



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

‘Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου’

Κατεύθυνση *‘Γεωπληροφορικής’*

**ΧΡΗΣΗ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
LANDSAT (1993-2001-2010) ΓΙΑ ΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ
ΧΡΗΣΗΣ/ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΕΓΑΡΩΝ.**

Διπλωματική εργασία του Καρπούζα Σωτήρη

Επιβλέπων καθηγητής: κος Ισαάκ Παρχαρίδης

ΑΘΗΝΑ, Φεβρουάριος 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, όλους αυτούς που με τη βοήθειά τους συνέβαλλαν στην συγγραφή και περάτωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω:

- Τον Αναπληρωτή καθηγητή της σχολής Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου κο Ισαάκ Παρχαρίδη, επιβλέποντα καθηγητή, ο οποίος μου εμπιστεύτηκε την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, για την άριστη συνεργασία, την ανεκτίμητη και συνεχή καθοδήγηση καθώς και το ενδιαφέρον και τη βοήθειά του σε όλα τα στάδια της εργασίας αυτής.
- Τον Αναπληρωτή Καθηγητή κο Χρήστο Χαλκιά της σχολής Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου, ο οποίος με βοήθησε σημαντικά και με ενέπνευσε κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα Κλεομένη Καλογερόπουλο για τη πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε τόσο σε θέματα δεδομένων, όσο και σε θέματα G.I.S.
- Όλους τους συμφοιτητές μου, για τη συνεργασία που είχαμε σε όλη τη διάρκεια του κύκλου σπουδών και ιδιαίτερα τους Σπύρο Νεοκοσμίδη και Κώστα Λένο για τη πολυποίκιλη βοήθειά τους.
- Τη Διευθύντρια Δασών Δυτικής Αττικής και προϊσταμένη της υπηρεσίας μου Δασολόγο κα Στέλλα Πανιέρα και τον αναπληρωτή της Δασολόγο κο Χρήστο Γκάτση, για τη συμπαράσταση και την υποστήριξή τους με τη προμήθεια στοιχείων του αρχείου της υπηρεσίας και της μετάδοσης των γνώσεων και της εμπειρίας τους.
- Το προσωπικό του Δασαρχείου Μεγάρων και ιδιαίτερα τη Δασάρχη κα Σωτηρία Φράγκου, τον πρώην Δασάρχη κο Πέτρο Σακκά, το Δασοφύλακα κο Νίκο Γελάδα και τη Δασοπόνο κα Γιασεμή Γεωργίου, για τη βοήθεια σε μέσα και δεδομένα, καθώς και στη συλλογή δεδομένων υπαίθρου.
- Την εταιρεία INFOREST Research c.o. και ειδικότερα τη Μαρουλιώ Χανιώτη και τον Αλέξανδρο Μαλούνη, για τη πολύτιμη τεχνική βοήθεια που μου πρόσφεραν καθώς και για την ευγενική προσφορά της δοκιμαστικής άδειας του λογισμικού ENVI 5.2 για 3 μήνες για τις ανάγκες υλοποίησης της παρούσας εργασίας.
- Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από τη καρδιά μου την οικογένειά μου, για τη συνεχή ενθάρρυνση και υποστήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και σ' όλη μου τη ζωή και ιδιαίτερα τον πατέρα μου που έχασα πρόσφατα και στον οποίο αφιερώνω τη παρούσα μεταπτυχιακή εργασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	14
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	16
ABSTRACT	17
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.	18
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	19
1.1. Ορισμός χρήσης και κάλυψης γης.....	19
1.2. Ορισμός δάσους και δασικών εκτάσεων.	20
1.3. Τηλεπισκόπηση και δορυφορικά δεδομένα.....	22
1.4. Δορυφορικά συστήματα απεικόνισης (Earth Observation Systems).	23
1.5. Δορυφόροι Landsat.....	24
1.6. Αρχές επεξεργασίας και ερμηνείας εικόνας.	30
1.6.1. Αποκατάσταση ή προεπεξεργασία (preprocessing) της εικόνας	30
1.6.2. Βελτίωση της παρουσίας της εικόνας (Image enhancement)	33
1.6.3. Ταξινόμηση εικόνας.....	34
1.6.4. Εντοπισμός μεταβολών.....	51
2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	55
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	60
3.1. Φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.....	60
3.1.1. Γεωγραφική θέση.....	60
3.1.2. Γεωμορφολογικά – Περιβαλλοντικά στοιχεία.....	60
3.1.3. Κλιματολογικά στοιχεία.	69
3.2. Ανθρωπογεωγραφικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης.....	73
3.2.1. Ιστορική εξέλιξη Μεγάρων.....	73
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	85

4.1. Σκοπός μελέτης.....	85
4.2 Απόκτηση δεδομένων.....	87
4.3. Γεωαναφορά	92
4.4. Ραδιομετρική – Ατμοσφαιρική Διόρθωση.	93
4.5. Αποκοπή δορυφορικών εικόνων στα όρια της περιοχής μελέτης.	99
4.6. Στατιστικά εικόνων.....	101
4.7. Μη Εποπτευόμενη Ταξινόμηση.	104
4.8. Δεδομένα Υπαίθρου.	110
4.9. Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση.....	114
4.9.1. Καθορισμός κλάσεων ταξινόμησης (χρήσης/κάλυψης γης).....	114
4.9.2. Εκπαίδευση περιοχών	120
4.9.3. Σύνθεση συνδυασμού φασματικών καναλιών	123
4.9.4. Ανάλυση διακριτότητας (Separability) των περιοχών εκπαίδευσης.....	126
4.9.5. Λόγοι φασματικών καναλιών (Band Ratios).	128
4.9.6. Δημιουργία τελικών ψευδέγχρωμων εικόνων.	131
4.9.7. Επιλογή μεθόδου επιβλεπόμενης ταξινόμησης.	132
4.9.8. Μετεπεξεργασία ταξινομημένων εικόνων.	134
4.9.9. Δημιουργία θεματικών χαρτών ταξινόμησης.	135
4.9.10. Εκτίμηση ακρίβειας της ταξινόμησης.....	139
4.9.11. Αποτελέσματα ταξινόμησης.	143
4.10. Ανίχνευση Αλλαγών (Change Detection).	148
4.10.1 Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2001.....	149
4.10.2 Ανίχνευση αλλαγών 2001 -2010.....	153
4.10.3 Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2010.....	156
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	159
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	163

