οποίο εμφανίζονται και οι μικροί κορμοί τους (πρέμνα), (σημεία 1& 2)



Εικόνα 17 Αμπέλι με γραμμική διάταξη σε πολύ καλή κατάσταση (σημείο 1)



Εικόνα 18: Αμπέλια με τραχεία υφή και ακανόνιστη μορφή (σημεία 1 &2). Το χρώμα τους είναι συνήθως πράσινο ανοιχτό. Τα αμπέλια περιστοιχίζονται από ελαιώνες (σημεία 3 & 4, καθώς και από χωράφι που μόλις έχουν φυτευτεί μικρές ελιές (σημείο 5)

Δασικές εκτάσεις

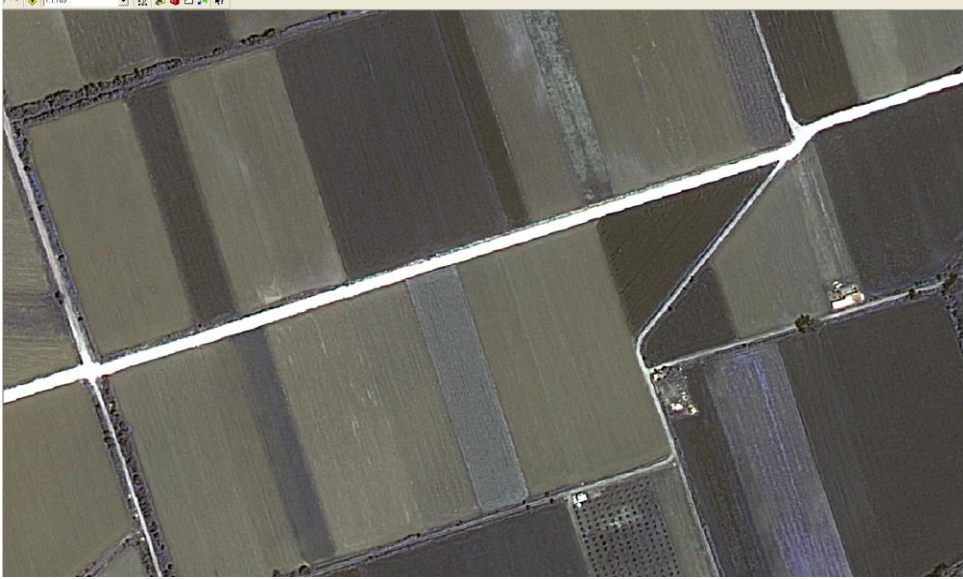


Εικόνα 19 Δασική έκταση (σημεία 1,2, 3) με ρέμα που έχει έντονη παραρεμάτια βλάστηση (σημεία 4 & 5), ανάμεικτη με λιβαδικές περιοχές που χαρακτηρίζονται ως βοσκότοποι (σημεία 6,7,8).



Εικόνα 20 Χορτολιβαδική έκταση που αποτελεί τον ορισμό του βοσκότοπου. Στο σημείο 1 υπάρχει καλλιέργεια (ελιές) που εξηγείτε και από τον δρόμο που έχει γίνει για να δίνει πρόσβαση στο αγροτεμάχιο.

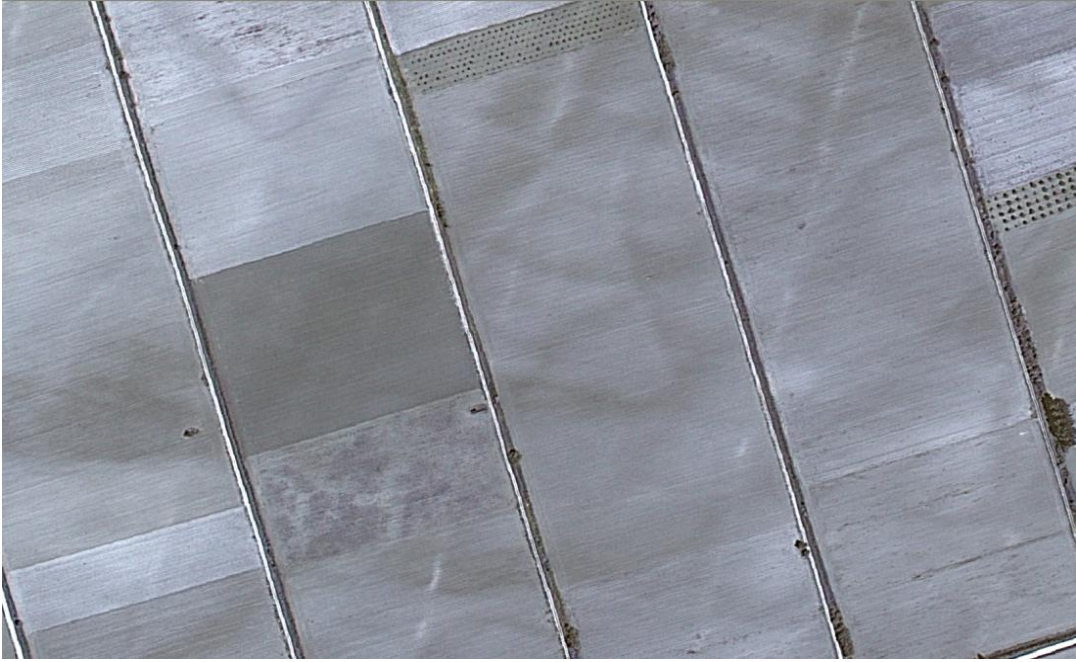
Δρόμοι- Νερά



Εικόνα 21 Αγροτικός δρόμοι πλάτους 8 μέτρων, λόγω μεγάλης αντανάκλασης της ασφάλτου οι δόμοι φαίνονται ανοιχτού χρώματος (έως και άσπρες) γραμμές.



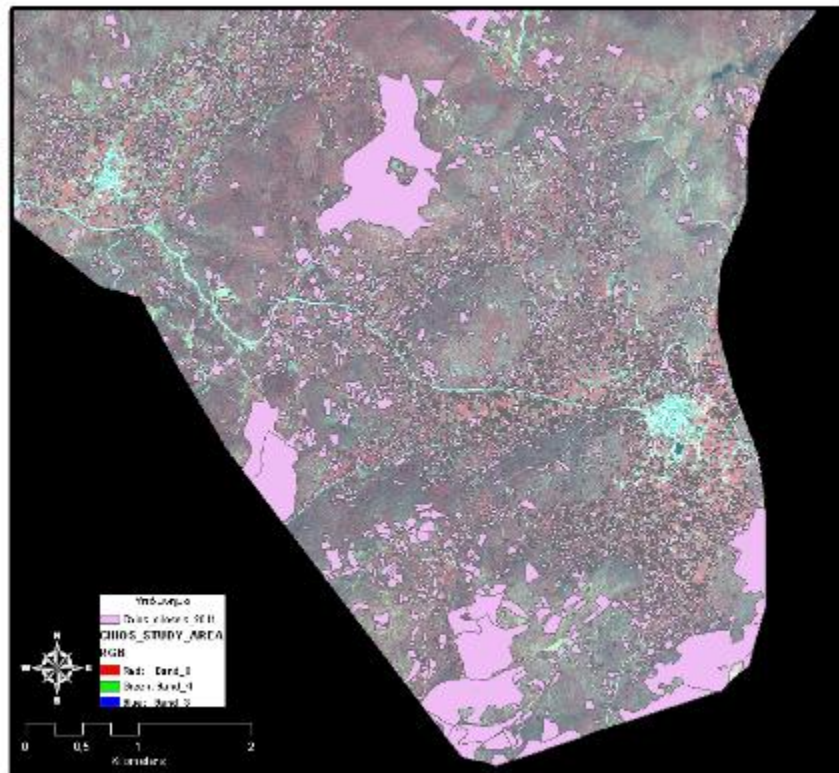
Εικόνα 22 Εμφανής ποταμός, χαρακτηριστικό στην ύπαρξη νερού είναι και η πυκνή βλάστηση κατά μήκος.



Εικόνα 23 Αρδευτικά-Στραγγιστικά κανάλια στα όρια των καλλιιεργειών που χρησιμοποιείται για την άρδευση ή αποστράγγιση τους.

2.4 Πολυγωνικό αρχείο καλλιεργειών και σημειακό αρχείο υπαίθριας επιβεβαίωσης (ground truth) ορθότητας πληροφορίας καλλιεργειών για την περιοχή μελέτης.

Ο ΟΠΕΚΕΠΕ (Οργανισμός Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων) είναι ο Ελληνικός Οργανισμός πληρωμών των κοινοτικών ενισχύσεων που λειτουργεί από το 2001 υπέρ του δημοσίου συμφέροντος και εποπτεύεται από τον Υπουργό Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Στόχος του ΟΠΕΚΕΠΕ ως Οργανισμού Πληρωμών είναι να καταβάλλει έγκαιρα, σωστά και με διαφάνεια τις αγροτικές ενισχύσεις που χορηγούνται από την Ευρωπαϊκή Ένωση στον γεωργικό τομέα. Προϋπόθεση της καταβολής των αγροτικών ενισχύσεων είναι οι δικαιούχοι να δηλώνουν την καλλιέργεια και τα αγροτεμάχια που έχουν υπό εκμετάλλευσή τους και να αποδέχονται τον οποιοδήποτε έλεγχο για την εγκυρότητα των δηλώσεών τους. Ο ΟΠΕΚΕΠΕ μαζί με την εικόνα της περιοχής μελέτης, λόγω του ερευνητικού σκοπού της εργασίας, μας παραχώρησε τα πολυγωνικά αρχεία των δηλώσεων των καλλιεργειών των παραγωγών που είχαν προς εκμετάλλευσή για το 2011, συνοδευόμενα με τους πίνακες προσδιορισμού των καλλιεργειών.



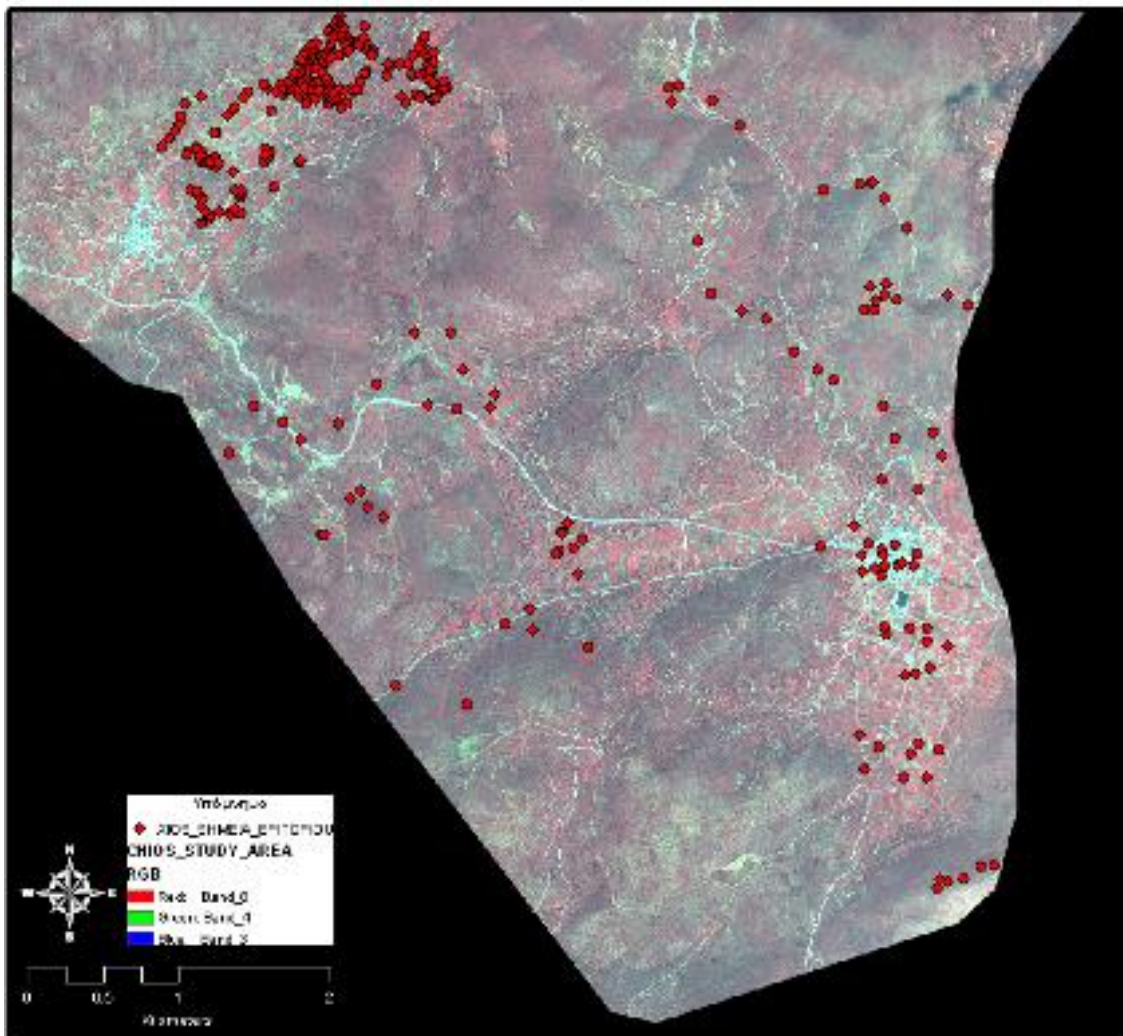
Χάρτης 4: Χάρτης της περιοχής μελέτης στο ΝΑ τμήμα της Χίου με τα πολύγωνα των καλλιεργειών και των βοσκοτόπων.

Πρόκειται για ένα χωρικό αρχείο της μορφής shape file συνοδευόμενο από πίνακα με τα αλφαριθμητικά χαρακτηρισήσκηκα όλων των καλλιεργειών και των βοσκοτόπων που αιτούνται επιδότηση, παρακάτω φαίνονται αναλυτικά οι κωδικοί και η περιγραφή των καλλιεργειών που συναντώνται στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 4: Πίνακας με τους κωδικούς των καλλιεργειών

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΠΙΔΟΤΟΥΜΕΝΩΝ ΚΩΔΙΚΩΝ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΧΙΟΥ	
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
9	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ
15.2	ΕΛΑΙΩΝΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑΣ ΕΛΙΑ
15.3	ΕΛΑΙΩΝΕΣ ΔΙΠΛΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ
26	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΑΛΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΠΡΟΣΜΕΤΡΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΕΚΤΑΤΙΚΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ
30	ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΙ ΕΛΑΙΩΝΕΣ ΣΤΑ ΜΙΚΡΑ ΝΗΣΙΑ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ
36.2	ΛΟΙΠΟΙ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΙΝΟΥ
38	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ
45.1	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
45.2	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ - ΔΕΝΔΡΩΔΕΙΣ
46.2	ΛΟΙΠΑ ΜΕΤΡΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΤΑ ΜΙΚΡΑ ΝΗΣΙΑ ΑΙΓΑΙΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ-ΔΕΝΔΡΩΝΕΣ
46.3	ΛΟΙΠΑ ΜΕΤΡΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΤΑ ΜΙΚΡΑ ΝΗΣΙΑ ΑΙΓΑΙΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ-ΜΑΣΤΙΧΑ

Ο ΟΠΕΚΕΠΕ ελέγχει την εγκυρότητα των δηλώσεων των καλλιεργειών με επιτόπιους ελέγχους στις δηλωμένες καλλιέργειες των παραγωγών. Συνεργεία γεωτεχνικών συλλέγουν τις φασματικές υπογραφές για κάθε καλλιέργεια και σημεία ενδιαφέροντος, ώστε να μπορεί να γίνει η εκπαίδευση των αλγορίθμων ταξινόμησης. Τα σημεία των επιτόπιων ελέγχων αποτυπώνονται στον παρακάτω χάρτη της περιοχής μελέτης και αποτελούν την υπαίθρια επιβεβαίωση (ground truth).



Χάρτης 5: Χάρτης περιοχής μελέτης με κόκκινα σημεία απεικονίζονται τα σημεία επιτόπιων ελέγχων αναγνώρισης χρήσεων γης.

2.5 Λογισμικό σύστημα ENVI

Οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις είναι καταγραφές της ανακλώμενης ή/και της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, οι οποίες δίνουν την εντύπωση εικόνας. Προκειμένου, λοιπόν, να γίνει δυνατή η συλλογή χρήσιμης πληροφορίας, είναι απαραίτητη η ερμηνεία τους. Η ερμηνεία των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων (η οποία μπορεί να γίνει είτε οπτικά, είτε αυτόματα), απαιτεί ένα συνδυασμό των γενικών και ειδικών γνώσεων της επιστήμης και της τεχνικής, της εμπειρίας και της κρίσης του ανθρώπου-φωτοερμηνευτή. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, με πιο παλιά την οπτική προσέγγιση που όλα γίνονται από φωτοερμηνευτή χωρίς την χρήση υπολογιστών. Σήμερα όμως χάρις της τεχνολογικής ανάπτυξης δημιουργούνται όλο και πιο αναπτυγμένες και ορθά αποδεκτές μέθοδοι ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας, όπου ο υπολογιστής έχει πολύ μεγάλο ρόλο στη διεξαγωγή γρήγορων υπολογισμών με μεγάλη εξαγωγή ακρίβειας.

Ένα ψηφιακό σύστημα επεξεργασίας εικόνας αποτελείται από έναν υπολογιστή και ένα λογισμικό για την ανάλυση και επεξεργασία της εικόνας. Υπάρχει στο εμπόριο μεγάλη συλλογή λογισμικών πακέτων καθένα με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του. Αντιπροσωπευτικά τέτοια προγράμματα είναι το ENVI, το ERDAS Imagine , το T.N.T mips , το eCognition και το ERmapper καθώς και άλλα από διαφορετικές εταιρείες. Χωρίς την χρήση των ανάλογων λογισμικών δεν μπορεί να γίνει η ανάλυση και ερμηνεία των πολυφασματικών ψηφιακών δορυφορικών εικόνων, τουλάχιστο όχι στο βάθος και με την ταχύτητα που θέλουμε. Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χρήση του λογισμικού ENVI 4.7 SPI.

2.5.1 Χαρακτηριστικά και Δυνατότητες ENVI 4.7 SPI

Το ENVI είναι διεθνώς αναγνωρισμένο ως το καλύτερο εργαλείο για την ανάλυση πολυφασματικών και υπερφασματικών δεδομένων και την εξαγωγή πληροφορίας από αυτά. Κάποια από τα χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα που έχει είναι τα εξής:

- Εύκολη βελτίωση εικόνας
- Γεωαναφορά εικόνας και ορθοαναγωγή
- Εργαλεία εντοπισμού αλλαγής για θεματικές και αποχρώσεων του γκρι εικόνες
- Τρισδιάστατη οπτικοποίηση
- Μωσαϊκά και Κατακερματισμός
- Επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση

- Ενσωματωμένες δυνατότητες G.I.S.
- Λειτουργίες ψηφιδωτού G.I.S.
- Ανάλυση αναγλύφου
- Ανάλυση δεδομένων Radar
- Σύνθεση χάρτη και εισαγωγή σχολίων
- Δυνατότητα επεκτάσεως των δυνατοτήτων του λογισμικού με γλώσσα προγραμματισμού IDL

2.6 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.)

Για να μπορέσει να γίνει δυνατή η προσέγγιση των σχέσεων, των αλληλεξαρτήσεων και αλληλεπιδράσεων μεταξύ μετρητικών και ποιοτικών στοιχείων και χαρακτηριστικών της φυσικής και κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας μιας περιοχής/περιφέρειας αλλά και η εκτίμηση του «μέτρου», των «μεγεθών», και των «τάσεων» μεταβολών τους, οι επιστήμονες και οι ερευνητές της γης και του περιβάλλοντος είναι υποχρεωμένοι να συνεκτιμήσουν και/ή να συγκρίνουν πολλά και ποικίλα, συνήθως ετεροβαρούς ακριβείας και με μεγάλες μεταξύ τους χρονικές αποκλίσεις στοιχεία όπως π.χ.

- τοπογραφικά διαγράμματα
- ψηφιακά μοντέλα αντικειμένου/εδάφους και/ή παράγωγες επεξεργασίες τους
- θεματικούς χάρτες
- αεροφωτογραφίες και επίγειες φωτογραφίες
- βιντεολήψεις
- ψηφιακές δορυφορικές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις
- πορίσματα επιγείων αποδόσεων/ελέγχων
- στατιστικές απογραφές
- πληροφορίες από φωτοερμηνευτικές αναλύσεις και ψηφιακές επεξεργασίες τηλεπισκοπικών απεικονίσεων κ.λ.π.
- στοιχεία ειδικών βάσεων δεδομένων

Για να χειρισθούμε αυτά τα χωρικά δεδομένα πρέπει να τα «αναλύσουμε» (ή να τα αναφέρουμε) σε μικρά/μοναδιαία πολυγωνικά στοιχεία, ή σε κανονικά μοναδιαία τετραγωνικά στοιχεία ενός δικτύου/ καννάβου τα οποία να προσαρμόζονται με κάποιο τρόπο στη φυσική γήινη επιφάνεια και τις πολυδιάστατες (ανάλογα με την επιστημονοτεχνική τους προσέγγιση ή την συγκεκριμένη εφαρμογή), «μονάδες» της (Γ.Τσακίρης, 1995). Έτσι, ως Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών ορίστηκε η ραγδαία αναπτυσσόμενη και εξελισσόμενη τεχνική του μετασχηματισμού τεράστιων ποσοτήτων ποιοτικών και ποσοτικών στοιχείων τα οποία αφορούν ή σχετίζονται με τη γη και το περιβάλλον σε χρήσιμες και αμέσως αξιοποιήσιμες πληροφορίες από τις διεπιστημονικές ομάδες οι οποίες αντιμετωπίζουν τα σχετικά προβλήματα,

τεκμηριώνουν την σκοπιμότητα και σχεδιάζουν προγράμματα ανάπτυξης και προστασίας του περιβάλλοντος ή πραγματοποιούν τους στόχους τους και παρακολουθούν και αξιολογούν τις επιπτώσεις τους (Γ.Τσακίρης, 1995).