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Παράμετροι τροχιάς των Landsat 4 και 5. (Πηγή: Τσακίρη – Στρατή Μ., 2010)..	26
Εικόνα 2. . Σχηματική παράσταση της τροχιάς του δορυφόρου Landsat. (Πηγή: Καρτάλης Κ. κ.α., 2006).	26
Εικόνα 3. Δορυφορική εικόνα LANDSAT-5 TM από περιοχή της Ν. Λέσβου (αριστερά).Τοπογραφικός χάρτης 1:50.000 σε μορφή raster με σύστημα συντεταγμένων (δεξιά). (Πηγή: Μίγκιρος Γ. κ.α., 2003).	33
Εικόνα 4. Εικόνα που δείχνει το φασματικό κανάλι 3 του θεματικού χαρτογράφου του δορυφόρου Landsat, της περιοχής Morro Bay στην California, και την ψευδέγχρωμη εικόνα που προκύπτει από τον συνδυασμό των φασματικών καναλιών 4, 3, 2 ως ερυθρό (red), πράσινο (green), μπλε (blue). (Πηγή: Μίγκιρος Γ. κ.α., 2003).	34
Εικόνα 5. Η διαδικασία της ταξινόμησης σε γενικές γραμμές. (Πηγή: Μίγκιρος Γ. κ.α., 2003).	35
Εικόνα 6. : Διάγραμμα διασποράς τιμών των εικονοστοιχείων στο δισδιάστατο χαρακτηριστικό χώρο. Τα Α, Β και C ορίζουν φυσικές φασματικές κλάσεις. (Πηγή: Μιγκίρος Γ. κ.ά., 2003).....	38
Εικόνα 7. Διάγραμμα διασποράς των τιμών των εικονοστοιχείων στο τρισδιάστατο χώρο. Από F.F. Sabins, Remote Sensing: Principles and Interpretation. 2nd Ed., 1987. (Αναπαραγωγή από Μιγκίρο Γ. κ.ά. 2003.).	38
Εικόνα 8. Ταξινομημένη εικόνα, με τον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης (minimum distance), της περιοχής Morro Bay στην California (NASA, 1998. Αναπαραγωγή Μιγκίρος κ.ά. 2003.).	42
Εικόνα 9. Η ταξινόμηση, όπως προκύπτει με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανότητας (Maximum likelihood). (Πηγή: Μιγκίρος Γ. κ.α., 2003)	44
Εικόνα 10. Ταξινομημένη εικόνα, με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανότητας (Maximum likelihood), της περιοχής Morro Bay στην California (NASA, 1998). (Αναπαραγωγή Μιγκίρος Γ. κ.ά., 2003).	45
Εικόνα 11. Πολυφασματική εικόνα στην οποία οι ψηφίδες μπορούν να είναι μεικτές ή καθαρές. Η σύνθεση των μεικτών μπορεί να είναι ίδια ή διαφορετική. Στις μεικτές παίζει ρόλο και το ποσοστό των διαφορετικών εδαφικών καλύψεων. (Πηγή: Τσακίρη- Στρατή Μ., 2010).	47
Εικόνα 12. Παγχρωματική εικόνα SPOT του 1987 και του 1992. (Κάτω) Η διαφορά των δυο εικόνων και η εικόνα του 1987 με τις εντοπισμένες μεταβολές χρωματισμένες (πράσινο: θετική διαφορά, κόκκινο: αρνητική διαφορά). (Πηγή: Καρτάλης Κ., κ.α. 2006).	53
Εικόνα 13. Δημιουργία μιας νέας πολυφασματικής πολυχρονικής εικόνας με τη σύνθεση δύο άλλων πολυφασματικών εικόνων έξι καναλιών (Πηγή: Καρτάλης Κ., κ.α. 2006).	54

Εικόνα 14. Γεράνεια Όρη. Δάσος Ελατιάς. Συστάδες Κεφαλληνιακής ελάτης (Abies Cephallonica), εναλλασσόμενες με γυμνές βραχώδεις εκτάσεις. (Πηγή: Φωτογραφικό αρχείο ιδίου).....	63
Εικόνα 15. Όρος Πατέρας (στο βάθος διακρίνεται η Μεγαρική πεδιάδα) (Πηγή: Φωτογραφικό αρχείο ιδίου).....	66
Εικόνα 16. Εγκατάσταση λογισμικού EOLISA.....	88
Εικόνα 17. Οθόνη διεπαφής λογισμικού EOLISA.....	89
Εικόνα 18. Προεπισκόπηση διαθέσιμων δορυφορικών εικόνων και παραγγελία.	89
Εικόνα 19. Απεικόνιση αρχείου .MTL δορυφορικής εικόνας Landsat TM στο σημειωματάριο.....	91
Εικόνα 20. Ραδιομετρική διόρθωση εικόνας στο λογισμικό ENVI..	95
Εικόνα 21. Μετατροπή δεδομένων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του λογισμικού της ατμοσφαιρικής διόρθωσης που θα εφαρμοστεί η μέθοδος Flaash.....	96
Εικόνα 22. Ρυθμίσεις Ατμοσφαιρικής Διόρθωσης με τη μέθοδο Flaash.....	98
Εικόνα 23. Δεδομένα ατμοσφαιρικά διορθωμένης, με Flaash, εικόνας Landsat TM 1993.....	99
Εικόνα 24. Διαδικασία αποκοπής δορυφορικών εικόνων στα όρια του Δήμου Μεγάρων. (Subset Data via ROIs).....	100
Εικόνα 25. Δορυφορική εικόνα Landsat έτους 1993 κομμένη* στα όρια της περιοχής μελέτης.	100
Εικόνα 26. Quick stats δορυφορικής εικόνας Landsat έτους 1993 της περιοχής μελέτης.....	102
Εικόνα 27. Παράθυρο ταξινόμησης ISODATA.	105
Εικόνα 28. Εικόνα Google Earth ημερομηνίας λήψης 23-8-2002.....	121
Εικόνα 29. Εικόνα Google Earth ημερομηνίας λήψης 28-7-2010.....	122
Εικόνα 30. Δημιουργία περιοχών εκπαίδευσης και δειγμάτων ελέγχου της ταξινόμησης.....	123
Εικόνα 31. Οθόνη λογισμικού ENVI 5.2. Αριστερά το εργαλείο Separability tool και δεξιά το παράθυρο ROI Separability calculation.	127
Εικόνα 32. Αρχικές αναφορές ανάλυσης διακριτότητας για τα τρία έτη αναφοράς (ROI Separability reports).	128
Εικόνα 33. Παράθυρο παραμέτρων Layer stacking.....	131
Εικόνα 34. Τελικές αναφορές ανάλυσης διακριτότητας για τα τρία έτη αναφοράς (ROI Separability reports).	132
Εικόνα 35. Εικονοστοιχεία της τάξης 2 που ταξινομούνται λανθασμένα στην τάξη 1. (Πηγή: Καρτάλης Κ. κ.α., 2006).	133
Εικόνα 36. Ο δισδιάστατος φασματικός χώρος στον οποίο έχουν χαραχθεί οι καμπύλες ίσης πιθανότητας για να ανήκει ένα εικονοστοιχείο σε μια τάξη. Σύμφωνα με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, το εικονοστοιχείο χ θα αποδοθεί στην τάξη 2 καθώς η πιθανότητα ($p = 0.7$) να	

ανήκει σε αυτή είναι μεγαλύτερη από την πιθανότητα ($p = 0.4$) να ανήκει στην τάξη 1. (Πηγή: Καρτάλης Κ. κ.α. 2006.)	134
Εικόνα 37. Παράθυρο διαλόγου Classification Aggregation.....	135
Εικόνα 38. Η αρχική εικόνα αριστερά. Η επεξεργασμένη με Classification Aggregation εικόνα δεξιά.	135
Εικόνα 39. Δημιουργία πίνακα σφάλματος (Confusion Matrix) με τη χρήση δειγμάτων ελέγχου.	139

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Βασικά χαρακτηριστικά δορυφόρων Landsat. (Πηγή: Καρτάλης Κ., κ.α., 2006)	25
Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά του δορυφόρου Landsat TM (Πηγή: Μίγκιρος Γ. κ.α., 2003).	28
Πίνακας 3. Χαρακτηριστικές εφαρμογές των φασματικών καναλιών του Landsat TM. (Πηγή: Μίγκιρος Γ. κ.α., 2003).	29
Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά και εφαρμογές των φασματικών καναλιών του Θεματικού Χαρτογράφου TM. (Μίγκιρος Γ. κ.α., 2003).	29
Πίνακας 5. Παρουσίαση της μαθηματικής βάσης του πίνακα σφάλματος. (Πηγή: Τσακίρη-Στρατή Μ. 2010).	49
Πίνακας 6. Μετεωρολογικά στοιχεία μετεωρολογικού σταθμού Μεγάρων(1946-88), (Πηγή Ε.Μ.Υ.).	71
Πίνακας 7. Συγκριτικά πληθυσμιακά στοιχεία Δήμου Μεγαρέων (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).	75
Πίνακας 8. Διαχρονική εξέλιξη πληθυσμού της περιοχής μελέτης (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).	75
Πίνακας 9. Σύγκριση δείκτη γήρανσης Δήμου Μεγαρέων με ευρύτερες γεωγραφικές ενότητες (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).	77
Πίνακας 10. Σύγκριση δείκτη νεανικότητας Δήμου Μεγαρέων με ευρύτερες γεωγραφικές ενότητες (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).	77
Πίνακας 11. Σύγκριση δείκτη εξάρτησης Δήμου Μεγαρέων με ευρύτερες γεωγραφικές ενότητες (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).	78
Πίνακας 12. Κατανομή του ενεργού πληθυσμού Δήμου Μεγαρέων στους τρεις παραγωγικούς τομείς. (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).	79
Πίνακας 13. Ταξινόμηση πληθυσμού Δήμου Μεγαρέων κατά κλάδο οικονομικής δραστηριότητας (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).	79
Πίνακας 14. Διαχρονική εξέλιξη έκδοσης νέων οικοδομικών αδειών στο Δήμο Μεγαρέων για το χρονικό διάστημα 2000 – 2008 (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 - 2014. Ιδία επεξεργασία).	82
Πίνακας 15. Κατανομή χρήσεων γης Δήμου Μεγαρέων 2011 (Πηγή: Στοιχεία Τεχνικής Υπηρεσίας Δήμου Μεγαρέων)	83
Πίνακας 16.Περιεκτικότητα υδρατμών της ατμόσφαιρας και θερμοκρασία στην γήινη επιφάνεια για τα διάφορα MODTRAN ατμοσφαιρικά μοντέλα (ENVI User guide).	97
Πίνακας 17. Πίνακας συσχέτισης (correlation) καναλιών.	104
Πίνακας 18. Δεδομένα πεδίου που συλλέχθηκαν κατόπιν αυτοψίας στη περιοχή μελέτης	114