2.6.1 Δυνατότητες-Χρησιμότητα ΓΠΣ

Χαρακτηριστικά παραδείγματα προβλημάτων στην διεπιστημονική αντιμετώπιση των οποίων μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών πραγματοποιώντας μετά την απαραίτητη κωδικοποίηση των στοιχείων τους κατάλληλους χειρισμούς ανάκτησης, μετασχηματισμού, αποθήκευσης, έρευνας, ανάλυσης, μέτρησης, χαρτογράφησης, συσχέτισης, σύνθεσης των στοιχείων και συγκρότησης μοντέλων είναι:

- Η συστηματική μελέτη και ανάλυση των παραγόντων οι οποίοι προκαλούν, συντηρούν και επιταχύνουν φαινόμενα ερημοποίησης με στόχο την λήψη μέτρων και την χάραξη της βέλτιστης στρατηγικής διαχείρισης και προστασίας γαιών (π.χ. παράλληλη μελέτη ανάγλυφου, ύψους βροχοπτώσεων, είδους και ποιότητας εδαφών κ.λ.π. σε σχέση με τη διάβρωση κ.λ.π.).
- Η συστηματική παρακολούθηση, μελέτη και εκτίμηση των πολυδιάστατων επιπτώσεων των φυσικών (πλημμύρες, σεισμοί κ.λ.π.) και τεχνητών (πυρκαϊγές δασών, κηλίδες πετρελαίου, πόλεμοι, βιομηχανικά ατυχήματα κ.λ.π.) καταστροφών πάνω στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, με στόχο την διαμόρφωση μιας μακροπρόθεσμης και αποτελεσματικής πολιτικής διαχείρισης και προστασίας των εδαφών.
- Η συστηματική έρευνα των φαινομένων ξηρασίας, με στόχο την καλύτερη διαχείριση των αρδευόμενων εκτάσεων (με παράλληλη αξιοποίηση στοιχείων τοπογραφίας, μετεωρολογικών δορυφόρων, στατιστικών κ.λ.π.).
- Η συστηματική έρευνα και παρακολούθηση τις αλληλεπίδρασης της γης και της θάλασσας και των παράκτιων διαδικασιών με στόχο την καλύτερη προστασία του γήινου από το θαλάσσιο και του θαλάσσιου από το γήινο (και ανθρωπογενές) περιβάλλον.
- Η συστηματική έρευνα και παρακολούθηση του ορεινού περιβάλλοντος, με στόχο την διατήρηση και προστασία του από τις ανθρωπίνες επιχειρηματικές δραστηριότητες και τις δυσμενείς επιπτώσεις φυσικών φαινομένων και δράσεων (αποσαθρώσεων, διαβρώσεων κατολισθήσεων κ.λ.π.).
- Η συστηματική έρευνα, καταγραφή και παρακολούθηση των στοιχείων και των χαρακτηριστικών τα οποία συγκροτούν τον αστικό και αγροτικό χώρο, με στόχο την διαμόρφωση της απαραίτητης/υποδομής για τον ορθολογικό, αξιόπιστο και ολοκληρωμένο u945 αστικό και αγροτικό σχεδιασμό ανάπτυξης, (σε ένα επίπεδο π.χ προγραμματισμού νέων έργων υποδομής, παρακολούθησης της πραγματοποίησης των στόχων αστικής ανάπτυξης, παρακολούθησης των επεκτάσεων των μεγαλουπόλεων, διερεύνησης και απογραφής των υδατικών αναγκών για ύδρευση, βιομηχανικές διεργασίες, αναψυχή κ.λ.π.). Η προσπάθεια ολοκλήρωσης των δυνατοτήτων των

Συστημάτων Πληροφοριών Γης και Περιβάλλοντος (Γεωγραφικών/Κτηματολογικών) σε εφαρμογές διερεύνησης, απογραφής χαρτογράφησης και παρακολούθησης Φυσικών Διαθεσίμων και Χρήσεων/Καλύψεων Γης καθώς και ολοκληρωμένων αποδόσεων της φυσικής και της κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας μιας περιοχής, οι οποίες αποτελούν αντικειμενικά υλική βάση και για τις περισσότερες από τις μελέτες και έρευνες υδρολογίας, αναπτύχθηκε ουσιαστικά τις αρχές της δεκαετίας του '80 (Shelton και Estes 1981, Ρόκος, 1981) με προπομπούς σχετικές επιστημονικές που διατυπώθηκαν σε σχετικά με την ανάπτυξη και το περιβάλλον ερευνητικά πεδία τα οποία απαιτούσαν διεπιστημονική προσέγγιση (Ρόκος, 1968,1976, Cicone, 1977).

3 Αποτελέσματα

3.1 Προεπεξεργασία δορυφορικής εικόνας

Η δορυφορική εικόνα WORLDVIEW-2 που χρησιμοποιήσαμε για την διεξαγωγή της μελέτης αρχικά κόπηκε έτσι που να καλύπτει μόνο το χώρο που μας ενδιαφέρει για τη μείωση του μεγέθους των εξαγόμενων αρχείων. Στη συνέχεια για την ορθή αξιοποίηση των τηλεπισκοπικών δεδομένων προϋποθέτεται η κατάλληλη προεπεξεργασία τους, ώστε να απαλειφθεί μια σειρά σφαλμάτων, αλλοιώσεων και μεταβολών που εάν παραμείνουν θα υποβαθμίσουν την ποιότητα της τελικής πληροφορίας και θα οδηγήσουν αντίστοιχα σε εσφαλμένα ή αλλοιωμένα συμπεράσματα. Οι διορθώσεις που πρέπει να γίνουν αφορούν:

3.1.1 Γεωμετρικές Διορθώσεις

Οι δορυφορικές εικόνες δεν αποτελούν από τη φύση τους χάρτες καθώς αυτό προϋποθέτει προκαθορισμένο γεωδαιτικό έλεγχο, κλίμακα, προβολή και κλίμακα για τα αντικείμενα των εικόνων. Συχνά ωστόσο η πληροφορία που εξάγεται από δεδομένα τηλεπισκόπησης έχει ως σκοπό την ενσωμάτωση της, μαζί με άλλες χαρτογραφικές πληροφορίες σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ή την παρουσίασή της στους τελικούς χρήστες-καταναλωτές σε μορφή χάρτη. Ο μετασχηματισμός μιας εικόνας τηλεπισκόπησης έτσι ώστε να έχει κλίμακα και προβολικές ιδιότητες ενός χάρτη ονομάζεται γεωμετρική διόρθωση και πρέπει να ακολουθείται όποτε απαιτούνται ακριβείς μετρήσεις επιφάνειας, διεύθυνσης και απόστασης σε μια εικόνα (Jensen 1996) Σκοπός της γεωμετρικής διόρθωσης είναι η εύρεση της ακριβούς γεωγραφικής θέσης των εικονοστοιχείων. Εξαιτίας της κίνησης της γης, της κίνησης του δορυφόρου, των αποκλίσεων της ατράκτου, των υψομετρικών διαφορών κ.λπ., τα δορυφορικά δεδομένα παρουσιάζουν συστηματικά και τυχαία σφάλματα, τα οποία επηρεάζουν τη θέση των εικονοστοιχείων και παραμορφώνουν την εικόνα. Μια παρεμφερής τεχνική η οποία ονομάζεται εγγραφή εικόνας (image registration) είναι η διαδικασία μετασχηματισμού συντεταγμένων και προσαρμογής δυο εικόνων παρόμοιας γεωμετρίας και της ίδιας γεωγραφικής περιοχής, κατά την οποία τοποθετούνται έτσι ώστε να συμπίπτουν μεταξύ τους και αντίστοιχα γνωρίσματα της επιφάνειας της γης να εμφανίζονται στο ίδιο μέρος στις δυο εικόνες. Συμπερασματικά η γεωμετρική διόρθωση δεδομένων τηλεπισκόπησης απαιτείται όταν μια εικόνα ή ένα προϊόν που παράγεται από την εικόνα όπως ένας δείκτης βλάστησης ή μια ταξινομημένη εικόνα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε μια από τις παρακάτω περιπτώσεις (Kardoulas κ.ά. 1996):

1. Στο μετασχηματισμό μιας εικόνας ώστε να ταιριάσει σε μια χαρτογραφική προβολή.
2. Στον εντοπισμό σημείων ενδιαφέροντος στο χάρτη και την εικόνα
3. Στην προσαρμογή γειτονικών εικόνων.

4. Για την επίθεση διαχρονικών λήψεων εικόνων της ίδιας γεωγραφικής περιοχής, οι οποίες πιθανότατα να έχουν ληφθεί από διαφορετικούς δέκτες.
5. Για την επίθεση εικόνων και χαρτών σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών.

Οι διάφορες πηγές γεωμετρικών σφαλμάτων γενικότερα είναι οι εξής:

1. Σφάλματα των οργάνων
2. Πανοραμική παραμόρφωση
3. Περιστροφή της γης και αστάθεια της πλατφόρμας μεταφοράς των οργάνων.

Μια διάκριση των παραπάνω σφαλμάτων μπορεί να γίνει και σε αυτά που οφείλονται στον παρατηρητή και στον παρατηρούμενο.

Μια δεύτερη κατηγοριοποίηση των σφαλμάτων είναι αυτή σε παραμορφώσεις χαμηλής, μέσης και υψηλής συχνότητας όπου η συχνότητα καθορίζεται από το χρόνο λήψης. Παραδείγματα χαμηλής, μέσης και υψηλής συχνότητας παραμόρφωσης, είναι οι μεταβολές στην τροχιά της πλατφόρμας, την περιστροφή της γης και τοπικές τοπογραφικές επιδράσεις αντίστοιχα. Η διαδικασία γεωμετρικής διόρθωσης μπορεί να θεωρηθεί ότι περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. Τον καθορισμό μιας σχέσης μεταξύ του συστήματος συντεταγμένων του χάρτη και της εικόνας (ή εικόνας και εικόνας στην περίπτωση της εγγραφής)
2. Τον καθορισμό ενός συνόλου σημείων τα οποία ορίζουν το κέντρο των εικονοστοιχείων στη διορθωμένη εικόνα και τα οποία όταν εκληφθούν ως ένας ορθογώνιος κάρναβος, ορίζουν τις επιθυμητές χαρτογραφικές ιδιότητες
3. Την εκτίμηση των τιμών των εικονοστοιχείων που συνδέονται με αυτά τα σημεία.

Για τον καθορισμό της σχέσης μεταξύ του συστήματος συντεταγμένων του χάρτη και της εικόνας υπάρχουν τρεις τεχνικές.

Η πρώτη στηρίζεται στην υιοθέτηση ενός μοντέλου γεωμετρίας της τροχιάς αναλόγως του δορυφόρου και απαιτεί τη γνώση παραμέτρων που περιγράφουν την τροχιά της πλατφόρμας, την περιστροφή της γης, την ταχύτητα δειγματοληψίας κ.λπ. Η ακρίβεια ωστόσο που προκύπτει από τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνικής δεν είναι ικανοποιητική. (Mather 1999).

Η δεύτερη τεχνική στηρίζεται στη χρήση πολυώνυμων μαθηματικών σχέσεων για την εκτίμηση των παραμορφώσεων που υπάρχουν σε μια εικόνα, μέσω της σύγκρισης των διαφορών που υπολογίζονται για επιλεγμένα κοινά σημεία στην εικόνα και στο χάρτη. Από τις διαφορές αυτές προκύπτουν οι συντελεστές ενός εμπειρικού μετασχηματισμού που συσχετίζει τα συστήματα συντεταγμένων της εικόνας και του χάρτη. Τα επιλεγμένα σημεία ονομάζονται επίγεια σημεία ελέγχου (Ground Control Points) και ορίζονται ως σημεία στην επιφάνεια της γης, στα οποία μπορούν να αναγνωριστούν και οι συντεταγμένες εικόνας (μετρούμενες συνήθως σε γραμμές και στήλες) και συντεταγμένες χάρτη μετρούμενες σε μίρες γεωγραφικού μήκους και πλάτους ή σε μέτρα. Ο βαθμός του πολυώνυμου που θα χρησιμοποιηθεί συναρτάται του είδους και

της σοβαρότητας της παραμόρφωσης (Mather 1999). Γενικά για μέτριες παραμορφώσεις σε μια σχετικά μικρή γεωγραφική περιοχή, ένα πολυώνυμο 1ου βαθμού με έξι άγνωστους παραμέτρους είναι ικανοποιητικό. Η λύση της εξίσωσης και η εκτίμηση των παραμέτρων για την οποία απαιτούνται τρία τουλάχιστον επίγεια σημεία ελέγχου, στηρίζεται στη στατιστική μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων. Επιπλέον για τη διόρθωση των παραμορφώσεων λόγω του ανάγλυφου της γήινης επιφάνειας, τα παραπάνω πολυώνυμα δυο διαστάσεων μπορούν να επεκταθούν σε τρισδιάστατα προσθέτοντας συντελεστές για την τρίτη διάσταση-το υψόμετρο.

Τέλος, η τελευταία τεχνική περιλαμβάνει τον συνδυασμό της τεχνικής των πολυωνύμων και ενός μοντέλου παραμέτρων τροχιάς για βελτίωση της ακρίβειας.

Στη συνέχεια και καθώς οι συντεταγμένες των εικονοστοιχείων στη διορθωμένη εικόνα δεν είναι συνήθως ακέραιες τιμές απαιτείται ο υπολογισμός μιας νέας ψηφιακής τιμής για κάθε εικονοστοιχείο. Η διαδικασία αυτή απαιτεί τη χρήση μιας μεθόδου χωρικής παρεμβολής η οποία ονομάζεται επαναδειγματοληψία (resampling). Υπάρχουν τρεις μέθοδοι (αλγόριθμοι) επαναδειγματοληψίας των δορυφορικών δεδομένων:

1. Του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor)

Κατ' αυτήν η τιμή λαμπρότητας του εικονοστοιχείου των αρχικών δεδομένων το οποίο βρίσκεται πλησιέστερα στο εικονοστοιχείο του τελικού διορθωμένου κανάβου (συνεχής γραμμή) μεταφέρεται σε αυτό. Η μέθοδος δεν μεταβάλλει τις τιμές των εικονοστοιχείων. Παραμορφώνει όμως χωρικά κατά μισό εικονοστοιχείο την εικόνα.

2. Της διγραμμικής παρεμβολής (bilinear interpolation)

Κατ' αυτήν στο εικονοστοιχείο του κανάβου μεταφέρεται ο μέσος όρος των τιμών λαμπρότητας τεσσάρων εικονοστοιχείων των αρχικών δεδομένων, τα οποία βρίσκονται πλησιέστερα στο υπόψη εικονοστοιχείο. Η μέθοδος αυτή απαιτεί περισσότερο χρόνο για να ολοκληρωθεί η διαδικασία και δημιουργεί μια εικόνα με μικρότερη αντίθεση. Επίσης οι νέες τιμές λαμπρότητας μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα κατά κατά την ψηφιακή ανάλυση.

3. Της κυβικής συστροφής (cubic convolution)

Η διαφορά με τη διγραμμική παρεμβολή είναι ότι ο μέσος όρος υπολογίζεται από τις τιμές λαμπρότητας των 16 πλησιέστερων εικονοστοιχείων των αρχικών δεδομένων. Η μέθοδος αυτή απαιτεί 10-12 φορές μεγαλύτερο χρόνο από ότι η μέθοδος της πλησιέστερης γειτονίας. Η τελική όμως εικόνα δεν παρουσιάζει ούτε την παραμόρφωση της πρώτης περίπτωσης, ούτε τη μείωση της αντίθεσης της δεύτερης. (Μαλλίνης 2006).

Απαραίτητο στοιχείο για την επιτυχή έκβαση μιας συγχώνευσης μεταξύ δορυφορικών δεδομένων είναι η άψογη ταύτισή τους στο χώρο, με άλλα λόγια κατά την εγγραφή της μιας δορυφορικής εικόνας στην άλλη, πολυφασματική (MUL) και παγχρωματική (PAN), να υπάρχει πλήρης ταύτιση των αντίστοιχων ψηφίδων τους. Για να γίνει αυτό θα πρέπει

οι δορυφορικές εικόνες να διορθωθούν γεωμετρικά. Για την γεωμετρική διόρθωση όμως χρειάζονται τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους των περιοχών των δορυφορικών εικόνων με παρόμοιο αν όχι καλύτερο μέγεθος εικονοστοιχείου. Στην προκειμένη περίπτωση δεν υπήρχαν τέτοια. Στην περίπτωση που η γεωμετρική διόρθωση γινόταν ξεχωριστά για την παγχρωματική εικόνα και ξεχωριστά για την πολυφασματική, υπήρχε περίπτωση λόγω του ορεινού χαρακτήρα των περιοχών να μην υπήρχε απόλυτη ταύτιση. Έγινε λοιπόν έλεγχος για να διερευνηθεί αρχικά αν υπήρχε ταύτιση χωρίς γεωμετρική διόρθωση. Χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος του λογισμικού ERDAS IMAGINE, Swire. Διαπιστώθηκε πως οι δορυφορικές εικόνες ταυτιζόταν ικανοποιητικά και στις τρεις περιπτώσεις. Για τον σκοπό αυτό λοιπόν το επίπεδο επεξεργασίας των εικόνων που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό της τυποποιημένης εικόνας (Standard Imagery) σε επίπεδο γεωμετρικής διόρθωσης ortho-ready (διορθωμένο χωρίς τη χρήση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους-Digital Elevation Model αλλά προσαρμοσμένο σε προβολικό σύστημα WGS 84).

3.1.1.1 Προβολικό Σύστημα

Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87). Αρχικό σημείο του είναι το κεντρικό βάθρο στο Διόνυσο Αττικής και χρησιμοποιεί ως ελλειψοειδές αναφοράς το GRS 80. Υλοποιείται από τις συντεταγμένες όλων των Τριγωνομετρικών σημείων του Κρατικού δικτύου και εφαρμόζεται με την Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (ΕΜΠ – Transverse Mercator projection) σε μία ζώνη με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda_0=24^\circ$ και συντελεστή παραμόρφωσης s' αυτών $K_0=0.9996$, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι παραμορφώσεις κλίμακας στην έκταση της ηπειρωτικής χώρας (Μπιλλήρης, 2006).

Το προβολικό σύστημα του τοπογραφικού χάρτη ήταν το ΕΓΣΑ '87, του γεωλογικού χάρτη, το WGS_1984_UTM_Zone_35N και των δεδομένων του Ευρωπαϊκού προγράμματος CORINE το GCS_ETRS_1989. Για το λόγο αυτό, έγινε η μετατροπή τους στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87), προκειμένου να βρίσκονται σε ένα ενιαίο προβολικό σύστημα και να γίνει ευκολότερα η επεξεργασία, ανάλυση και παρουσίαση τους.