Πίνακας 19. Ελληνική ονοματολογία CORINE LAND COVER 2000. (Πηγή: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος).	116
Πίνακας 20. Σύστημα ταξινόμησης χρήσεων και κάλυψης γης του Anderson et al. (1976).	119
Πίνακας 21. Κλάσεις ταξινόμησης μελέτης.	120
Πίνακας 22. Αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας έτους 1993.	140
Πίνακας 23. Αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας έτους 2001.	141
Πίνακας 24. Αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας έτους 2010.	142
Πίνακας 25. Ποσοστιαία κατανομή κάλυψης γης περιοχής μελέτης σύμφωνα με την ταξινόμηση Maximum Likelihood έτους 1993.	143
Πίνακας 26. Ποσοστιαία κατανομή κάλυψης γης περιοχής μελέτης σύμφωνα με την ταξινόμηση Maximum Likelihood έτους 2001.	144
Πίνακας 27. Ποσοστιαία κατανομή κάλυψης γης περιοχής μελέτης σύμφωνα με την ταξινόμηση Maximum Likelihood έτους 2010.	145
Πίνακας 28. Ποσοστιαία κατανομή τύπων κάλυψης γης και εδαφικής έκτασης ανά χρονικό σημείο αναφοράς μελέτης.	146
Πίνακας 29. Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2001 σε αριθμό εικονοστοιχείων.	149
Πίνακας 30. Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2001 σε ποσοστιαίες αναλογίες.	149
Πίνακας 31. Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2001 σε έκταση (στρέμματα).	149
Πίνακας 32. Ανίχνευση αλλαγών 2001 -2010 σε αριθμό εικονοστοιχείων.	153
Πίνακας 33. Ανίχνευση αλλαγών 2001 -2010 σε ποσοστιαίες αναλογίες.	153
Πίνακας 34. Ανίχνευση αλλαγών 2001 - 2010 σε έκταση (στρέμματα).	153
Πίνακας 35. Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2010 σε αριθμό εικονοστοιχείων.	156
Πίνακας 36. Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2010 σε ποσοστιαίες αναλογίες.	156
Πίνακας 37. Ανίχνευση αλλαγών 1993 - 2010 σε έκταση (στρέμματα).	156

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Κατανομή μέσου μηνιαίου ύψους βροχής (Πηγή: Ε.Μ.Υ. Ιδία επεξεργασία).	72
Διάγραμμα 2. Κατανομή μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (Πηγή: Ε.Μ.Υ. Ιδία επεξεργασία).	72
Διάγραμμα 3. Ομβροθερμικό διάγραμμα περιοχής μελέτης περιόδου 1946-1988 (Πηγή: Ε.Μ.Υ. Ιδία επεξεργασία).	73
Διάγραμμα 4. Διαχρονική εξέλιξη πληθυσμού της περιοχής μελέτης (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014. Ιδία επεξεργασία).	76
Διάγραμμα 5. Συγκριτική διαχρονική εξέλιξη πληθυσμού της περιοχής μελέτης (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014. Ιδία επεξεργασία).	76
Διάγραμμα 6. Διαχρονική εξέλιξη συνολικής επιφάνειας νεοδημηθισών οικοδομών στο Δήμο Μεγαρέων για το χρονικό διάστημα 2000 – 2008 (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014. Ιδία επεξεργασία).	82
Διάγραμμα 7. Διαχρονική εξέλιξη αριθμού έκδοσης νέων οικοδομικών αδειών στο Δήμο Μεγαρέων για το χρονικό διάστημα 2000 – 2008 (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014. Ιδία επεξεργασία).	82
Διάγραμμα 8. Οπτική απεικόνιση σε μορφή «πίτας» των χρήσεων γης της περιοχής μελέτης έτους 2011 (Πηγή: Στοιχεία Τεχνικής Υπηρεσίας Δήμου Μεγαρέων).	84
Διάγραμμα 9. Μοντέλο ροής διαδικασιών μελέτης.	86
Διάγραμμα 10. Ιστόγραμμα όλων των φασματικών καναλιών που συνθέτουν την δορυφορική εικόνα Landsat του έτους 1993 της περιοχής μελέτης.	102
Διάγραμμα 11. Ιστόγραμμα ιδιοτιμών (Eigenvalues).	103
Διάγραμμα 12. Στατιστικά στοιχεία ISODATA ταξινομημένων εικόνων 1993,2001 και 2010.	108
Διάγραμμα 13. Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων/ κάλυψης γης του Corine Land Cover 2000 για το Δήμο Μεγαρέων.	118
Διάγραμμα 14. Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων γης του Δήμου Μεγαρέων για το έτος 1993, μετά την εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)	144
Διάγραμμα 15. Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων γης του Δήμου Μεγαρέων για το έτος 2001, μετά την εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood).	145
Διάγραμμα 16. Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων γης του Δήμου Μεγαρέων για το έτος 2010, μετά την εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood).	146
Διάγραμμα 17. Κάλυψη γης Δήμου Μεγαρέων ανά χρονικό σημείο αναφοράς μελέτης.	147

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΤΥΠΩΝ

Τύπος 1. Ευκλείδεια Απόσταση.....	41
Τύπος 2. Αλγόριθμος Mahalanobis.....	42
Τύπος 3. Αλγόριθμος Μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum likelihood classifier).....	43
Τύπος 4. Ολική ακρίβεια ταξινόμησης	50
Τύπος 5. Ακρίβεια Αναλυτή (Producer 's Accuracy measure of Omission).	50
Τύπος 6. Ακρίβεια Χρήστη (User's Accuracy measure of Commission).....	50

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1. Γεωγραφική θέση Δήμου Μεγαρέων (Ιδία επεξεργασία, Λογισμικό ArcGIS 10.1) ...	60
Χάρτης 2. Μορφολογία αναγλύφου περιοχής μελέτης.	62
Χάρτης 3. Χάρτης μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA Αύγουστος 1993. (Λογισμικό ENVI 5.2).	106
Χάρτης 4. Χάρτης μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA Αύγουστος 2001. (Λογισμικό ENVI 5.2).	107
Χάρτης 5. Χάρτης μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA Αύγουστος 2010. (Λογισμικό ENVI 5.2).	107
Χάρτης 6. Χάρτης αλλαγών κάλυψης γης (ISODATA) Μεγάρων 1993 – 2001. (Λογισμικό ENVI 5.2).	109
Χάρτης 7. Χάρτης αλλαγών κάλυψης γης (ISODATA) Μεγάρων 2001 – 2010. (Λογισμικό ENVI 5.2).	109
Χάρτης 8. Χάρτης αλλαγών κάλυψης γης (ISODATA) Μεγάρων 1993 – 2010. (Λογισμικό ENVI 5.2).	110
Χάρτης 9. Χάρτης Χρήσης/Κάλυψης γης CORINE 2000 Δήμου Μεγαρέων.	117
Χάρτης 10. Ψευδέγχρωμη εικόνα περιοχής μελέτης έτους 1993. Σύνθεση RGB 4,3,2.	124
Χάρτης 11. Ψευδέγχρωμη εικόνα περιοχής μελέτης έτους 1993. Σύνθεση RGB 7,4,2.	125
Χάρτης 12. Εικόνα True color περιοχής μελέτης έτους 1993. Σύνθεση RGB 3,2,1.	125
Χάρτης 13. Χάρτης επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας Μεγάρων 1993. (Λογισμικό ENVI 5.2).	136
Χάρτης 14. Χάρτης επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας Μεγάρων 2001. (Λογισμικό ENVI 5.2).	137
Χάρτης 15. Χάρτης επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας Μεγάρων 2010. (Λογισμικό ENVI 5.2).	138
Χάρτης 16. Θεματικός χάρτης αλλαγών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων 1993 – 2001. (Λογισμικό ArcGIS 10.1).	151
Χάρτης 17. Χάρτης εμφάνισης μεταβολών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων 1993 – 2010. (Λογισμικό ArcGIS 10.1).	152
Χάρτης 18. Θεματικός χάρτης αλλαγών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων 2001 – 2010. (Λογισμικό ArcGIS 10.1).	154
Χάρτης 19. Χάρτης εμφάνισης μεταβολών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων 2001– 2010. (Λογισμικό ArcGIS 10.1).	155

Χάρτης 20. Θεματικός χάρτης αλλαγών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων 2001 – 2010. (Λογισμικό ArcGIS 10.1).....	157
Χάρτης 21. Χάρτης εμφάνισης μεταβολών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων 2001– 2010. (Λογισμικό ArcGIS 10.1).....	158

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τις τελευταίες δεκαετίες η παρατήρηση της γης, από το διάστημα αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του περιβάλλοντος, την παρακολούθηση και τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών σε παγκόσμια κλίμακα, την ανίχνευση αλλαγών στη κάλυψη γης καθώς και τον σχεδιασμό και την υποστήριξη παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή.

Οι φυσικοί πόροι στο σύνολό τους υφίστανται σημαντική και έντονη πίεση από τον άνθρωπο τις τελευταίες δεκαετίες. Η πίεση αυτή έχει σαν συνέπεια την βαθμιαία υποβάθμιση των φυσικών οικοσυστημάτων που αντικατοπτρίζεται με επιπτώσεις στην ποιότητα ζωής του κοινωνικού συνόλου και στην κοινωνική συνοχή. Οι αλλαγές στη κάλυψη γης, αλλά και σε κάθε φυσικό πόρο που συμβαίνουν, επιτείνουν την ανάγκη για τη συγκέντρωση και ανάλυση όλου του όγκου των κατάλληλων πληροφοριών, ώστε σε συνδυασμό με τη χρήση των νέων τεχνολογιών να μπορέσουν οι φυσικοί πόροι να ανταπεξέλθουν στις ανθρώπινες ανάγκες και απαιτήσεις.

Σταθμός στην ιστορία της τηλεπισκόπησης αποτέλεσε η τοποθέτηση σε τροχιά του δορυφόρου Landsat-1 το 1972, γεγονός που σηματοδότησε ουσιαστικά το ξεκίνημα της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης. Δύο είναι τα σημαντικά επιτεύγματα των δορυφόρων αυτής της σειράς: το πρώτο αφορά τη διάθεση των πολυφασματικών εικόνων για τη μεγαλύτερη περιοχή της γήινης επιφάνειας, σε περιοχές του φάσματος πέραν της ορατής περιοχής και το δεύτερο είναι η διάθεση των πολυφασματικών δεδομένων σε ψηφιακή μορφή.

Η χρήση της τηλεπισκόπησης στην ανίχνευση και παρακολούθηση των αλλαγών των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης εκτάσεων με ιδιαίτερη σημασία για τη προστασία του περιβάλλοντος, εστιάζεται στις φασματικές και χωρικές ιδιότητες της βλάστησης και του περιβάλλοντος τοπίου. Οι αλλαγές που παρατηρούνται σε αυτά τα χαρακτηριστικά είναι διαχρονικά μετρήσιμες και υπάρχει η δυνατότητα να αποδώσουν μια κατανόηση της χρονικής δυναμικής των αλλαγών που συμβαίνουν. Για να μπορέσουν να μετρηθούν οι αλλαγές στη βλάστηση και στα άλλα εδαφικά στοιχεία κατά τη διάρκεια του χρόνου, θα πρέπει πρώτα να προσδιοριστούν οι σχετικές ομάδες ή τα είδη βλάστησης που παρατηρούνται (χρόνος αναφοράς) και τα οποία υφίστανται τις αλλαγές από ανθρωπογενείς ή μη αιτίες. Οι ερευνητές χαρτογράφησης και ελέγχου χρησιμοποιούν τις στατιστικές, υπολογιστικές και χαρτογραφικές μεθόδους για να ενσωματώσουν, να αναλύσουν και να αποδώσουν χαρτογραφικά τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης, καθώς και άλλα χωρικά στοιχεία.