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (Ε.Γ.Σ.Α. '87)

Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (Datum)	Ε.Γ.Σ.Α. 87 με αφετηρία το μετατεθειμένο γεώκεντρο, βάθρο Διονύσου
Ελλειψοειδής αναφοράς	GRS'80
Μεγάλος ημιάξονας ελλειψοειδούς a	6378137.000m
Επιπλάτυση ελλειψοειδούς (1/f)	1/298.25722101
Συντελεστής κλίμακας K_0	0.9996

3.1.2 Ραδιομετρικές διορθώσεις

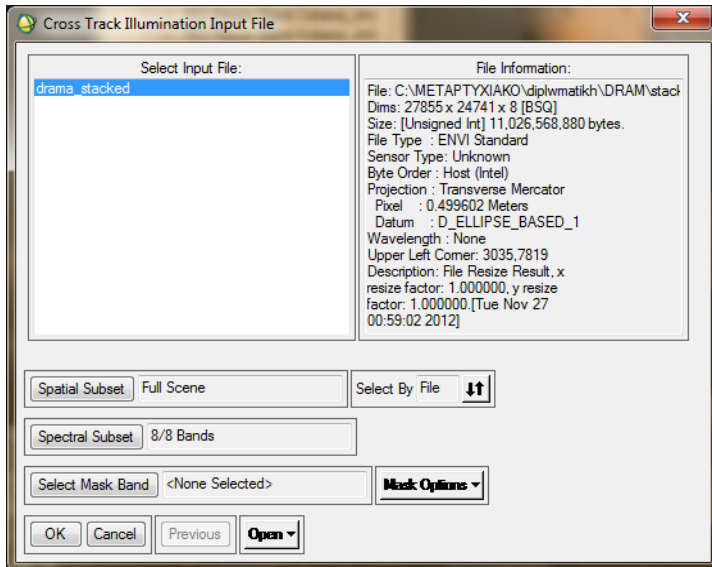
Η ραδιομετρική προ-επεξεργασία αφορά τις διεργασίες που πρέπει να γίνουν για να διορθωθούν τα σφάλματα τα οποία σχετίζονται με την ατμοσφαιρική διάχυση και απορρόφηση, τις μεταβολές της γωνίας σάρωσης, τις μεταβολές της γωνίας πρόσπτωσης του ηλίου και το “θόρυβο” του συστήματος. Η ραδιομετρική προ-επεξεργασία η οποία λέγεται και ραδιομετρική διόρθωση επιδρά και επαναπροσδιορίζει τις τιμές λαμπρότητας. Η διαδικασία της ραδιομετρικής διόρθωσης απαιτεί καταρχήν τη γνώση της φύσης της παραμόρφωσης. Πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή των σφαλμάτων που θα διορθωθούν δεν είναι πάντα η ίδια, αφού αυτή εξαρτάται από το σχεδιαζόμενο είδος χρήσης της δορυφορικής εικόνας. Όταν το αντικείμενο της έρευνας είναι οι διαχρονικές αναλύσεις και συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών δορυφορικών συστημάτων (καταγραφών) καθώς και οι συσχετίσεις μεταξύ της καταγραφόμενης από το δορυφορικό σύστημα ανακλώμενης ακτινοβολίας και περιβαλλοντικών μεταβλητών, τότε απαιτείται λεπτομερής ραδιομετρική προσαρμογή ή διόρθωση των δεδομένων εξαιτίας ατμοσφαιρικής σκέδασης και απορρόφησης (Richards 1986, Chavez 1989, Hill και Sturm 1991). Σε αντίθεση με τη γεωμετρική διόρθωση στην οποία όλες οι πηγές λαθών διορθώνονται συνήθως μαζί, οι διαδικασίες ραδιομετρικής διόρθωσης είναι εξειδικευμένες ανάλογα με την παραμόρφωση και την εφαρμογή (Richards 1993). Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις προτιμάται μια πιο γενική μέθοδος διόρθωσης των ατμοσφαιρικών επιδράσεων η οποία εφαρμόζεται σε όλη την εικόνα. Μια απλή διόρθωση των επιδράσεων της ατμόσφαιρας βασίζεται κυρίως στις τιμές λαμπρότητας που παρουσιάζει μια περιοχή με καθαρό και βαθύ νερό στους κοντινούς υπέρυθρους διαύλους. Με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά του καθαρού νερού, οι τιμές λαμπρότητας πρέπει να είναι περίπου μηδέν 0. Υψηλότερες τιμές π.χ. 15 οφείλονται στην ατμοσφαιρική διάχυση (αχλή). Αν από τις καταγεγραμμένες τιμές λαμπρότητας όλων των εικονοστοιχείων αφαιρεθεί η τιμή 15, απομακρύνεται από τα δορυφορικά δεδομένα η επίδραση της ατμόσφαιρας και η εικόνα γίνεται καθαρότερη.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν με χρήση του λογισμικού ENVI.47 είναι τα εξής:

3.1.2.1 Ψηφιακή διόρθωση της φωτεινότητας *Cross-track Illumination Correction*

Λόγω των αντανάκλασεων των αντικειμένων όπως κτηριακών κατασκευών, υαλοπινάκων, καθρεπτισμούς λιμνών, ποταμιών, θαλασσών κ.α. παρατηρείται μια

λαμπρότητα, φωτεινότητα η οποία δημιουργεί ποιοτικό πρόβλημα και αλλοίωση της πληροφορίας των pixels. Για της εξάλειψη του προβλήματος εφαρμόστηκε μέσω του λογισμικού ENVI4.7 η ψηφιακή επεξεργασία **Cross-track Illumination Correction** βελτιώνοντας τα pixels που χάνονταν από τις αντανάκλασεις.



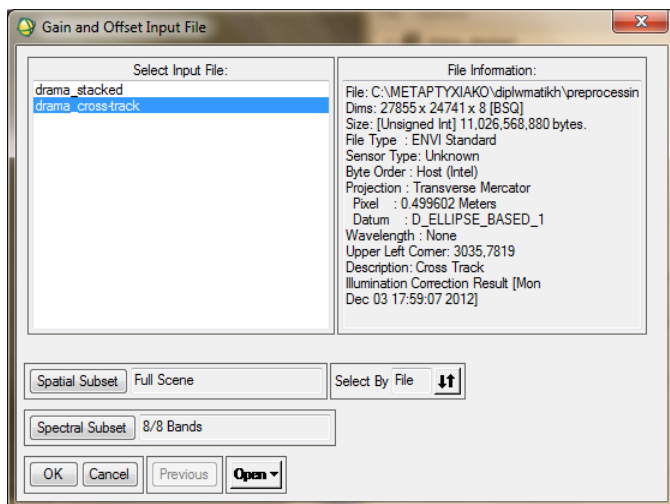
Εικόνα 24: Παράθυρο ENVI 4.7 της επεξεργασία Cross-track Illumination Correction



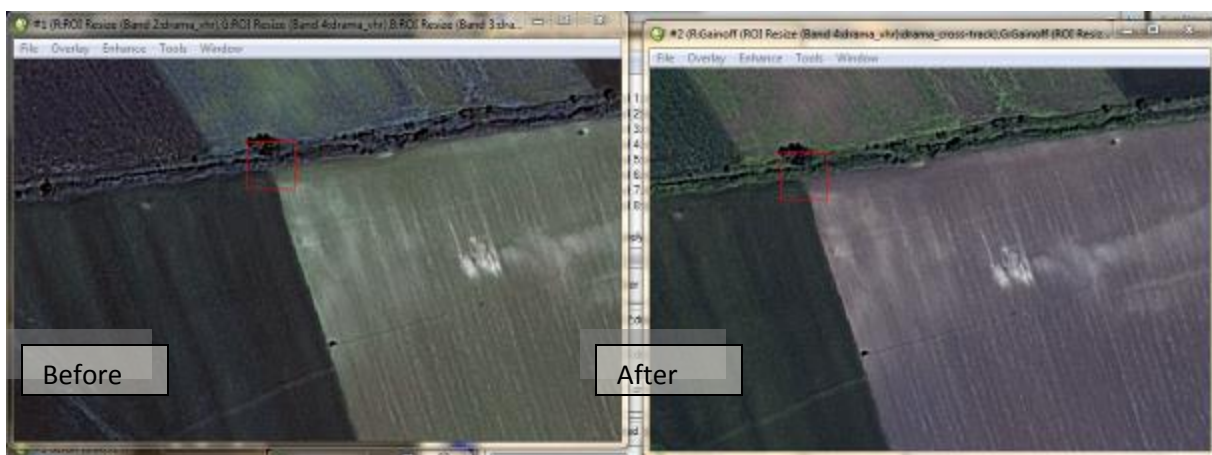
Εικόνα 25: Παρατηρώντας το πριν και το μετά της επεξεργασίας Cross-track Illumination Correction διαπιστώνουμε ότι διορθώθηκαν σε αξιόλογο βαθμό τα σφάλματα από τις αντανακλάσεις, ακτινοβολίες, σύννεφα, αέρια, υγρασία κτλ

3.1.2.2 Βελτίωση/ ενίσχυση εικόνας Μέθοδος Apply gain and offset

Βάση της μεθόδου βελτιώνεται η οπτική παρουσίαση και επακόλουθη ερμηνεία μιας εικόνας με την εφαρμογή αλγορίθμου αλλάζει η διαβάθμιση του τόνου της εικόνας (contrast) της φωτεινότητας (brightness), της «διαύγασης» ή της «οξύτητας» (sharpness) και της χρωματικής απόδοσης των χαρακτηριστικών της εικόνας. Έτσι αναγνωρίζονται και ερμηνεύονται πιο εύκολα τα διάφορα χαρακτηριστικά.



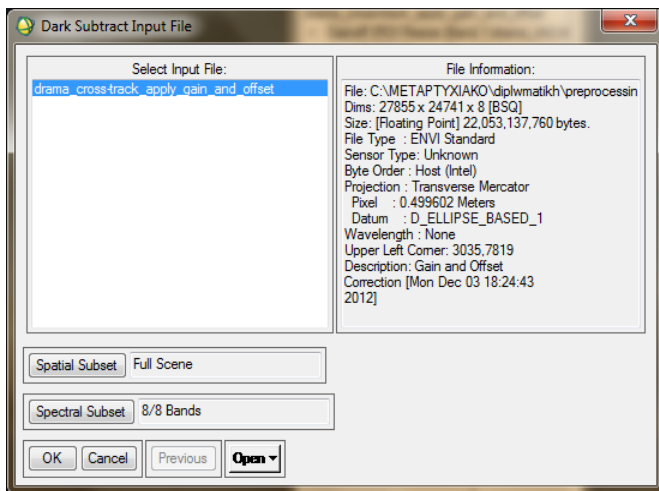
Εικόνα 26: Παράθυρο ENVI 4.7 της επεξεργασίας Apply gain and offset



Εικόνα 27: Παρατηρώντας το πριν και το μετά της επεξεργασίας Apply gain and offset διαπιστώνουμε την διόρθωση- ενίσχυση στους τόνους των χρωμάτων.

3.1.2.3 Ατμοσφαιρικές ραδιομετρικές διορθώσεις, μέθοδος αφαίρεσης σκοτεινών σημείων (Dark subtrack)

Βασίζεται στην υπόθεση, ότι σε κάθε εικόνα υπάρχουν τουλάχιστον λίγα «σκοτεινά» εικονοστοιχεία (0% αντανάκλαση), τα οποία μπορεί να αντιστοιχούν σε βαθιές, καθαρές υδάτινες επιφάνειες, σκιές κ.λπ. Στην ιδανική περίπτωση, οι τιμές έντασης αυτών των εικονοστοιχείων πρέπει να είναι μηδέν, εξαιτίας όμως της επίδρασης της ατμόσφαιρας καταγράφουν μη μηδενικές τιμές. Οι μικρότερες τιμές έντασης σε κάθε δίαυλο (αλλιώς «κανάλι» ή φασματική «ζώνη»/ band) θεωρούνται ότι αποτελούν την ακτινοβολία της ατμοσφαιρικής διαδρομής και αφαιρούνται από όλες τις τιμές έντασης των εικονοστοιχείων δίαυλου.



Εικόνα 28: Παράθυρο ENVI 4.7 της επεξεργασία Dark sabtrack



Εικόνα 29: Παρατηρώντας το πριν και το μετά της επεξεργασίας Dark sabtrack διαπιστώνουμε ότι διορθώθηκαν σε ένα βαθμό τα σκοτεινά σημεία (σκιές).

3.2 Επιλογή κατάλληλων καναλιών (Bands) προς χρήση

Όπως προείπαμε και στη βιβλιογραφία, μια δορυφορική εικόνα τύπου Worldview2 παριστάνεται σε συνολικά 8 κανάλια. Τα λογισμικά επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων αναλύουν και ανοίγουν ξεχωριστά κάθε κανάλι. Μια δορυφορική εικόνα στο λογισμικό επεξεργασίας, μπορεί να προβληθεί είτε σαν ασπρόμαυρη (Gray Scale) το κάθε κανάλι ξεχωριστά, είτε σαν έγχρωμη (RGB) της οποίας η προβολή εξαρτάται από τον συνδυασμό χρωμάτων και καναλιών που θα επιλεγθεί. Ανάλογα με την αντιστοίχιση των καναλιών στα χρώματα προβάλλεται και διαφορετική εικόνα στο οπτικό πεδίο. Μονάχα ένας συνδυασμός είναι ο πραγματικός (true color) ενώ όλοι οι άλλοι είναι οι λεγόμενοι ψευδέχρωμοι συνδυασμοί που χρησιμοποιούνται για να τονιστεί κάποια συγκεκριμένη πληροφορία απεικόνισης, για την δορυφορική εικόνα Worldview2 ο συνδυασμός true color είναι ο 5-3-2. Παρακάτω παρουσιάζονται όλοι οι συνδυασμοί καναλιών που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.



Xά

άρτης 6: BAND 8 – Gray Scale



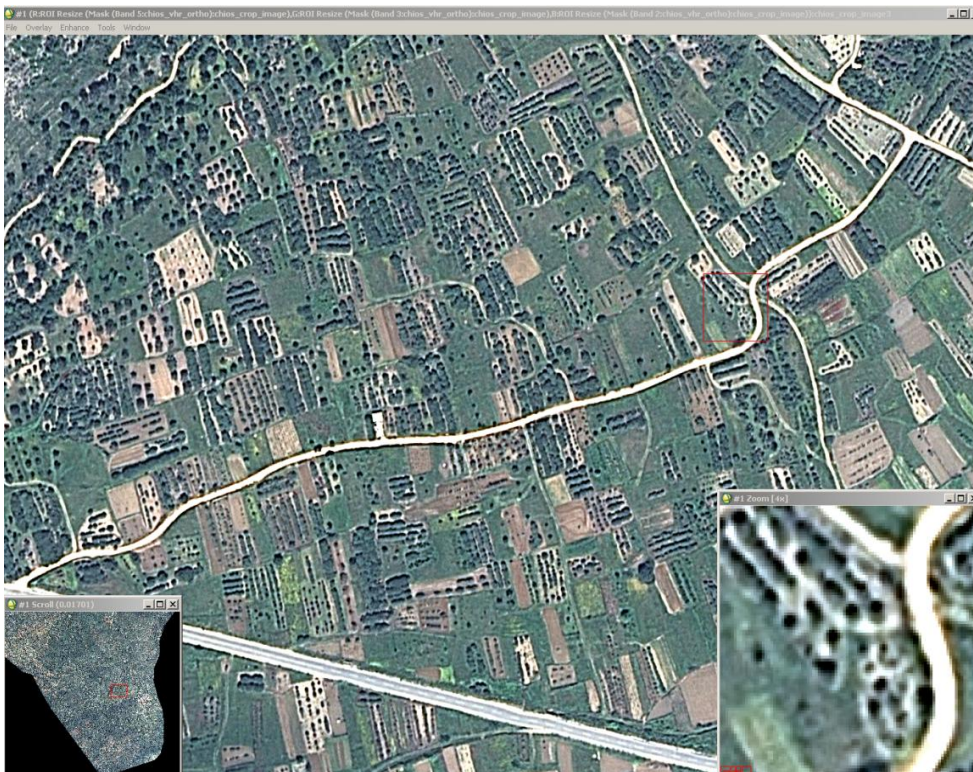
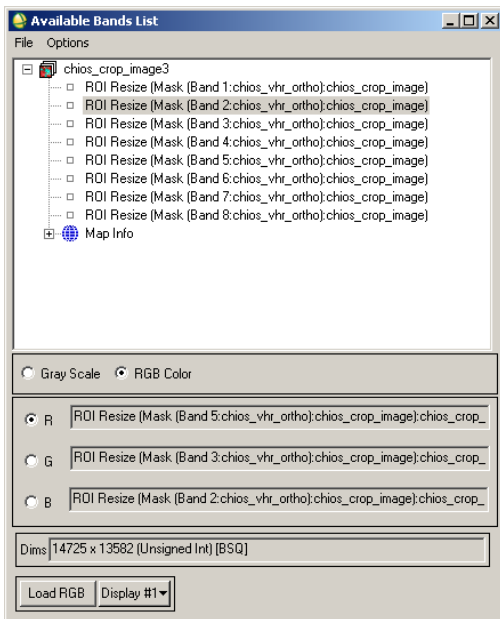
X

άρτης 7 BAND 3 – Gray Scale



X

άρτης 8: BAND 2 – Gray Scale



Χάρτης 9: Φόρτωση εικόνας Worldview 2 στο λογισμικό επεξεργασίας με το true color συνδυασμό 5-3-2

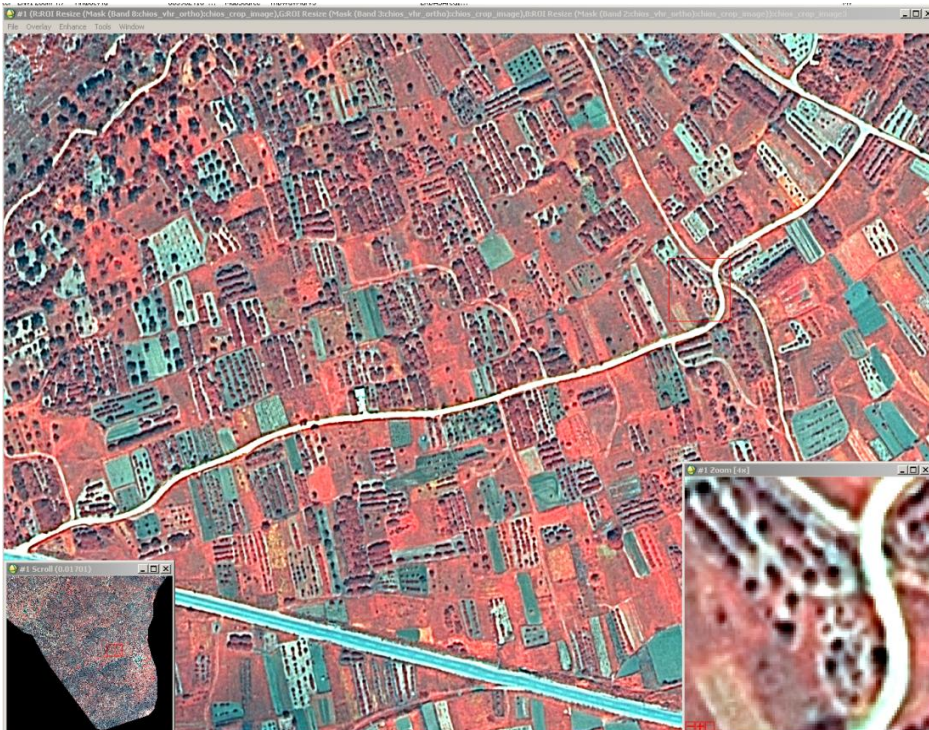
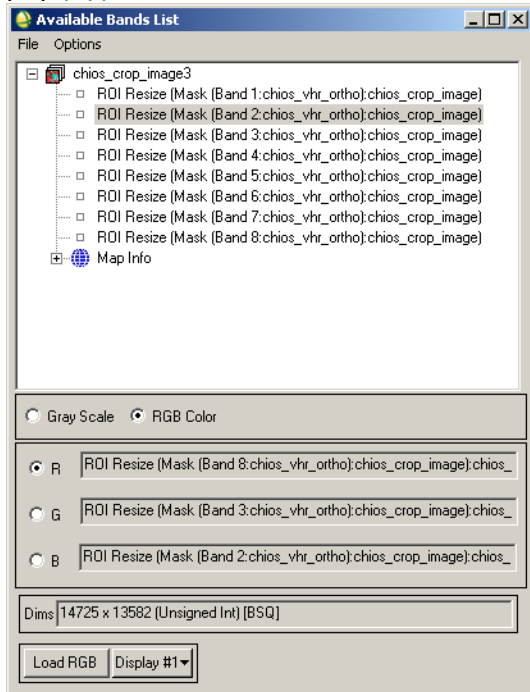
Για την συγκεκριμένη μελέτη και για τις ανάγκες επεξεργασίας της δορυφορικής εικόνας με στόχο την εξαγωγή αποτελεσμάτων ταξινομημένων εικόνων χρήσης κάλυψης γης, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής κανάλια:

Band 8 → Red Gun (*Near Infrared 2*)

Band 3 → Green Gun

Band 2 → Blue Gun

Ο συγκεκριμένος συνδυασμός RGB καναλιών αποτελεί έναν χάρτη ψευδέχρωμης μορφής



Χάρτης 10: Φόρτωση εικόνας Worldview2 στο λογισμικό επεξεργασίας ENVI 4.7 στην ψευδέχρωμη μορφή 8-3-2

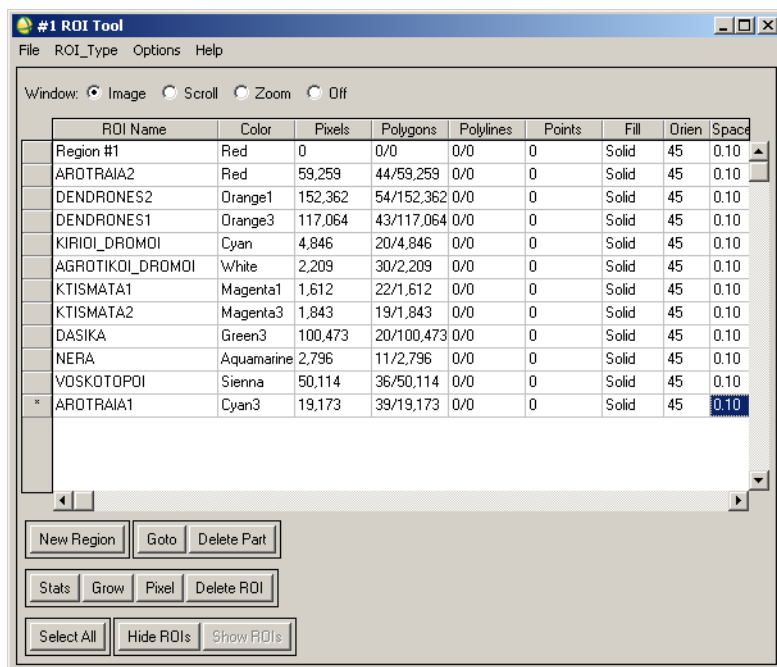
3.3 Βασικές Αποφάσεις για την Εφαρμογή των Αλγορίθμων Ταξινόμησης.

Πριν ξεκινήσει η εφαρμογή των μεθόδων ταξινόμησης και η μετέπειτα σύγκριση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων προαπαιτείται να παρθούν κάποιες βασικές αποφάσεις. Όταν το ζητούμενο είναι να συγκριθούν αποτελέσματα μεθόδων για την διεξαγωγή συμπερασμάτων πρέπει να υπάρχει μια κοινή βάση και κοινές προϋποθέσεις ως τα υπό μελέτη αντικείμενα. Αρχικά ορίζομαι κοινή περιοχή μελέτης για την εφαρμογή όλων των μεθόδων ταξινόμησης το ΝΑ τμήμα της νήσος Χίος, οι κλάσεις που θα ταξινομηθούν τα δεδομένα να είναι όμοιες σε χαρακτηριστικά αλλά και πλήθος, καθώς και οι φασματικών υπογραφών ή αλλιώς περιοχές εκπαίδευσης να θα έχουν κοινή δειγματοληψία κα μέγεθος.