Από περιβαλλοντικής πλευράς οι εξελισσόμενες τεχνολογίες της τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών μπορούν να συμβάλλουν στην:

- βελτίωση της περιβαλλοντικής γνώσης και διαχείρισης σε εθνικό, περιφερειακό αλλά και τοπικό επίπεδο.
- ικανότητα υποστήριξης περιβαλλοντικών μέτρων απόδοσης για τη διατήρηση και προστασία των προστατευόμενων περιοχών.

Οι διαχρονικές μελέτες αφορούν ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών των Γεωεπιστημών. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών αποτελούν η καταγραφή αλλαγών σε δασικές περιοχές, η παρακολούθηση των παράκτιων μεταβολών, η καταγραφή πλημμυρών, δασικών πυρκαγιών, αποψίλωσης κ.λ.π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έχει ως κύριο στόχο, αφενός, τη χαρτογράφηση των αλλαγών κάλυψης/χρήσης γης στο δήμο Μεγαρέων για το χρονικό διάστημα 1993 – 2010, και αφετέρου, τη δημιουργία ενός μοντέλου ροής διεργασιών, το οποίο να είναι εφαρμόσιμο και σε άλλες περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά με τη χρήση προηγμένων τεχνικών τηλεπισκόπησης. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε πιλοτικά ο δήμος Μεγαρέων (ο οποίος βρίσκεται στο δυτικότερο τμήμα της Αττικής) και τα βασικά λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι το ENVI 5.2 και το ArcGIS 10.1. Για τις ανάγκες της διατριβής αποκτήθηκαν τρεις δορυφορικές εικόνες Landsat (1993, 2001 & 2010), οι οποίες διορθώθηκαν ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά και κόπηκαν στα όρια της περιοχής μελέτης. Τα εξαγόμενα προϊόντα στη συνέχεια ταξινομήθηκαν με την μέθοδο ISODATA και ανιχνεύθηκαν οι αλλαγές κάλυψης γης μεταξύ των 3 εικόνων της μελέτης. Για την πιστοποίηση της ταξινόμησης, πραγματοποιήθηκαν εργασίες πεδίου κατά τις οποίες ελήφθησαν δεδομένα, καθορίστηκαν οι κλάσεις ταξινόμησης και εφαρμόστηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση με το ταξινομητή της Μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood). Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης για τα τρία έτη αναφοράς, αποδόθηκαν χαρτογραφικά με τη δημιουργία χαρτών κάλυψης γης. Η ακρίβεια της ταξινόμησης αξιολογήθηκε με τη δημιουργία πίνακα Confusion Matrix και έδωσε ικανοποιητικές τιμές ολικής ακρίβειας και στατιστικού δείκτη Kappa. Τελικά δημιουργήθηκαν έξι χάρτες αλλαγών κάλυψης γης (δύο για κάθε συνδυασμό δύο ετών αναφοράς) και από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι και στα τρία έτη αναφοράς το σύνολο των εκτάσεων της περιοχής μελέτης που διέπονται από τις διατάξεις της Δασικής Νομοθεσίας (Δάση Χαλεπίου πεύκης, Κεφαλληνιακής ελάτης και Δασικές εκτάσεις) ξεπερνά οριακά το 50% και εμφανίζει μια ελαφριά πτωτική τάση. Το τμήμα του ελατόδασους της Ελατιάς που βρίσκεται στα όρια του δήμου, εμφανίζει μια αυξητική τάση, ενώ σημαντική είναι και η αύξηση των αστικών εκτάσεων την περίοδο 2001 – 2010 λόγω κυρίως της κατασκευής του άξονα του Προαστιακού Σιδηρόδρομου το έτος 2004.

ABSTRACT

This thesis has as main objective, firstly, the mapping of land use/land cover changes in the municipality of Megara during the period 1993 - 2010, and secondly, the creation of a process flow model, using advanced remote sensing techniques, which will be applicable to other areas with similar characteristics. As a pilot study area the municipality of Megara (in the westernmost part of Attica) was chosen while the used software were ENVI 5.2 and ArcGIS 10.1. For the needs of this thesis, three Landsat satellite images (1993, 2001 & 2010) have acquired. They have radiometrically and atmospherically corrected and cut at the limits of the study area. Then, the exported products were classified, using the ISODATA method, and the land use/land cover changes between the three images were detected. In order to validate the classification in situ research was carried out in which data were obtained, while the classification classes were established. Then, a supervised classification method applied using the Maximum Likelihood. The results of the classification for the three reference years, were visualized as land use/land cover maps. The classification accuracy was evaluated by creating a Confusion Matrix which has satisfactory overall accuracy values and statistical index Kappa. Eventually, six land use/land cover changes maps were created and the results showed that at the three reference years the total area (of the study area) covered by the provisions of the Forestry Acts (Forests of Aleppo pine and fir and woodland) marginally exceeds 50% and shows a slight downward trend. The part of the Fir forest (Elatia Forest) which is located in the municipality boundaries, showing an upward trend, while important is the growth of urban areas in the period 2001 - 2010 mainly due to the construction of the Suburban Railway in 2004.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του τελευταίου εξαμήνου (Γ' εξαμήνου) φοίτησης μου στην κατεύθυνση "Γεωπληροφορική" του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΠΜΣ) "Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου", στο Τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου, έχει ως κύριο σκοπό να χαρτογραφήσει τις αλλαγές κάλυψης/χρήσης γης στο δήμο Μεγαρέων για το χρονικό διάστημα 1993 - 2010 και να δημιουργήσει ένα μοντέλο ροής διαδικασιών το οποίο να είναι εφαρμόσιμο και σε άλλες περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά με τη χρήση προηγμένων τεχνικών τηλεπισκόπησης.