Έχοντας για βοήθεια το πολυγωνικό αρχείο του ΟΠΕΚΕΠΕ με τις δηλώσεις των αγροτών για τις καλλιέργειες που αιτούνται επιδότηση Ενιαίας Ενίσχυσης του 2011, και τα σημεία των επιτόπιων ελέγχων του ΟΠΕΚΕΠΕ όπου πραγματοποιούνται για την επικύρωση της εγκυρότητας των δηλώσεων καλλιεργειών, προβήκαμε σε διάφορα σενάρια επιλογής αριθμού κλάσεων κάλυψης/χρήσης γης.

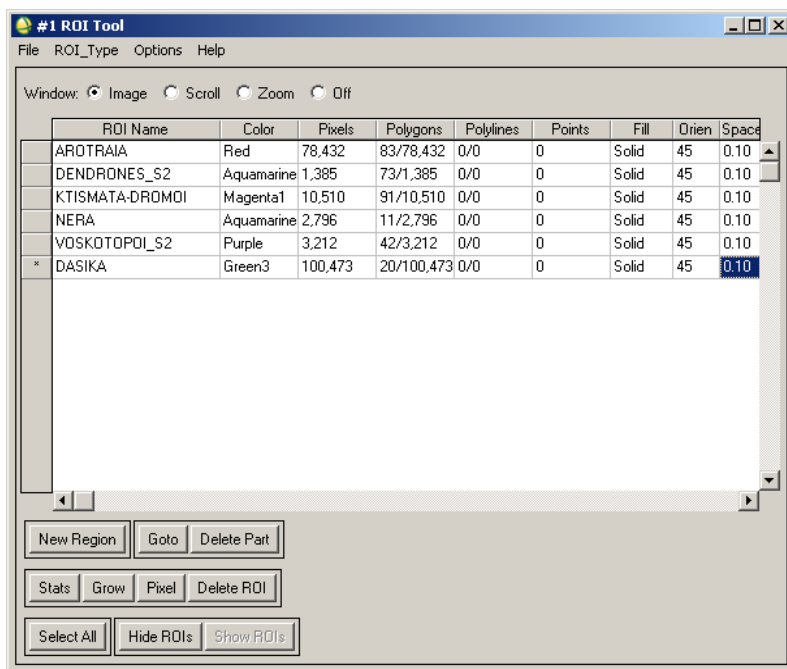
Το αρχικό σενάριο ήταν να γίνει ταξινόμηση της εικόνας με 11 κλάσεις:

1. Αροτραίες εκτάσεις με υψηλή βλάστηση
2. Αροτραίες εκτάσεις σε καλή γεωργική κατάσταση χωρίς βλάστηση
3. Δενδρώνες με καθαρό υπέδαφος
4. Δενδρώνες με αυτοφυή βλάστηση
5. Δασικές εκτάσεις
6. Βοσκότοποι
7. Κτίσματα με μεγάλη αντανάκλαση (τσιμέντο)
8. Κτίσματα με κεραμίδι
9. Αγροτικοί δρόμοι
10. Κύριοι δρόμοι
11. Νερά



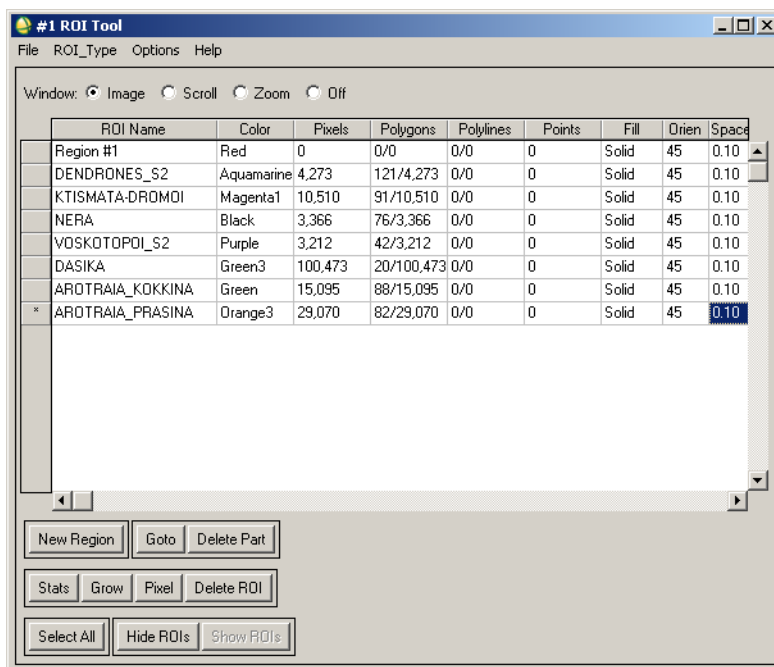
Το δεύτερο σενάριο ήταν να ομαδοποιήσουμε κάποιες κλάσεις και να προκύψουν 6 κλάσεις σε αυτή τη μορφή:

1. Αροτραίες εκτάσεις
2. Δενδρώνες
3. Δασικές εκτάσεις
4. Βοσκότοποι
5. Κτίσματα και Δρόμους
6. Νερά-Ποτάμια



Το τρίτο σενάριο, ήταν να παραμείνουν οι κλάσεις από το σενάριο 2 και να χωρίσουμε τα αροτραία σε δύο κατηγορίες όπως στο σενάριο 1:

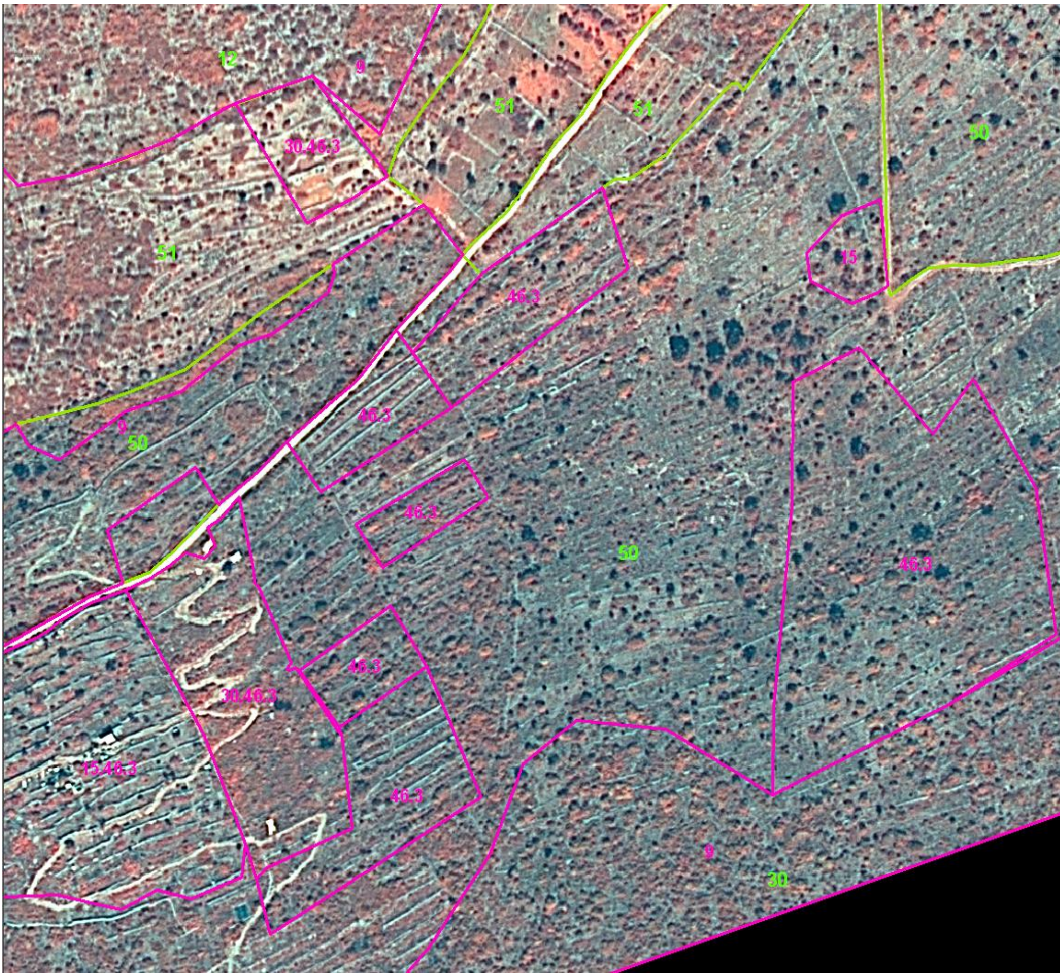
1. Αροτραίες εκτάσεις με υψηλή βλάστηση
2. Αροτραίες εκτάσεις σε καλή γεωργική κατάσταση χωρίς βλάστηση
3. Δενδρώνες
4. Δασικές εκτάσεις
5. Βοσκότοποι
6. Κτίσματα και Δρόμους
7. Νερά-Ποτάμια



Για την επιλογή του αριθμού των κλάσεων κάλυψης/χρήσης γης δοκιμάστηκε ο αλγόριθμος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας που θεωρείται και ο πιο διαδεδομένος στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των πινάκων εκτίμησης της ακρίβειας (Confusion Matrices) τα καλύτερα αποτελέσματα αξιοπιστίας και ακρίβειας των αποτελεσμάτων πρόεκυψαν από το σενάριο 2 για 6 κλάσεις κάλυψης/χρήσης γης.

Algorithm	1 ^ο σενάριο 11 Κλάσεις	2 ^ο σενάριο 6 Κλάσεις	3 ^ο σενάριο 7 Κλάσεις
Overall Accuracy	65,6965	93,3666	86,4803
Kappa Coefficient	0,5843	0,8888	0,8092

Όσων αφορά ποιες περιοχές θα είναι εκείνες που θα εκπαιδεύσουν τους αλγόριθμους για κάθε φασματική κλάση δόθηκε πολύ προσοχή αφού με βάση τις περιοχές που θα επιλεχθούν εδώ θα γίνει καλή ή όχι ταξινόμηση. Εδώ για βοήθεια στο διαχωρισμό των καλλιεργήσιμων δενδρώνων όπως οι ελαιώνες και τα μαστιχόδενδρα από τις δασικές περιοχές και τους βοσκοτόπους, χρησιμοποιήθηκε το αρχείο των δηλώσεων του ΟΠΕΚΕΠΕ. Η νήσος Χίος χαρακτηρίζεται ως μια από τις δυσκολότερες περιοχές στην Ελλάδα από πλευράς φωτοερμηνείας λόγω του έντονου ανάγλυφου και του τρόπου καλλιέργειας των ελαιώνων και των μαστιχόδενδρων. Η μορφή των ελαιόδεντρων και των μαστιχόδενδρων μπορεί εύκολα να μπερδευτεί κατά εκτίμηση του φωτοερμηνευτή με εκείνη των δένδρων που δεν βρίσκονται υπό κάποια καλλιεργητική πρακτική.



Χάρτης 11: Παράδειγμα φωτοερμηνευτικής αντιπαραβολής μαστιχόδενδρων (46.3) με θαμνώνες φρύγανα (9) βοσκοτόπου από το σύστημα αναγνώρισης αγροτεμαχίων του ΟΠΕΚΕΠΕ.

Το μέγεθος των περιοχών εκπαίδευσης (ROIS) αρχικό σενάριο ήταν πολυγωνικές περιοχές σε μέγεθος αγροτεμαχίου (Εικόνα 300), όπως πραγματοποιούνται από το Τμήμα Τηλεπισκόπησης του ΟΠΕΚΕΠΕ για την ταξινόμηση συγκεκριμένων καλλιεργειών όπως το βαμβάκι, το σιτάρι, το καλαμπόκι κ.α. Ως δεύτερο σενάριο επιλέχθηκε επίσης η πολυγωνική ψηφιοποίηση των περιοχών εκπαίδευσης, με την διαφορά η ψηφιοποίηση να γίνει σε όσο το δυνατόν μικρότερες ομοιογενείς περιοχές για κάθε κλάση. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ μεγαλύτερης ακρίβειας (Εικόνα 31, Εικόνα 32), γι' αυτό και προτιμήθηκε το δεύτερο σε σχέση με το πρώτο.



Εικόνα 30: Αρχικό σενάριο δειγματοληψίας μεγέθους αγροτεμαχίων ως περιοχές εκπαίδευσης του αλγορίθμου ταξινόμησης, τα πολύγωνα με μαύρο χρώμα υποδεικνύουν τις περιοχές εκπαίδευσης

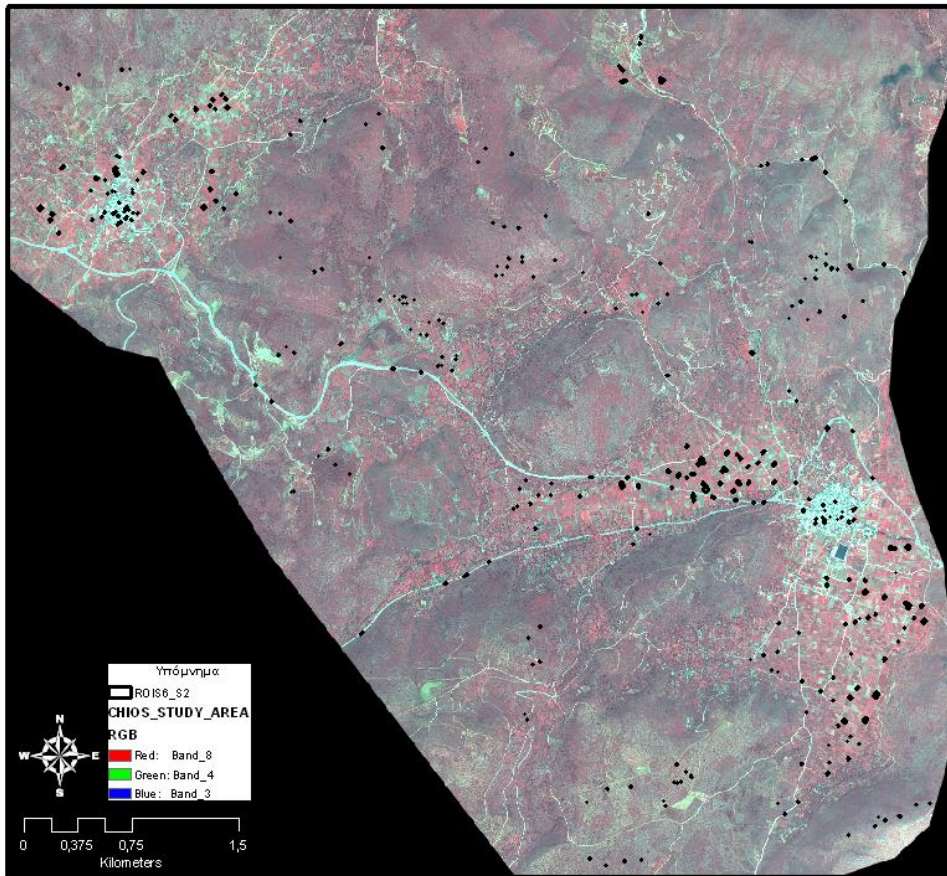


Εικόνα 31: Παράδειγμα σεναρίου 2, ψηφιοποίησης πολυγώνου για την κλάση χρήσης γης βοσκοτόπου

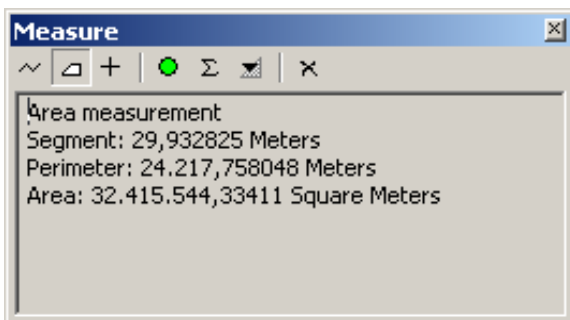


Εικόνα 32: Παράδειγμα σεναρίου 2, ψηφιοποίησης πολυγώνων ελιάς και μαστίχας για την κλάση χρήσης γης Δενδρώνες

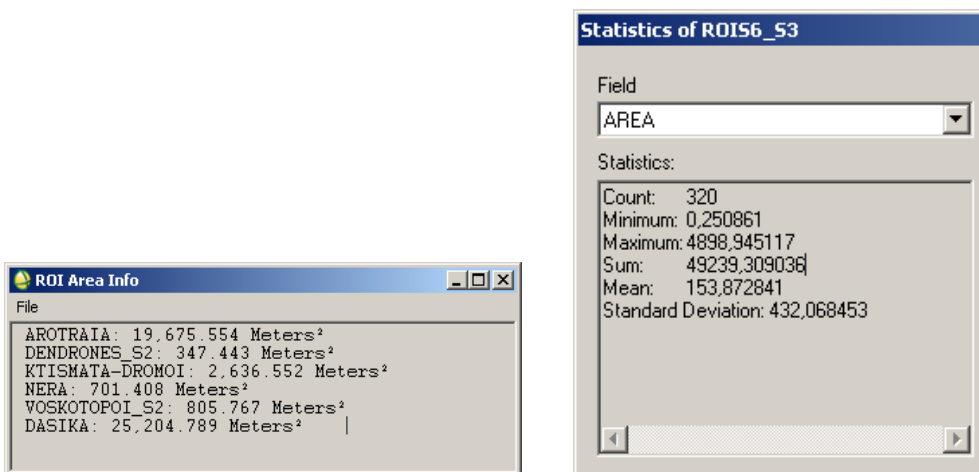
Όπως προείπαμε, για να προσδοκούμε ένα καλό αποτέλεσμα ακριβείας στην ταξινομημένη εικόνα μας, θα πρέπει το πλήθος των περιοχών εκπαίδευσης για τις κατηγοριοποιήσεις των κλάσεων χρήσεων γης, να καλύπτει το 1-3% της εικόνας και να επιτευχθεί όσο πιο ακριβής αναφορά της φασματικής τους υπογραφής. Στον παρακάτω χάρτη φαίνεται η χωρική διασπορά της δειγματοληψίας των περιοχών εκπαίδευσης (Χάρτης 12). Οι περιοχές εκπαίδευσης στην παρούσα μελέτη υλοποιήθηκαν με ψηφιοποίηση πολυγώνων πάνω στη δορυφορική εικόνα και καλύπτουν το 1,5% του συνολικού μεγέθους της (Εικόνα 33, Εικόνα 34).



Χάρτης 12: Χάρτης περιοχής μελέτης όπου παρουσιάζονται οι ψηφιοποιημένες περιοχές εκπαίδευσης που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση των αλγορίθμων ταξινόμησης.



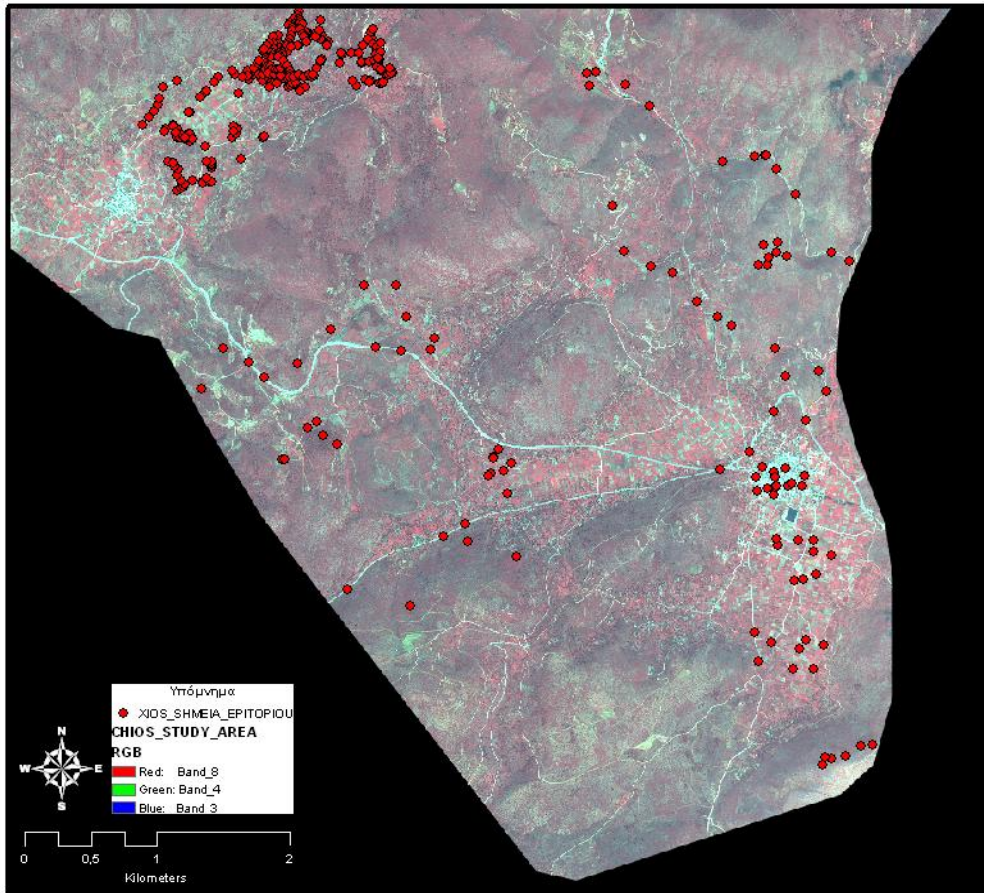
Εικόνα 33: Υπολογίστηκε το μέγεθος της περιοχής μελέτης 32.415.544,33411 m²



Εικόνα 34: Στην ROI Area Info φαίνεται αναλυτικά το εμβαδόν που καταλαμβάνει η δειγματοληψία για κάθε κλάση και στην Statistics of ROIS6_S3 το συνολικό εμβαδόν για όλες τις κλάσεις.

Για την αξιολόγηση (validation) των ταξινομημένων εικόνων (classification images) πάρθηκε υπόψη το ψηφιακό αρχείο του ΟΠΕΚΕΠΕ με τα σημεία των επιτόπιων ελέγχων (Χάρτης 13), το ψηφιακό αυτό αρχείο μας παρέχει σίγουρα και αξιόπιστα σημεία αναγνώρισης κάλυψης/ χρήσης γης ώστε να αξιολογηθεί η εγκυρότητα και η ορθότητα των ταξινομημένων εικόνων. Όπως προβλέπεται, έγινε νέα δειγματοληψία (ROIS) πολυγώνων ανά κλάση μικρότερης σε πλήθος όμοιας όμως μορφής σε σχέση με τις φασματικές υπογραφές για την εκπαίδευση των αλγορίθμων.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κάθε ενέργειας στις εικόνες που είναι διαθέσιμες για μελέτη. Ο τρόπος που προτιμήθηκε είναι για κάθε αλγόριθμο ταξινόμησης τα βήματα να παρουσιαστούν ξεχωριστά, με τα τελικά αποτελέσματα τους και τέλος, να ακολουθήσουν τα συγκριτικά αποτελέσματα.



Χάρτης 13: Χάρτης περιοχής μελέτης με παρουσίαση των σημείων επιτόπιων ελέγχων αναγνώρισης

#1 ROI Tool

File ROI_Type Options Help

Window: Image Scroll Zoom Off

ROI Name	Color	Pixels	Polygons	Polyline
* Region #1	Red	0	0/0	0/0
ΑΡΟΤΡΑΙΑ	Red	78,432	83/78,432	0/0
DENDRONES_S2	Aquamarine	1,385	73/1,385	0/0
KTISMATA-DROMOI	Magenta1	10,510	91/10,510	0/0
NERA	Aquamarine	2,796	11/2,796	0/0
VOSKOTOPOI_S2	Purple	3,212	42/3,212	0/0
DASIKA	Green3	100,473	20/100,473	0/0

New Region Goto Delete Part

Stats Grow Pixel Delete ROI

Select All Hide ROIs Show ROIs

Εικόνα 35: Δειγματοληψία φασματικών υπογραφών (Rois) σύμφωνα με τα σημεία των επιτόπιων ελέγχων αναγνώρισης του ΟΠΕΚΕΠΕ για τον διασταυρωτικό έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων ταξινόμησης χρήσης κάλυψης γης.

3.4 Εφαρμογή του Αλγορίθμου Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)

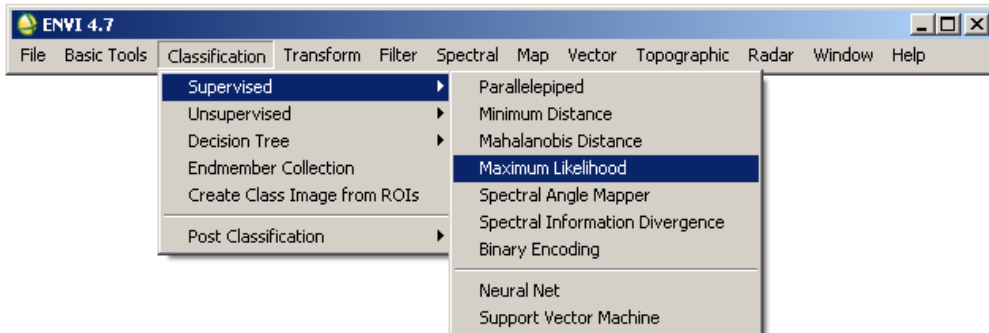
Στο 1.5.1 Αλγόριθμος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood) υποκεφάλαιο έγινε η ανάλυση του θεωρητικού υποβάθρου του αλγορίθμου που ανήκει στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση και αποβλέπει στην εξαγωγή των κυρίων φασματικών τάξεων οι οποίες εμφανίζονται σε μια δορυφορική τηλεπισκοπική εικόνα και την αναγνώριση και αναφορά τους σε πραγματικές τάξεις αντικειμένων της γήινης επιφάνειας με τη χρήση των φασματικών υπογραφών τους.

Η Μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας είναι από τις πιο δημοφιλής μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης που εφαρμόζεται στην τηλεπισκόπηση για την εξαγωγή χρήσεων κάλυψης γης. Είναι βασισμένη στην αρχή της πιθανότητας ένα εικονοστοιχείο να ανήκει σε μια συγκεκριμένη κλάση και η πιθανότητα αυτή να είναι η ίδια για όλες τις κλάσεις. Ωστόσο η μέθοδος αυτή χρειάζεται μεγάλο διάστημα υπολογισμού μικρότερο όμως λιγότερο υπολογιστικό χρόνο σε σχέση με τις υπόλοιπες εποπτευόμενες μεθόδους.

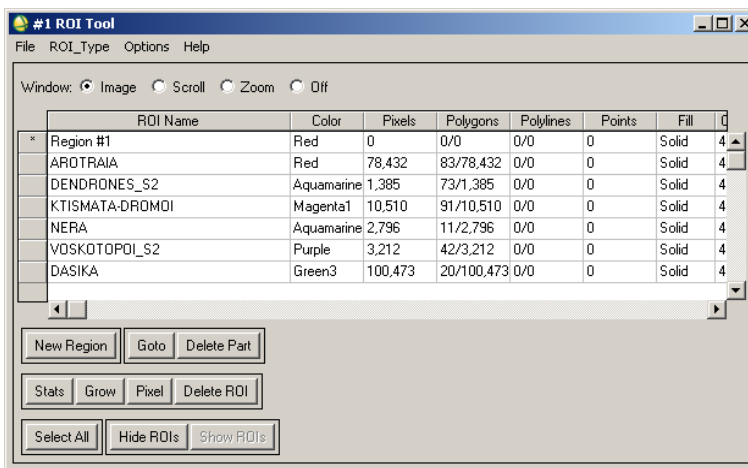
Στην παρούσα μελέτη για την εξαγωγή της ταξινομημένης εικόνας κάλυψης/ χρήσης γης στην ΝΑ περιοχή της Χίου από τον αλγόριθμο Μέγιστης Πιθανοφάνειας ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

Εισαγωγή στο λογισμικό επεξεργασίας ENVI 4.7 της προεπεξεργασμένης δορυφορικής εικόνας Worldview2 που αποτελεί την περιοχή μελέτης καθώς και η βάση των δεδομένων με τα σημεία ενδιαφέροντος (ROIS) για την εκπαίδευση του αλγορίθμου. Ακολούθησε η κωδικοποίηση των χρωμάτων για τις κλάσεις και έπειτα, σαρώθηκε η δορυφορική εικόνα για την εφαρμογή της μεθόδου της Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Εντοπίστηκαν και επισημάνθηκαν τα σημεία με παρόμοια RGB απόχρωση και θεωρήθηκαν όμοιας κλάσης, για κάθε μια από τις 6 αρχικά ορισμένες κλάσεις. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω Χάρτη 14 κατηγοριοποίησης χρήσεων γης (classification map).

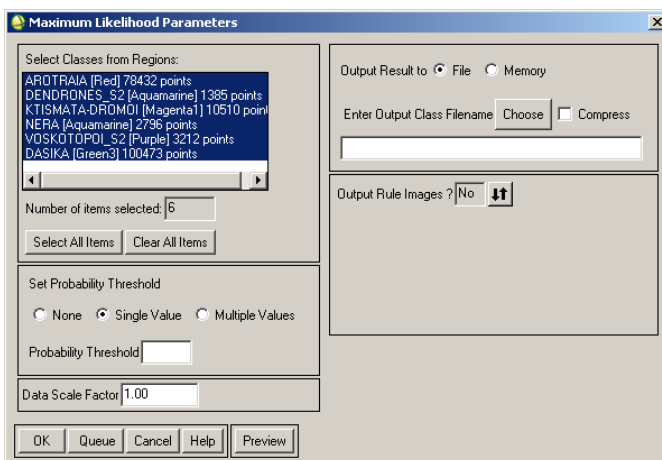
Για την αξιολόγηση του αποτελέσματος και της εκτίμησης της ακρίβειας του χάρτη ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε ξεχωριστό σετ σημείων ενδιαφέροντος, μεγάλης αξιοπιστίας μιας και εξάχθηκε σύμφωνα με τα σημεία των επιτόπιων ελέγχων αναγνώρισης συνεργείων του ΟΠΕΚΕΠΕ. Τα τελικά στατιστικά αποτελέσματα αξιολόγησης της μεθόδου συνοψίζονται στο παρακάτω αρχείο του Confusion Matrix. Χάρτης 14



Εικόνα 36: Επιλογή από τη βασική μπάρα εργαλείων του λογισμικού επεξεργασίας ENVI 4.7 της επιβλεπόμενης μεθόδου Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)

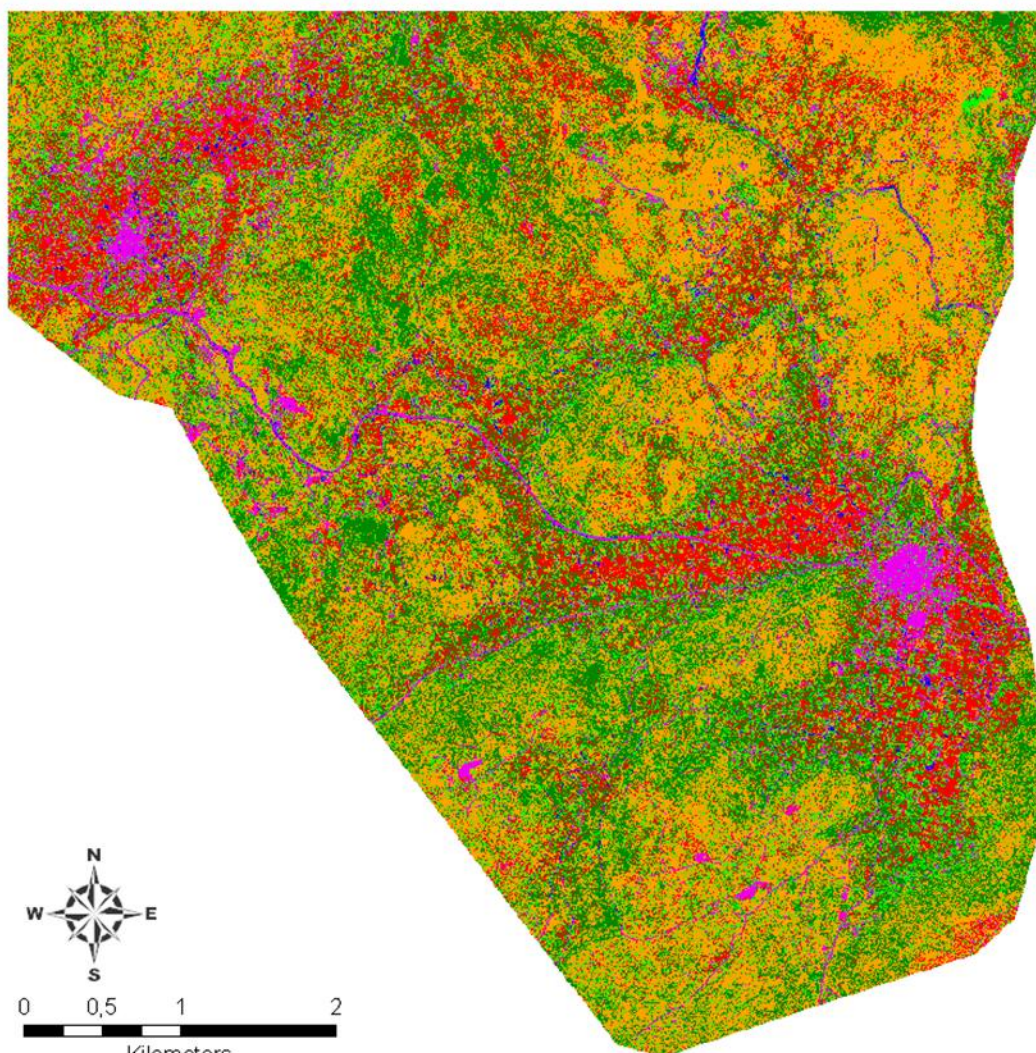


Εικόνα 37: Ανέβασμα των σημείων ψηφιοποιημένων πολυγωνικών αρχείων ενδιαφέροντος για την εκπαίδευση του αλγορίθμου της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)



Εικόνα 38: Πλατφόρμα εφαρμογής Supervised Classification, Maximum Likelihood, εισάγονται τα σημεία ενδιαφέροντος που έχουν κατηγοριοποιηθεί αν κλάση ώστε να γίνει η εκπαίδευση του αλγορίθμου και η εξαγωγή του ταξινομημένου χάρτη χρήσης κάλυψης γης.

*Εξαγωγή χρήσεων κάλυψης γης με τη μέθοδο
Μέγιστης Πιθανοθάνειας (Maximum Likelihood)*



Υπόμνημα	
	Αροτραίες καλλιέργειες (Crops)
	Δασικές περιοχές (Forest)
	Τεχνητές επιφάνειες (Artificial Surfaces)
	Νερά (Water)
	Βοσκότοποι (Pastures)
	Δενδρώνες (Crop trees)

Χάρτης 14: Χάρτης κατηγοριοποίησης χρήσης κάλυψης γης με την εφαρμογή του αλγορίθμου Μέγιστης Πιθανοφάνειας

Overall Accuracy = (183753/196808) 93.3666%
Kappa Coefficient = 0.8888

Class	Ground Truth (Pixels)				
	AROTRAIA	DENDRONES_S2	KTISMATA-DROM	NERAVOSKOTOPOI_S2	
Unclassified	0	0	0	0	0
AROTRAIA [Red	74599	20	20	4	10
DENDRONES_S2	121	972	120	12	27
KTISMATA-DROM	1146	21	9648	184	13
NERA [Aquamar	831	6	691	2594	2
VOSKOTOPOI_S2	268	10	30	2	3102
DASIKA [Green	1467	356	1	0	58
Total	78432	1385	10510	2796	3212

Class	Ground Truth (Pixels)	
	DASIKA	Total
Unclassified	0	0
AROTRAIA [Red	1396	76049
DENDRONES_S2	4318	5570
KTISMATA-DROM	5	11017
NERA [Aquamar	0	4124
VOSKOTOPOI_S2	1916	5328
DASIKA [Green	92838	94720
Total	100473	196808

Class	Ground Truth (Percent)				
	AROTRAIA	DENDRONES_S2	KTISMATA-DROM	NERAVOSKOTOPOI_S2	
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AROTRAIA [Red	95.11	1.44	0.19	0.14	0.31
DENDRONES_S2	0.15	70.18	1.14	0.43	0.84
KTISMATA-DROM	1.46	1.52	91.80	6.58	0.40
NERA [Aquamar	1.06	0.43	6.57	92.78	0.06
VOSKOTOPOI_S2	0.34	0.72	0.29	0.07	96.58
DASIKA [Green	1.87	25.70	0.01	0.00	1.81
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

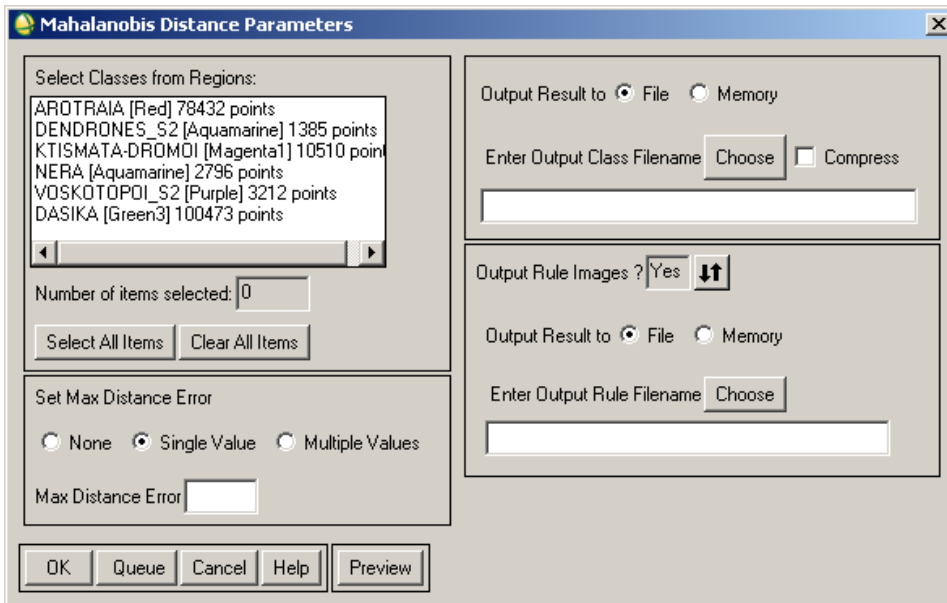
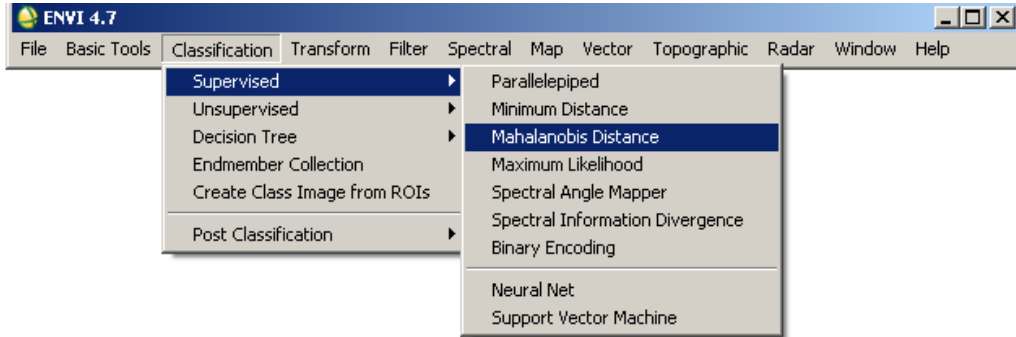
Class	Ground Truth (Percent)	
	DASIKA	Total
Unclassified	0.00	0.00
AROTRAIA [Red	1.39	38.64
DENDRONES_S2	4.30	2.83
KTISMATA-DROM	0.00	5.60
NERA [Aquamar	0.00	2.10
VOSKOTOPOI_S2	1.91	2.71
DASIKA [Green	92.40	48.13
Total	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Pixels)	
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
AROTRAIA [Red	1.91	4.89	1450/76049	3833/78432
DENDRONES_S2	82.55	29.82	4598/5570	413/1385
KTISMATA-DROM	12.43	8.20	1369/11017	862/10510
NERA [Aquamar	37.10	7.22	1530/4124	202/2796
VOSKOTOPOI_S2	41.78	3.42	2226/5328	110/3212
DASIKA [Green	1.99	7.60	1882/94720	7635/100473

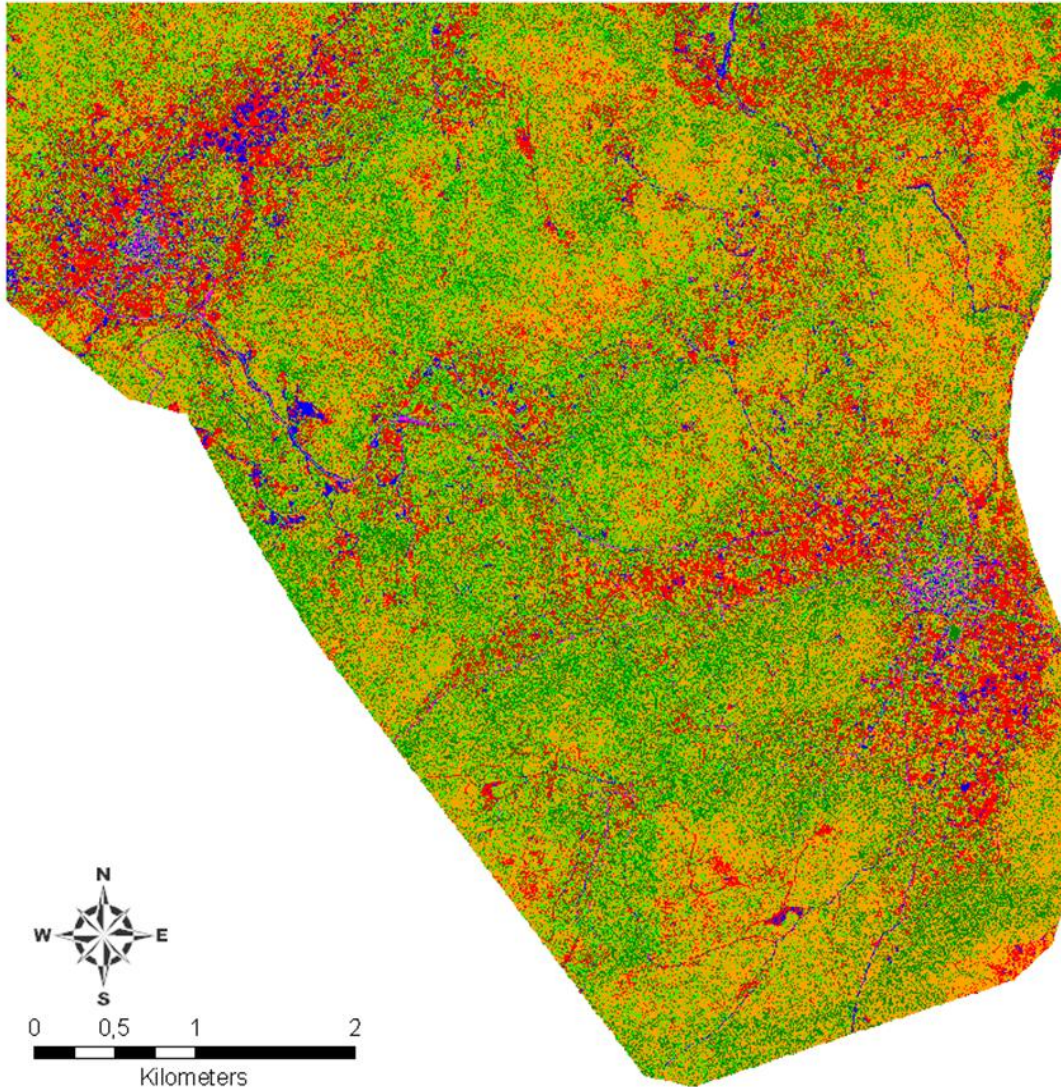
Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Pixels)	
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
AROTRAIA [Red	95.11	98.09	74599/78432	74599/76049
DENDRONES_S2	70.18	17.45	972/1385	972/5570
KTISMATA-DROM	91.80	87.57	9648/10510	9648/11017
NERA [Aquamar	92.78	62.90	2594/2796	2594/4124
VOSKOTOPOI_S2	96.58	58.22	3102/3212	3102/5328
DASIKA [Green	92.40	98.01	92838/100473	92838/94720

Εικόνα 39: Στατιστικά αποτελέσματα Confusion Matrix για τον χάρτη κατηγοριοποίησης χρήσεων γης με τη μέθοδο Μέγιστης Πιθανοφάνειας.