Αφορμή για την εκπόνηση της εν λόγω μεταπτυχιακής εργασίας αποτέλεσε η ενεργή ενασχόληση του συγγραφέα για 6 περίπου έτη σε Δασικές Υπηρεσίες της Δυτικής Αττικής και το επιστημονικό του ενδιαφέρον για την εξέλιξη των δασικών οικοσυστημάτων της περιοχής του Δήμου Μεγαρέων, για το χρονικό διάστημα της εν λόγω μελέτης (1993 – 2010), κατά το οποίο δεν υπήρξαν σοβαρά και εκτεταμένα επεισόδια δασικών πυρκαγιών, αλλά ούτε και περιστατικά εκτεταμένων ανθρωπογενών επεμβάσεων στα εν λόγω δασικά οικοσυστήματα.

Το σώμα της μελέτης χωρίζεται σε 5 κεφάλαια:

Στο **πρώτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της μελέτης, όπου ορίζονται και αναλύονται θεμελιώδεις επιστημονικοί όροι, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην εν λόγω μελέτη, γίνεται μια παρουσίαση των συστημάτων δορυφορικής απεικόνισης με ιδιαίτερη αναφορά στους δορυφόρους Landsat και παρουσιάζονται οι αρχές επεξεργασίας και ερμηνείας της δορυφορικής εικόνας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η επισκόπηση βιβλιογραφίας, όπου παρατίθενται με χρονολογική σειρά, μελέτες και αποτελέσματα Ελλήνων και ξένων μελετητών, με θέμα τη ταξινόμηση και την ανίχνευση διαχρονικών αλλαγών κάλυψης/χρήσης γης. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται και σχετικά με τους Δασολόγους ερευνητές.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται μια πολυδιάστατη παρουσίαση της περιοχής μελέτης, όπου αναλύονται οι φυσικογεωγραφικοί, ανθρωπογεωγραφικοί και οικονομικοί παράγοντες της εν λόγω περιοχής.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε από την προμήθεια των αρχικών δορυφορικών εικόνων, μέχρι τη δημιουργία των τελικών χαρτών ταξινόμησης και παρουσίασης των αλλαγών κάλυψης/χρήσης γης και των στατιστικών που παρήχθησαν.

Στην **πέμπτο κεφάλαιο** τέλος καταγράφονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1. Ορισμός χρήσης και κάλυψης γης

Στο σημείο αυτό θα πρέπει για λόγους κατανόησης του στόχου της εργασίας να διευκρινιστεί η διάκριση μεταξύ ‘χρήσης γης’ και ‘κάλυψης γης’. Στην περίπτωση που η ταξινόμηση έχει γίνει αποκλειστικά με φασματική πληροφόρηση θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο όρος «κάλυψη γης». Ο όρος «κάλυψη εδάφους» είναι αυτός που πλησιάζει περισσότερο στη πραγματικότητα, κυρίως επειδή το σύνολο των δεδομένων προέρχεται από οπτικές/φασματικές ιδιότητες της γης και όχι από πληροφορίες σχετικές με το πώς πραγματικά οι άνθρωποι ‘χρησιμοποιούν’ την γη. Πάντως και οι δυο όροι είναι αποδεκτοί και χρησιμοποιούνται με την ίδια σημασία σε αρκετές μελέτες.

Ο όρος **χρήση γης (land use)** αναφέρεται με πιο εξειδικευμένη έννοια, στον τρόπο χρήσης της γης από τον άνθρωπο, συνήθως με έμφαση στο λειτουργικό ρόλο της γης που είναι οι οικονομικές δραστηριότητες (Campbell, 2002). Πρόκειται για μια αφηρημένη έννοια η οποία δεν είναι πάντοτε άμεσα παρατηρήσιμη, ακόμη και από κοντινή παρατήρηση. Συνήθως, δεν είναι εφικτή η παρατήρηση της πραγματικής χρήσης ενός τμήματος της γης, παρά μόνο οι επιδράσεις της χρήσης αυτής στα φυσικά χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι επιδράσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων είναι φανερές, και μπορούν άμεσα να συσχετιστούν με συγκεκριμένες οικονομικές δραστηριότητες και κατηγορίες χρήσης γης, όπως π.χ. μια βιομηχανική περιοχή. Αντιθέτως, μια δασική έκταση μπορεί να δίνει ελάχιστες ή καθόλου ενδείξεις των διαφόρων χρήσεων της, όπως παραγωγή ξυλείας, τόπος αναψυχής, φυσική κατοικία άγριων ζώων, κ.α. Τέλος, μερικές περιοχές χαρακτηρίζονται από εποχιακές μεταβολές στη χρήση γης. Για παράδειγμα, ένας αγρός μπορεί να καλλιεργείται σε μια περίοδο του έτους και να χρησιμοποιείται ως βοσκότοπος σε μια άλλη.

Η **κάλυψη γης (land cover)**, με την ευρεία έννοια, αφορά την κατηγοριοποίηση των διάφορων φυσικών και ανθρωπογενών στοιχείων του εδάφους με βάση τις ορατές αποδείξεις των χρήσεων γης. Το πυκνό δάσος, η οργωμένη γη, οι καλλιέργειες, το αστικό πλέγμα κ.α. αποτελούν κατηγορίες κάλυψης γης. Υπό την στενότερή της έννοιας η κάλυψη γης σχετίζεται με την κατηγοριοποίηση της βλάστησης, φυσικής ή ανθρωπογενούς, στην επιφάνεια του εδάφους σε μια χρονική στιγμή.