3.5 Εφαρμογή του Αλγορίθμου της απόστασης Mahalanobis

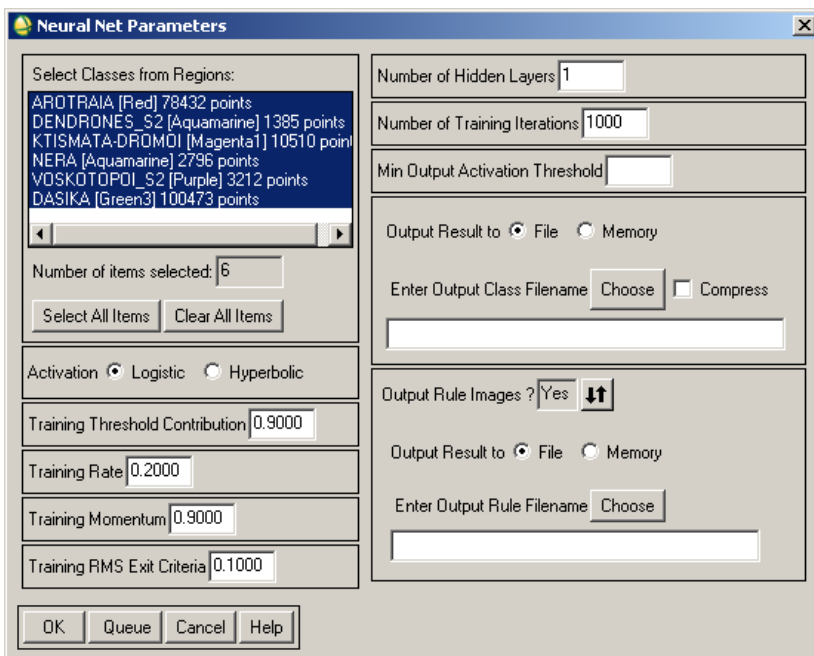
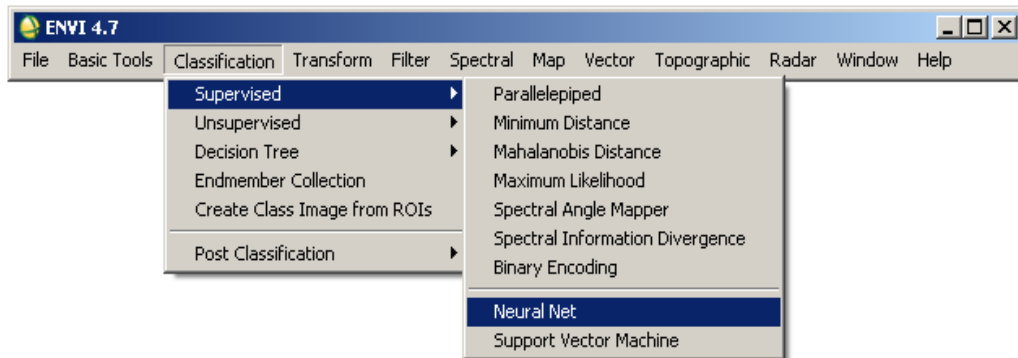


*Εξαγωγή χρήσεων κάλυψης γης με τη μέθοδο
της απόστασης Mahalanobis*

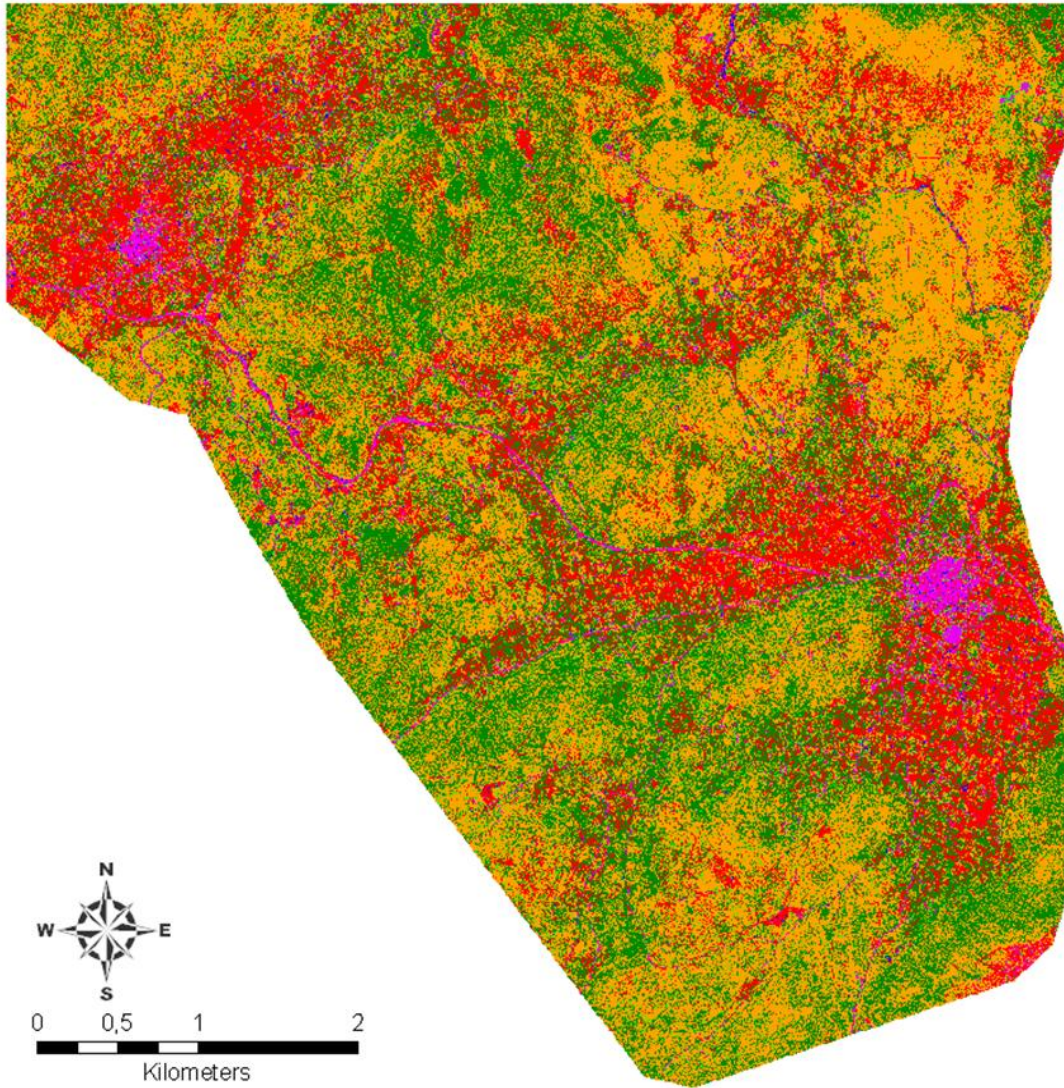


Υπόμνημα	
	Αροτραίες καλλιέργειες (Crops)
	Δασικές περιοχές (Forest)
	Τεχνητές επιφάνειες (Artificial Surfaces)
	Νερά (Water)
	Βοσκότοποι (Pastures)
	Δενδρώνες (Crop trees)

3.6 Ανάπτυξη της εφαρμογής των Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων (NNT)



*Εξαγωγή χρήσεων κάλυψης γης με τη μέθοδο
των Τεχνητών Νευρωνικών Δοτύων (TNN logistic)*



Υπόμνημα	
	Αροτραίες καλλιέργειες (Crops)
	Δασικές περιοχές (Forest)
	Τεχνητές επιφάνειες (Artificial Surfaces)
	Νερά (Water)
	Βοσκότοποι (Pastures)
	Δενδρώνες (Crop trees)

Overall Accuracy = (185753/196808) 94.3829%
 Kappa Coefficient = 0.9041

Class	Ground Truth (Pixels)				
	AROTRAIA	DENDRONES_S2	KTISMATA-DROM	NERAVOSKOTOPOI_S2	
Unclassified	0	0	0	0	0
AROTRAIA [Red]	77936	43	1137	517	116
DENDRONES_S2	0	474	16	44	14
KTISMATA-DROM	2	17	9301	344	2
NERA [Aquamar]	16	0	56	1873	0
VOSKOTOPOI_S2	430	74	0	18	3026
DASIKA_S3 [Gr]	48	777	0	0	54
Total	78432	1385	10510	2796	3212

Class	Ground Truth (Pixels)	
	DASIKA	Total
Unclassified	0	0
AROTRAIA [Red]	2759	82508
DENDRONES_S2	712	1260
KTISMATA-DROM	0	9666
NERA [Aquamar]	0	1945
VOSKOTOPOI_S2	3859	7407
DASIKA_S3 [Gr]	93143	94022
Total	100473	196808

Class	Ground Truth (Percent)				
	AROTRAIA	DENDRONES_S2	KTISMATA-DROM	NERAVOSKOTOPOI_S2	
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AROTRAIA [Red]	99.37	3.10	10.82	18.49	3.61
DENDRONES_S2	0.00	34.22	0.15	1.57	0.44
KTISMATA-DROM	0.00	1.23	88.50	12.30	0.06
NERA [Aquamar]	0.02	0.00	0.53	66.99	0.00
VOSKOTOPOI_S2	0.55	5.34	0.00	0.64	94.21
DASIKA_S3 [Gr]	0.06	56.10	0.00	0.00	1.68
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)	
	DASIKA	Total
Unclassified	0.00	0.00
AROTRAIA [Red]	2.75	41.92
DENDRONES_S2	0.71	0.64
KTISMATA-DROM	0.00	4.91
NERA [Aquamar]	0.00	0.99
VOSKOTOPOI_S2	3.84	3.76
DASIKA_S3 [Gr]	92.70	47.77
Total	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Pixels)	
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
AROTRAIA [Red]	5.54	0.63	4572/82508	496/78432
DENDRONES_S2	62.38	65.78	786/1260	911/1385
KTISMATA-DROM	3.78	11.50	365/9666	1209/10510
NERA [Aquamar]	3.70	33.01	72/1945	923/2796
VOSKOTOPOI_S2	59.15	5.79	4381/7407	186/3212
DASIKA_S3 [Gr]	0.93	7.30	879/94022	7330/100473

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Pixels)	
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
AROTRAIA [Red]	99.37	94.46	77936/78432	77936/82508
DENDRONES_S2	34.22	37.62	474/1385	474/1260
KTISMATA-DROM	88.50	96.22	9301/10510	9301/9666
NERA [Aquamar]	66.99	96.30	1873/2796	1873/1945
VOSKOTOPOI_S2	94.21	40.85	3026/3212	3026/7407
DASIKA_S3 [Gr]	92.70	99.07	93143/100473	93143/94022

4 Συμπεράσματα

4.1 Έλεγχος Μεθόδων

Μετά το πέρας της εξαγωγής χαρτών χρήσης κάλυψης γης για την υπό μελέτη περιοχή της Χίου με τη χρήση των αλγόριθμων της Μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood), Απόστασης Mahalanobis, και Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων (NN) με παρουσίαση των βημάτων που έγιναν, ακολουθεί το στάδιο της σύγκρισης των αποτελεσμάτων. Το στάδιο της σύγκρισης και παρουσίασης των αποτελεσμάτων είναι καθοριστικό για να μεταφερθεί σωστά το αποτέλεσμα ή ακόμη για να μην παρουσιαστεί κάτι που προέκυψε και δεν συμφωνεί με όλη τη θεωρία που αναπτύχθηκε.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται όπως προέκυψαν μέσα από τις ταξινομήσεις, με τις αδυναμίες και τα λάθη τους, γιατί σε μια μελέτη δεν γίνεται όλα να κυλούν ομαλά, αλλά εντοπίζονται τα λάθη που μπορούν να αποφευχθούν σε μελλοντικό στάδιο.

4.1.1 Ποιοτική Σύγκριση Αποτελεσμάτων Μεθόδων Εξαγωγής χρήσης κάλυψης γης

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι παρουσίασης, επιλέχθηκε η ταυτόχρονη παρουσίαση των ταξινομήσεων που προέκυψαν για τη δορυφορική εικόνα Worldview2 της Χίου για να υπάρχει μια οπτική σύγκριση και ακολούθως οι πίνακες ακρίβειας για κάθε θεματική εικόνα των αλγορίθμων.

Απόλυτες συγκρίσεις δεν είναι εφικτό να γίνουν λόγω της διαφορετικής προσέγγισης της κάθε μεθόδου ταξινόμησης, χωρίς να σημαίνει ότι δεν μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα. Έγινε προσπάθεια να υπάρχουν κοινές κατηγορίες και χρωματισμοί αυτών για την γρηγορότερη και εύκολη οπτική παρατήρηση.

Η οπτική παρουσίαση των ταξινομήσεων αποσκοπεί στην ποιοτική και όχι στην ποσοτική καταγραφή των διαφορών ή ομοιοτήτων μεταξύ του διαφορετικού τύπου ταξινομήσεων που χρησιμοποιήθηκαν.



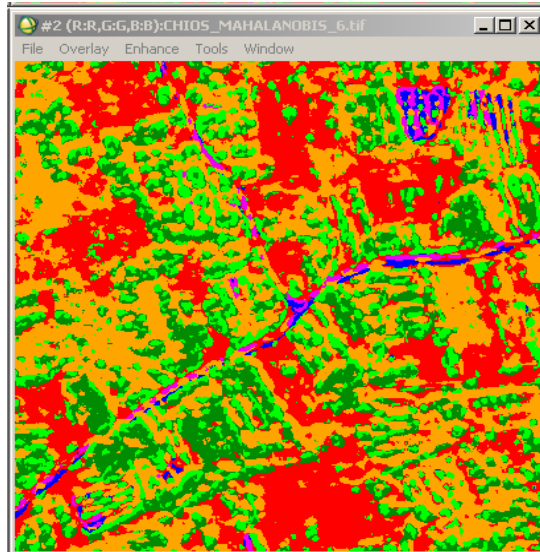
Εικόνα 40: Δορυφορική εικόνα Worldview2



Εικόνα 41: Ταξινόμηση Μέγιστης Πιθανοφάνειας



Εικόνα 42: Ταξινόμηση Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων

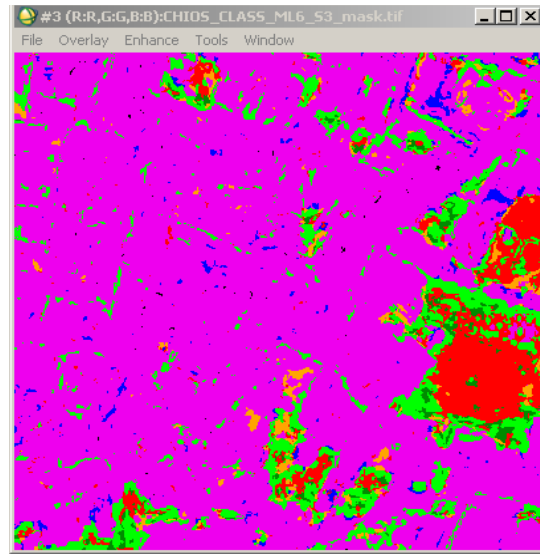


Εικόνα 43: Ταξινόμηση Απόστασης Mahalanobis

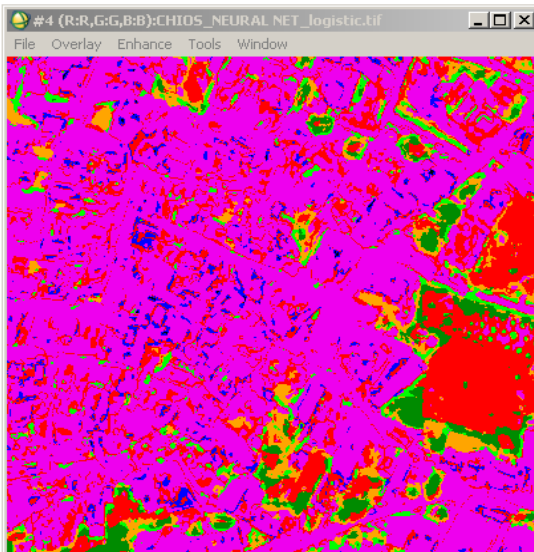
Στην Εικόνα 40 παρουσιάζεται μια υπό σύγκριση περιοχή πως ταξινομήθηκε με τους τρεις αλγόριθμους Εικόνα 41, Εικόνα 42 και Εικόνα 43. Παρατηρώντας διακρίνουμε καλύτερη ταξινόμηση του δρόμου από τα Τεχνικά Νευρωνικά Δίκτυα αλλά καλύτερη διαχωριστικότητα στις κλάσεις των καλλιεργούμενων περιοχών, αρόσιμα και δένδρα από τη μέθοδο της Μέγιστης πιθανοφάνειας. Οι ταξινομήσεις των αλγόριθμων Μέγιστης πιθανοφάνειας και Απόστασης Mahalanobis έχουν αρκετά κοινά σημεία με μια υπερβολή όσον αφορά στο γυμνό έδαφος (κλάση βοσκότοποι) της Απόστασης Mahalanobis.



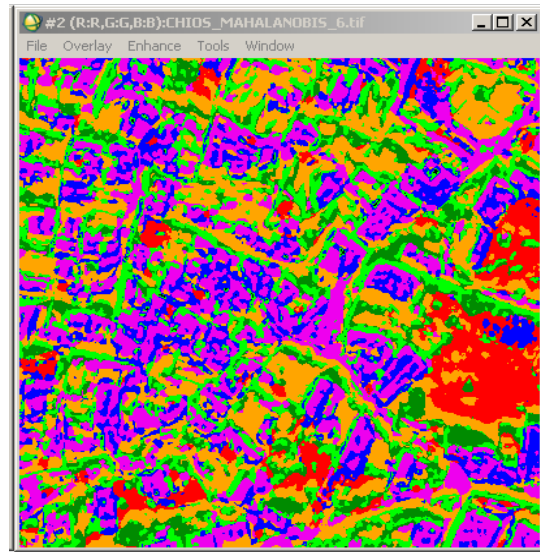
Εικόνα 44: Δορυφορική εικόνα Worldview2



Εικόνα 45: Ταξινόμηση Μέγιστης Πιθανοφάνειας



Εικόνα 46: Ταξινόμηση Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων

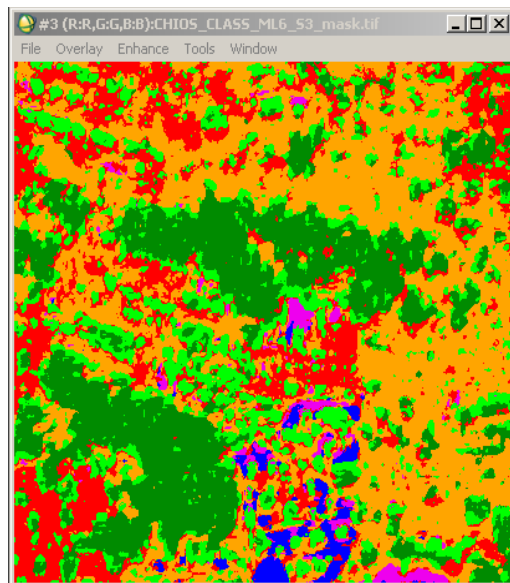


Εικόνα 47: Ταξινόμηση Απόστασης Mahalanobis

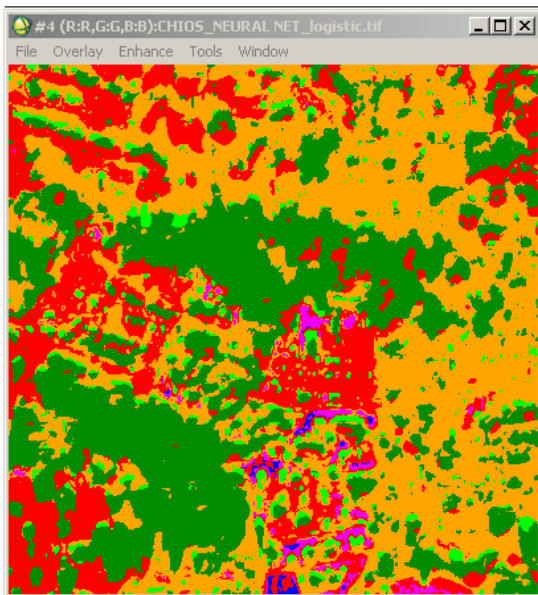
Σε αυτήν την υπό σύγκριση περιοχή σκοπό είναι να παρατηρηθεί η ταξινόμηση των αστικών τμημάτων της εικόνας, που προέκυψαν διαμέσου των διαφορετικών αλγορίθμων. Η ταξινόμηση της Μέγιστης πιθανοφάνειας φαίνεται να έχει καλύτερο αποτέλεσμα από τις άλλες δύο. Η αστική περιοχή με ροζ χρώμα αποτελεί και τη μεγαλύτερη σε εμβαδόν κλάση όπως ισχύει και στην πραγματικότητα, η καλλιεργήσιμη περιοχή έχει ταξινομηθεί καλύτερα όμως με τη μέθοδο των Τεχνικών Νευρωνικών δικτύων. Στην ταξινόμηση της Απόστασης Mahalanobis (Εικόνα 47) παρατηρείται έντονα η κλάση των νερών (μπλε χρώμα) και η κλάση του γυμνού εδάφους (βοσκότοποι, πορτοκαλί χρώμα) που στις δεν διακρίνεται στην δορυφορική εικόνα (Εικόνα 44).



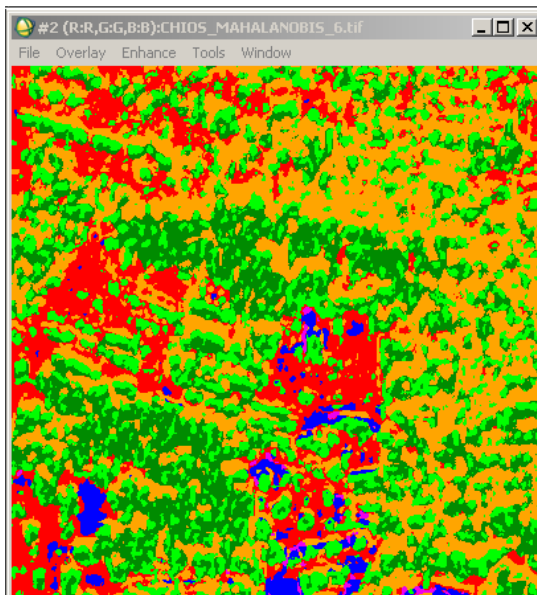
Εικόνα 48 Δορυφορική εικόνα Worldview2



Εικόνα 49 Ταξινόμηση Μέγιστης Πιθανοφάνειας



Εικόνα 50: Ταξινόμηση Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων



Εικόνα 51: Ταξινόμηση Απόστασης Mahalanobis

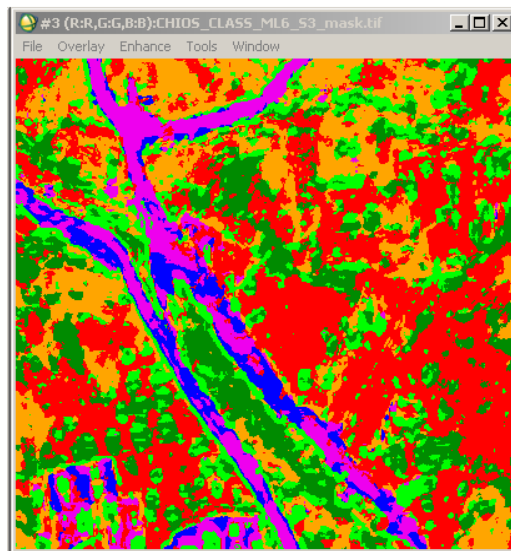
Η Εικόνα 48 έρχεται σαν παράδειγμα να δείξει την ταξινόμηση της εικόνας ειδικότερα πάνω στις κλάσεις των βοσκοτόπων (γυμνό έδαφος πορτοκαλί χρώμα) και των δενδρώνων (δασών πράσινο σκούρο χρώμα). Πάλι η εικόνα της ταξινόμηση με βάση τον αλγόριθμο των Τεχνικών Νευρωνικών δικτύων (Εικόνα 50) παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα. Ξεχώρισε σε αρκετά ικανοποιητικό σημείο τις δύο προ αναφερθείσες κλάσεις και εντόπισε και το μικρό κτίσμα στο μέσο της εικόνας (με ροζ χρώμα) παρατηρείτε όμως ότι αναγνώρισε και κάποιες

άλλες μικρές περιοχές ως τσεχικές επιφάνειες που δεν υφίστανται στην πραγματικότητα. Στην (Εικόνα 49) που αντιπροσωπεύει την ταξινόμηση της Μέγιστης πιθανοφάνειας παρατηρούμε αρκετά καλά αποτελέσματα αλλά ο αλγόριθμος φαίνεται να μπερδεύει τις περιοχές με χαρακτηριστική καθαρή αρόσιμη έκταση με εκείνη της κλάσης του νερού. Η ταξινόμηση με τη βοήθεια του αλγορίθμου Απόσταση Mahalanobis φαίνεται να έχει την πιο λεπτομερή ταξινόμηση αν δοθεί όμως η απαραίτητη προσοχή φαίνεται ότι τα αποτελέσματα της δεν είναι τα πιο αξιόπιστα.

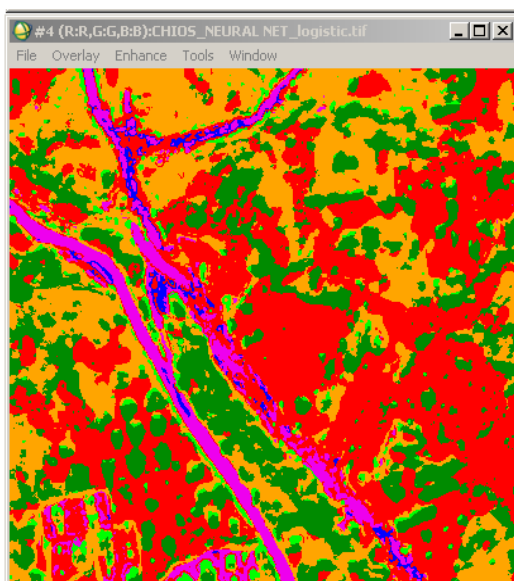
Στην δορυφορική Εικόνα 52 παρατηρούμε την ύπαρξη ενός δρόμου και ενός ποταμού με τις διακλαδώσεις του, η συγκεκριμένη υπό σύγκριση περιοχή έρχεται για να διαπιστωθεί η καλύτερη ταξινόμηση των κλάσεων τεχνικών επιφανειών (ροζ χρώμα) και του νερού δύο κλάσεων που συχνά μπερδεύονται κατά την ταξινόμηση. Παρατηρώντας βλέπουμε την σύγχυση στον διαχωρισμό των κλάσεων και στον αλγόριθμο της Μέγιστης πιθανοφάνειας (Εικόνα 53) υπερίσχυσε η κλάση των νερών (μπλε χρώμα) και σε αυτό των Τεχνικών Νευρωνικών δικτύων (υπερίσχυσε η κλάση των τεχνικών επιφανειών) (Εικόνα 54), κάτι που βλέπουμε δεν συνέβη με μέθοδο της Απόστασης Mahalanobis (Εικόνα 55). Διακρίνεται επίσης μια πιο λεπτομερή κατηγοριοποίηση των υπόλοιπων κλάσεων όπως ο διαχωρισμός των δενδρώνων (πράσινο σκούρο χρώμα) με την κλάση των δασών, κλάση που συγκαταλέγει πιο μικρά δένδρα και θαμνώδεις επιφάνειες(πράσινο ανοιχτό).



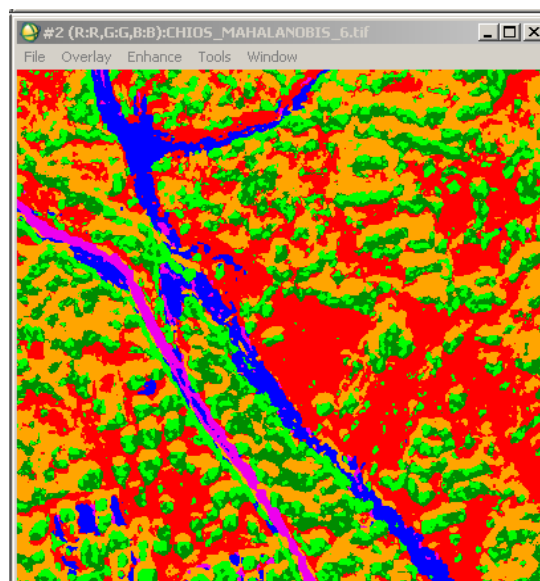
Εικόνα 52: Δορυφορική εικόνα Worldview2



Εικόνα 53: Ταξινόμηση Μέγιστης Πιθανοφάνειας



Εικόνα 54: Ταξινόμηση Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων

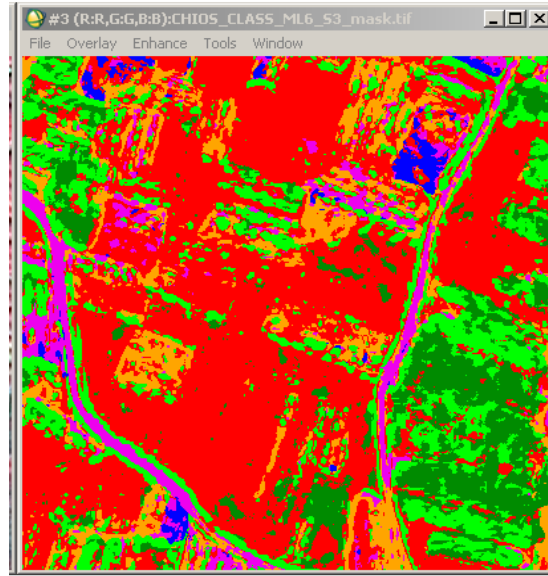


Εικόνα 55: Ταξινόμηση Απόστασης Mahalanobis

Στην Εικόνα 56 χρειάζεται μεγαλύτερη προσοχή στην παρατήρηση των αποτελεσμάτων για αποφευχθούμε για το ποια μέθοδος ταξινόμησης μας παρέχει τα πιο ποιοτικά αποτελέσματα. Με την πρώτη ματιά ίσως να απορρίπταμε την μέθοδο της Απόστασης Mahalanobis (Εικόνα 59) λόγω της έντονης παρουσίας της κλάσης του νερού (μπλε χρώμα) Όμως από το προηγούμενο παράδειγμα σύγκρισης των μεθόδων (Εικόνα 55) διαπιστώσαμε ότι είναι η υπό σύγκριση μέθοδος με τα καλύτερα αποτελέσματα στον διαχωρισμό της κλάσης του νερού όποτε ίσως να ήταν επιπόλαιο να απορριφθεί γρήγορα. Είναι πολύ πιθανόν κατά μήκος του δρόμου να υπάρχει το υδάτινο στοιχείο όπως επίσης να υπάρχουν χωράφια που νεροκρατούν ή είναι πρόσφατα ποτισμένα. Στην Εικόνα 57 φαίνεται έντονα η αναγνώρισης της κλάσης των δασών (βάση εκπαίδευση του αλγορίθμου αφορά θαμνώδες περιοχές και χαμηλά δένδρα) που δε φαίνονται να υπάρχουν στην δορυφορική εικόνα, αντίθετα πρόκειται για δενδρώνες ετήσια καλλιέργειας που λόγω και της σκιάς που σχηματίζουν μας δηλώνουν το ύψος τους. Στην Εικόνα 58 η ταξινόμηση των Τεχνικών Νευρωνικών δικτύων φαίνεται να πετυχαίνει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τους υπόλοιπους όπου φαίνεται να αναγνωρίζει καλύτερα την ανάπτυξη της βλάστησης και να διαχωρίζει τις κλάσεις.



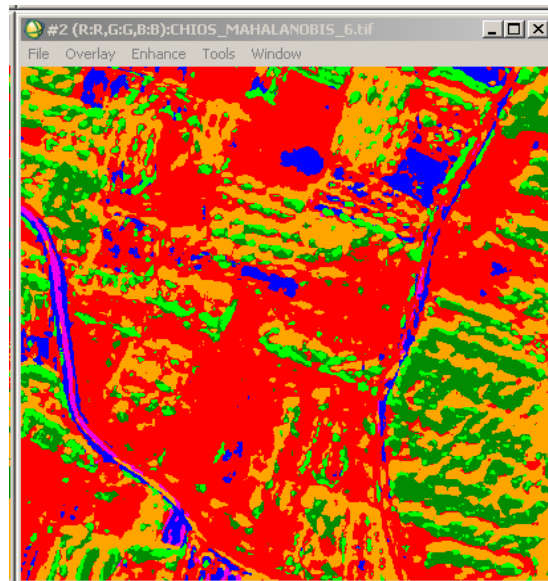
Εικόνα 56: Δορυφορική εικόνα Worldview2



Εικόνα 57: Ταξινόμηση Μέγιστης Πιθανοφάνειας



Εικόνα 58: Ταξινόμηση Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων



Εικόνα 59: Ταξινόμηση Απόστασης Mahalanobis

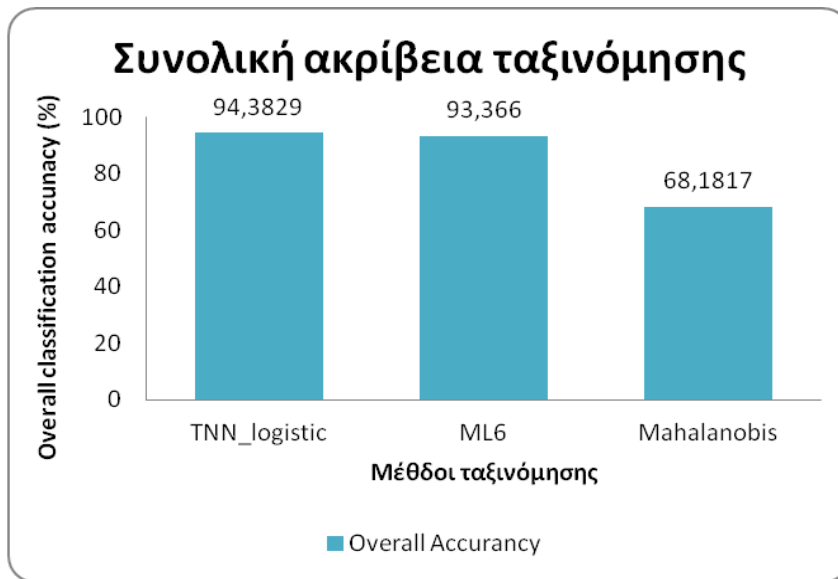
4.1.2 Ποσοτική Σύγκριση Αποτελεσμάτων Μεθόδων Εξαγωγής χρήσης κάλυψης

4.1.2.1 Σύγκριση μεθόδων

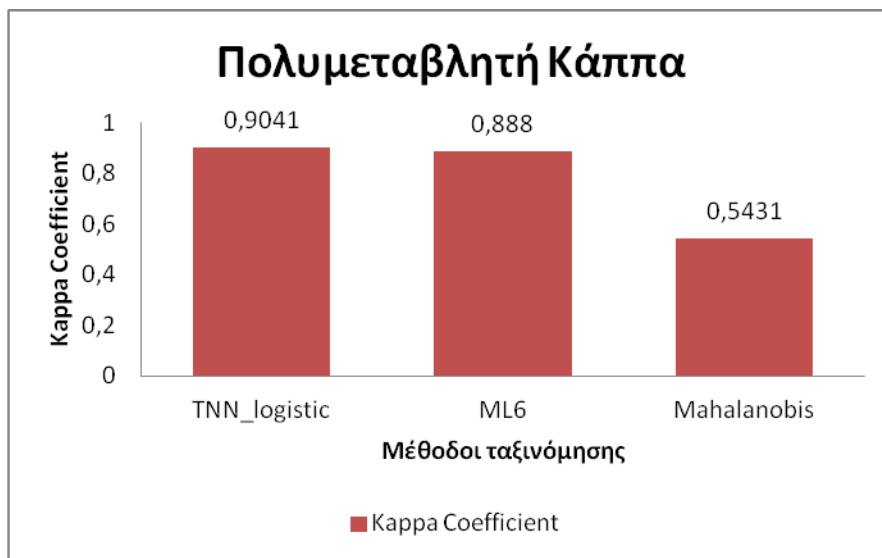
Ο δείκτης συνολικής ακρίβειας (overall accuracy), μας δείχνει την πιθανότητα τα εικονοστοιχεία της ταξινομημένης εικόνας να έχουν ταξινομηθεί σωστά σύμφωνα με τον διασταυρωτικό έλεγχο που πραγματοποιήθηκε με βάση τα σημεία (pixels) της υπαίθριας επιβεβαίωσης του ΟΠΕΚΕΠΕ (ground truth). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα ποσοστά ακρίβειας για τις τρεις μεθόδους. Η μέθοδος των Νευρωνικών δικτύων (TNN logistic) φαίνεται να έχει το μεγαλύτερο ποσοστό ακρίβειας. Οι τιμές του πολυμεταβλητή Kappa και για τις μεθόδους φαίνεται να είναι σε αποδεκτά επίπεδα. Βάση ορισμού η μέθοδος των Νευρωνικών Δικτύων (TNN logistic) με τιμή 94,3829 και η μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (ML) με τιμή 93,3667 έχουν ισχυρή συμφωνία και μεγάλη ακρίβεια. Η μέθοδος της Απόστασης Mahalanobis έχει μέτρια αποτελέσματα.

Πίνακας 6: Ο πίνακας περιλαμβάνει τα ποσοστά ακρίβειας και τις τιμές του πολυμεταβλητή Kappa για τις 3 μεθόδους.

Μέθοδοι (Αλγοριθμοί)	Νευρωνικά Δίκτυα (TNN_logistic)	Μέγιστης Πιθανοφάνειας (ML)	Απόστασης Mahalanobis
Συνολική ακρίβεια (Overall Accuracy)	94,3829	93,3667	68,1817
Πολυμεταβλητή Κάππα (Kappa Coefficient)	0,9041	0,888	0,5431



Διάγραμμα 1: Αναπαράσταση της συνολικής ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή μελέτης (εικόνα WorldView2) για τις τρεις μεθόδους ταξινόμησης



Διάγραμμα 2: Αναπαράσταση τιμών πολυμεταβλητης Κάππα για την σύγκριση των μεθόδων ταξινόμησης στην περιοχή μελέτης (εικόνα WorldView2)

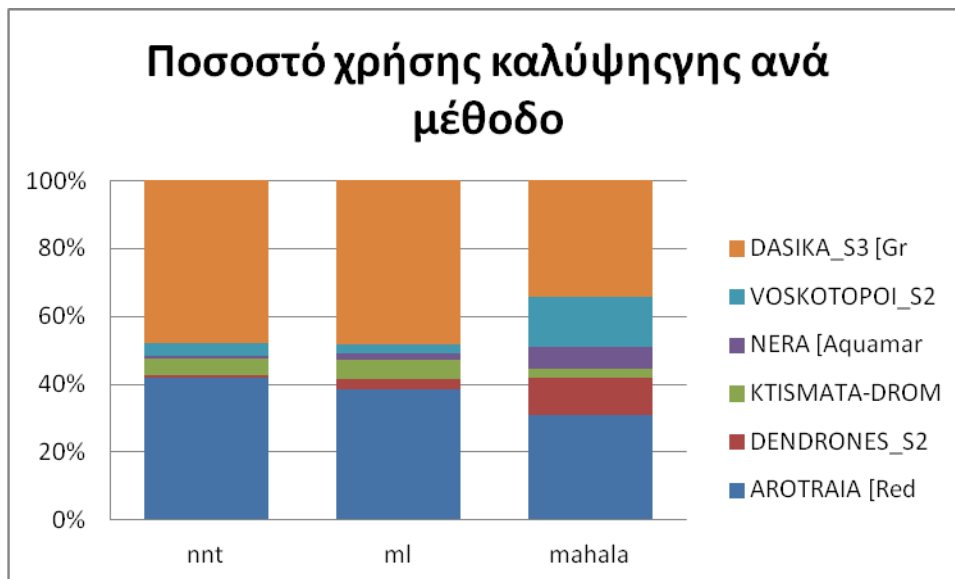
Πίνακας 7: Πίνακας εκτίμησης ακρίβειας για την Μέθοδο Μέγιστης Πιθανοφάνειας

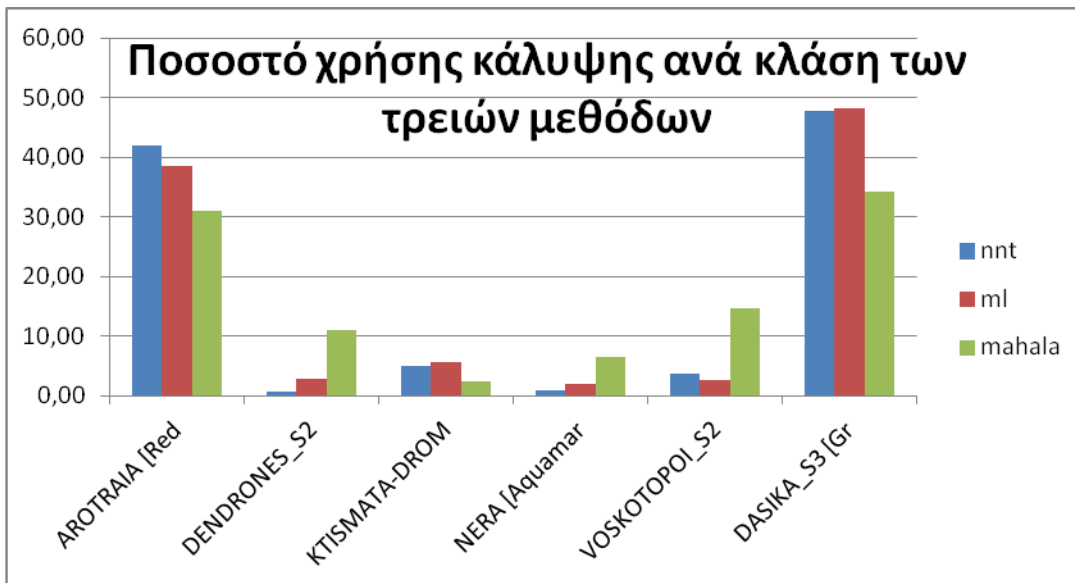
Class	Αροτραία	Δενδρώνες	Κτίσματα-Δρόμοι	Υδάτινοι όγκοι	Βοσκότοποι (Γυμνό έδαφος)	Δασικά	Σύνολο
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Αροτραία	95.11	1.44	0.19	0.14	0.31	1.39	38.64
Δενδρώνες	0.15	70.18	1.14	0.43	0.84	4.30	2.83
Κτίσματα- Δρόμοι	1.46	1.52	91.80	6.58	0.40	0.00	5.60
Υδάτινοι όγκοι	1.06	0.43	6.57	92.78	0.06	0.00	2.10
Βοσκότοποι (Γυμνό έδαφος)	0.34	0.72	0.29	0.07	96.58	1.91	2.71
Δασικά	1.87	25.70	0.01	0.00	1.81	92.40	48.13
Σύνολο	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Πίνακας 8: Πίνακας εκτίμησης ακρίβειας για την Μέθοδο Απόστασης Mahalanobis

Class	Αροτραία	Δενδρώνες	Κτίσματα-Δρόμοι	Υδάτινοι όγκοι	Βοσκότοποι (Γυμνό έδαφος)	Δασικά	Σύνολο
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Αροτραία	75.41	2.60	1.67	2.79	5.29	1.37	30.99
Δενδρώνες	2.54	56.97	11.47	0.79	3.33	17.51	11.03
Κτίσματα- Δρόμοι	0.00	0.00	42.19	9.91	0.00	0.00	2.39
Υδάτινοι όγκοι	11.03	1.88	17.74	85.09	0.31	0.00	6.57
Βοσκότοποι (Γυμνό έδαφος)	10.40	6.79	15.53	1.07	78.99	16.52	14.76
Δασικά	0.62	31.77	11.41	0.36	12.08	64.60	34.26
Σύνολο	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

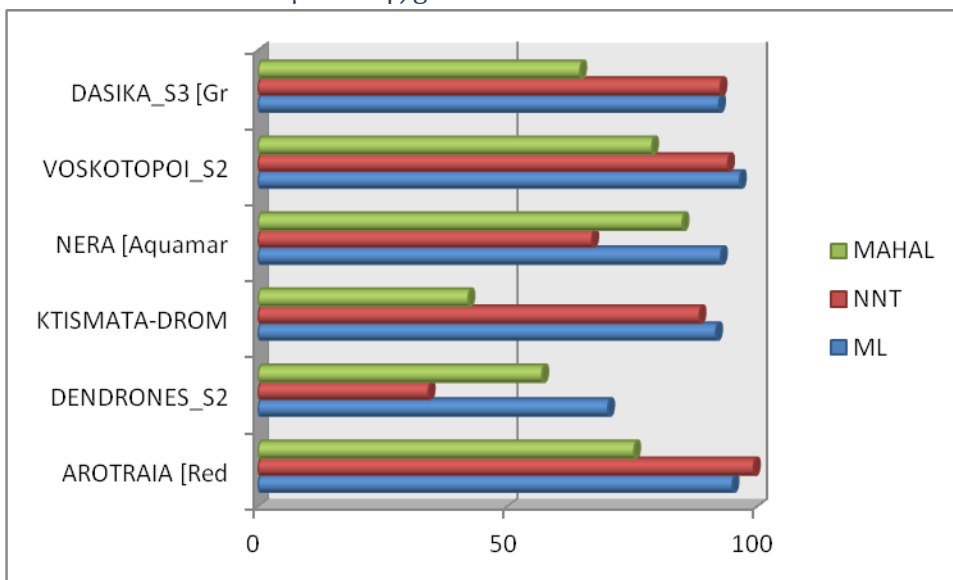
Class	Αροτραία	Δενδρώνες	Κτίσματα-Δρόμοι	Υδάτινοι όγκοι	Βοσκότοποι (Γυμνό έδαφος)	Δασικά	Σύνολο
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Αροτραία	99.37	3.10	10.82	18.49	3.61	2.75	41.92
Δενδρώνες	0.00	34.22	0.15	1.57	0.44	0.71	0.64
Κτίσματα- Δρόμοι	0.00	1.23	88.50	12.30	0.06	0.00	4.91
Υδάτινοι όγκοι	0.02	0.00	0.53	66.99	0.00	0.00	0.99
Βοσκότοποι (Γυμνό έδαφος)	0.55	5.34	0.00	0.64	94.21	3.84	3.76
Δασικά	0.06	56.10	0.00	0.00	1.68	92.70	47.77
Σύνολο	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



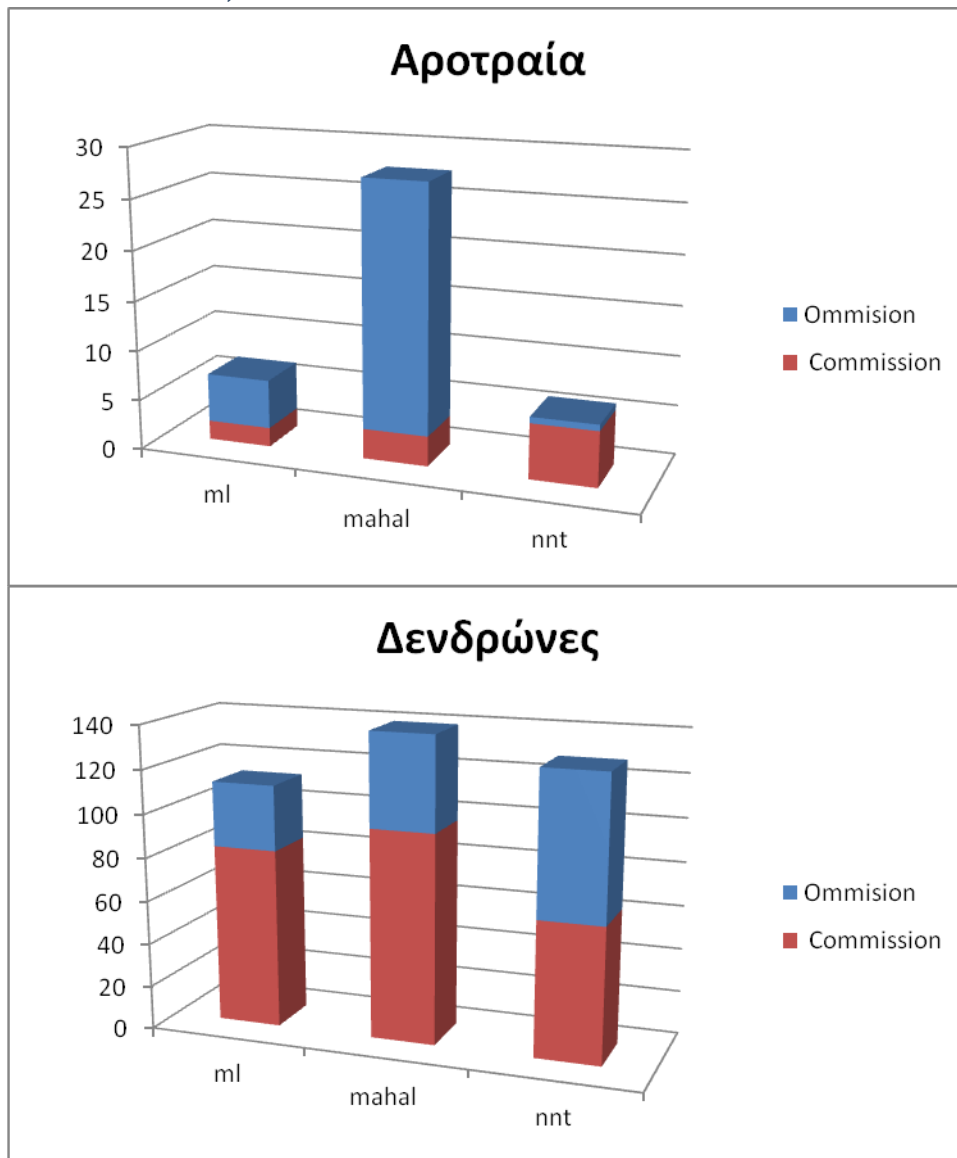


4.1.2.2 Σύγκριση μεθόδων ανά κλάση

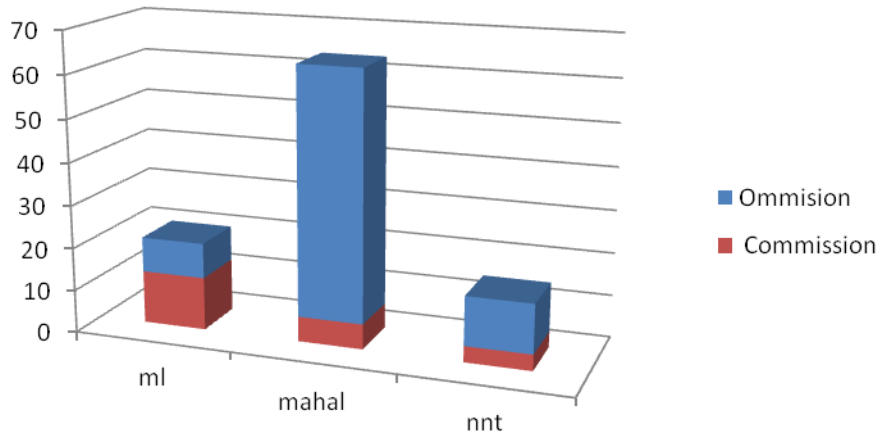
4.1.2.2.1 Ποσοστό σύμπτωσης ground value – classified value



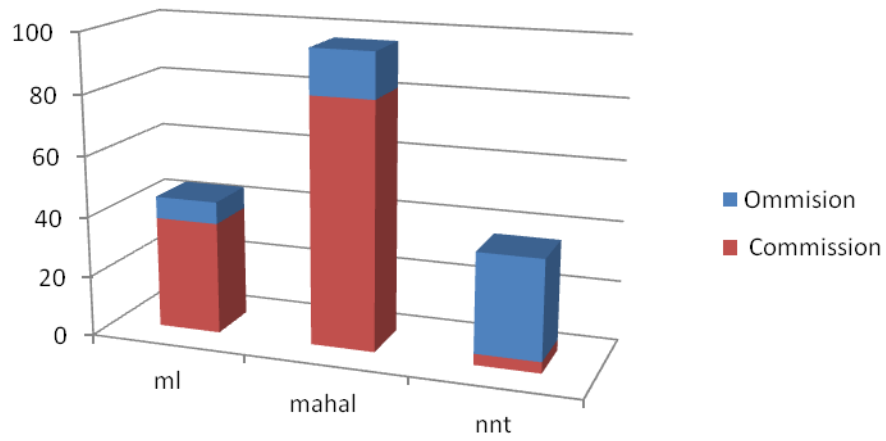
4.1.2.2.2 Δείκτες commission - omission



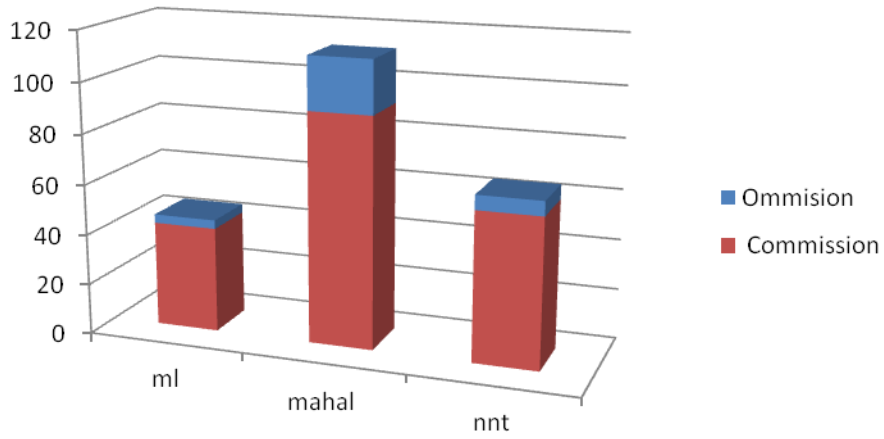
Κτίσματα



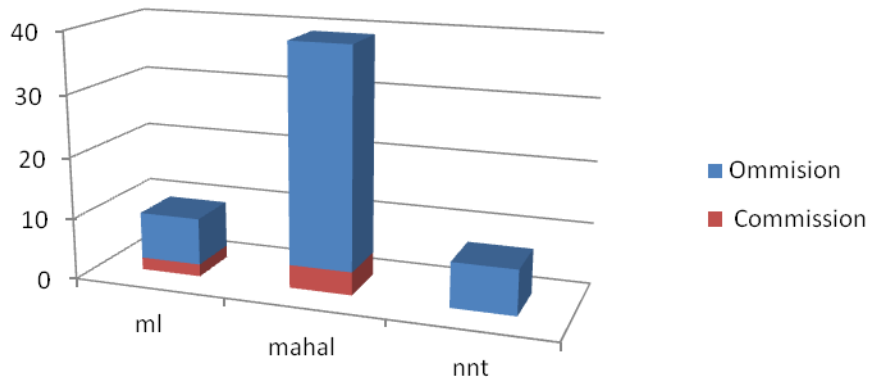
Νερά



Βοσκότοποι



Δασικά



5 Βιβλιογραφία

Αγγελοπούλου, Ε., 2003: Επεξεργασία Δορυφορικών Εικόνων ASTER για την Περιοχή της Κρήτης, Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Κρήτης, Χανιά.

Αργιαλάς Δ. (1999). "Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση". Εγχειρίδιο μαθήματος ΕΜΠ ΣΑΤΜ, Αθήνα

Αργιαλάς Δ. (1998). "Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση". Εγχειρίδιο μαθήματος ΕΜΠ ΣΑΤΜ, Αθήνα

Αστάρας, Θ., 1980: Ποσοτική Γεωμορφολογική Μελέτη Τμήματος των Δ. Πλευρών του όρους Βερτίσκον (Κ. Μακεδονία), Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ.

Καρτέρης, Μ.Α. & Τσομπανίκος Δ., 1984. Σύστημα ταξινόμησης χρήσεων/κάλυψης της γης. Πρακτικά Συνεδρίου "Ολοκληρωμένες Πληροφορίες Γης-Θεμέλιο για Ανάπτυξη", Τομέας Κτηματολογίου και Φωτογραμμετρίας, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη, σελ. 583-603.

Καρτέρης, Μ.Α., 1990. Δασική Αεροφωτογραφία. Β' έκδοση. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Καρτέρης Μ.Α., 1999. Τηλεπισκόπηση Περιβάλλοντος. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Τμήμα Δασολογίας & Φυσ. Περ/ντος, Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής & Τηλεπισκόπησης, σελ. 87, 193.

Μερτίκας, Σ., Π., 1999: Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.

Μπιλλήρης, Χ., 2006, Εισαγωγή στη Γεωδαισία, Πανεπ. Σημειώσεις (Κεφ.4 – Συστήματα Αναφοράς), Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας – Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Ρόκος Δ. (2005). "Φωτοερμηνεία Τηλεπισκόπηση". Εγχειρίδιο Μαθήματος ΕΜΠ ΣΑΤΜ, Αθήνα

Τσακίρη- Στρατή, Μ., 2004: Τηλεπισκόπηση, πανεπ. σημειώσεις, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ.85-158.

Σαλιάρης Π.(1990), "Τα Αγριολούλουδα της Χίου", Τόμος Α', Εκδόσεις Δήμου Ομηρούπολης.

Σπινθάκη Β., Χούλη Δ. & Χωρέμη Γ. (1993), “Τα πουλιά της Χίου”, Δήμος Ομηρούπολης.

Φείδας Χ., 2002. Εφαρμοσμένη Δορυφορική Τηλεπισκόπηση. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας, Π.Μ.Σ. Γεωγραφία και Σχεδιασμός στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Εκπαιδευτικό CD. Μυτιλήνη.

Barnsley, M.J. (1999). Digital Remote Sensing Data and Their Characteristics. In *Geographical Information Systems: Principles, techniques, applications, and management*, P. Longley, M. Goodchild, D.J. Maguire and D.W. Rhind (Eds), 2nd edn, pp. 451–466 John Wiley and Sons New York.

Bishop C.M., 1995: *Neural Networks for Pattern Recognition*, Oxford University Press, Oxford.

Bhaskaran, S., S. Paramananda, and M. Ramnarayan. 2010. Per-Pixel and Object-Oriented Classification Methods for Mapping Urban Features Using Ikonos Satellite Data. *Applied Geography*. 30(4):650-665

Carleer, A., & Wolff, E. (2004). Exploitation of very high resolution satellite data for tree species identification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(1), 135–140.

Chuvieco E. and Congalton R. G., 1989. Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. *Remote Sensing of Environment* 29, pp. 147-159.

Congalton, R., 1991: A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46

Davis, C. H., & Wang, X. (2003). Planimetric accuracy of Ikonos 1m panchromatic orthoimage products and their utility for local government GIS basemap applications. *International Journal of Remote Sensing*, 24(22), 4267–4288. DigitalGlobe (2009). The benefits of the 8 spectral bands of WorldView-2, http://worldview2.digitalglobe.com/docs/WorldView-2_8-Band_Applications_Whitepaper.pdf (accessed on 7/20/2011)

Dickinson G.C., 1979. *Maps and Aerial Photographs*. 2nd edit. J. Wiley and Sons, New York, pp. 348

Gitas I.Z., Karydas C.G. and Kazakis G.V., 2003. Land cover mapping of Mediterranean landscapes using SPOT4 Xi and IKONOS imagery; A preliminary investigation. *Options Méditerranéennes, Série B*, no 46.

Johansen, K., & Phinn, S. (2006). Mapping structural parameters and species composition of riparian vegetation using IKONOS and Landsat ETM plus data in Australian tropical savannahs. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(1), 71–80.

Kato, M. (2004). Classifying tree species in a northern mixed forest using high-resolution IKONOS data. *Journal of Forest Research*, 9, 7–14.

Lefsky, M.A. & Cohen, W.B. (2003). Selection of Remotely Sensed Data. In *Remote Sensing of Forest Environments: Concepts and case studies*, M.A. Wulder and S.E. Franklin (Eds), pp. 13–46 Kluwer Academic Publishers Boston.

Lillesand, T. M., and R. W. Kiefer (2001) *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4th Ed., John Wiley and Sons, Inc.

Lucas R.M., Rowlands A., Niemann O., Merton R., 2004. Hyperspectral sensors: past, present and future. In: Varshney P.K., Arora M.K.(Eds.), *Advanced Image Processing Techniques for Remotely Sensed Hyperspectral Data*. Springer Verlag, Berlin, pp. 11–40.

Rumelhart D.E and J.L. McClelland, 1986: *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. The MIT Press, MA, USA

Story, M., and Congalton, R., 1986: Accuracy assessment: a user's perspective, *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 52(3): 397-399.

Sarle W.S., ed., 1997: *Neural Network FAQ*. Periodic posting to the Usenet newsgroup comp.ai.neural-nets. <ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html>.

Vasconcelos M.J.P., S. Silva, M. Tome, M. Alvim and J.M.C. Pereira, 2001: Spatial Prediction of Fire Ignition Probabilities: Comparing Logistic Regression and Neural Networks. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67 (1), 73-81.

Gonzalez, R. C., and R. E. Woods (2002) *Digital Image Processing*, Prentice Hall

Wang, X. (2003). Planimetric accuracy of Ikonos 1m panchromatic orthoimage products and their utility for local government GIS basemap applications. *International Journal of Remote Sensing*, 24(22)

Πηγές από το διαδίκτυο

http://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/index.php/Resampling_techniques_in_image_processing

Exelis Tutorials - ENVI Tutorials: <http://www.exelisvis.com>

ArcGIS: <http://www.esri.com/software/arcgis>

<http://www.gis.usu.edu/unix/imagene/FieldGuide.pdf>

http://etopo.web.auth.gr/TOMEIS_INDEX/TOMEASB/Tsakiri/give/mps/5_mps_accuracy_cd2_pdf_05.pdf

-

6 Πηγές από το διαδίκτυο

URL1:

http://etopo.web.auth.gr/TOMEIS_INDEX/TOMEASB/Tsakiri/give/mps/5_mps_accuracy_cd2_pdf_05.pdf

URL2: <http://www.gis.usu.edu/unix/imagery/FieldGuide.pdf>