Οι σημαντικότερες **διαφορές μεταξύ των δύο όρων** έγκεινται στη παρατήρηση ότι ενώ η χρήση γης αποτελεί αφηρημένη έννοια, η κάλυψη γης είναι μια έννοια με συγκεκριμένα και παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά και συνεπώς αποτελεί αντικείμενο άμεσης παρατήρησης. Επίσης κατά τη κατηγοριοποίηση σε τάξεις κάλυψης γης, ο ρόλος των οικονομικών δραστηριοτήτων δεν αποτελεί βασικό κριτήριο, αντίθετα από τη χρήση γης. Συνήθως η διάκριση

μεταξύ κάλυψης και χρήσης γης αποκτά βαρύτερη σημασία, όσο η χωρική κλίμακα της εφαρμογής και η χωρική διακριτική ικανότητα των δορυφορικών δεδομένων μεγαλώνουν. (Καρτάλης κ.α., 2006)

1.2. Ορισμός δάσους και δασικών εκτάσεων.

Η έννοια του ορισμού του δάσους είναι πρωταρχικής σημασίας όχι μόνο για την επιστημονική χαρτογράφηση των δασικών πόρων για λόγους απογραφής, μελέτης και διαχείρισης των δασών, αλλά και για την επίσημη καταγραφή του πώς εννοεί η Πολιτεία, με βάση πάντα τον ορισμό που θέτει ο νομοθέτης, το δάσος και τη δασική έκταση. Από το 1979 με το δασικό νόμο 998/1979 (περί προστασίας των δασών και των δασικών εν γένει εκτάσεων της χώρας ΦΕΚ289Α/79 και μετέπειτα με τον επόμενο Δασικό νόμο 3208 του 2003, γινόταν χρήση των ορισμών του άρθρου 3 του ν. 998/79, σύμφωνα με τον οποίο:

1. Ως **δάσος** ή δασικό οικοσύστημα νοείται το οργανικό σύνολο άγριων φυτών με ξυλώδη κορμό πάνω στην αναγκαία επιφάνεια του εδάφους, τα οποία, μαζί με την εκεί συνυπάρχουσα χλωρίδα και πανίδα, αποτελούν μέσω της αμοιβαίας αλληλεξάρτησης και αλληλοεπίδρασής τους, ιδιαίτερη βιοκοινότητα (Δασοβιοκοινότητα) και ιδιαίτερο φυσικό περιβάλλον (δασογενές)
2. **Δασική έκταση** υπάρχει όταν στο παραπάνω σύνολο η άγρια ξυλώδης βλάστηση, υψηλή ή θαμνώδης, είναι αραιά

Η κατά τις παραγράφους 1 και 2 δασοβιοκοινότητα υφίσταται και το δασογενές περιβάλλον δημιουργείται σε μια έκταση όταν:

I. Φύονται στην εν λόγω έκταση άγρια ξυλώδη φυτά, δυνάμενα με δασική εκμετάλλευση να παράγουν δασικά προϊόντα (δασοπονικά είδη).

II. Το εμβαδόν της εν λόγω έκτασης στην οποία φύονται εν όλω ή σποραδικά τα ως άνω δασικά είδη είναι κατ' ελάχιστον 0,3 εκτάρια, με γεωμετρική μορφή κατά το δυνατόν αποστρογγυλωμένη ή σε λωρίδα πλάτους τουλάχιστον τριάντα (30) μέτρων. Η δασοβιοκοινότητα υφίσταται και το δασογενές περιβάλλον δημιουργείται και σε εκτάσεις με μικρότερο εμβαδόν από 0,3 εκτάρια, όταν λόγω της θέσης τους βρίσκονται σε σχέση αλληλεξάρτησης και αλληλεπίδρασης με άλλες γειτονικές εκτάσεις που συνιστούν δάσος ή δασική έκταση.

III. Οι κόμεις των δασικών ειδών σε κατακόρυφη προβολή καλύπτουν τουλάχιστον το είκοσι πέντε τοις εκατό (συγκόμωση 0,25) της έκτασης του εδάφους.

Ως δάση και δασικές εκτάσεις νοούνται και οι οποιασδήποτε φύσεως ασκεπείς εκτάσεις (φρυγανώδεις ή χορτολιβαδικές εκτάσεις, βραχώδεις εξάρσεις και γενικά ακάλυπτοι χώροι) που περικλείονται, αντιστοίχως, από δάση και δασικές εκτάσεις, καθώς και οι υπεράνω των δασών ή δασικών εκτάσεων ασκεπείς κορυφές ή αλπικές ζώνες των ορέων και οι άβατοι κλιτύες αυτών. Οι εκτάσεις της παραγράφου 6 του παρόντος άρθρου δεν υπάγονται στις διατάξεις της παρούσας παραγράφου, έστω και αν περικλείονται από δάση ή δασικές εκτάσεις.

Στις διατάξεις του παρόντος νόμου υπάγονται και τα εντός των πόλεων και των οικιστικών περιοχών πάρκα και άλση, το περιαστικό πράσινο, οι κηρυγμένες δασωτές ή αναδασωτές εκτάσεις.

Στις διατάξεις της δασικής νομοθεσίας υπάγονται και τμήματα πάρκου ή άλσους, τα οποία φέρουν μη δασική βλάστηση συνδέονται όμως οργανικά με το σύνολο του πάρκου ή άλσους υπό την έννοια ότι συμβάλλουν στη διατήρηση της φυσικής ισορροπίας του συνόλου.

Αργότερα οι παράγραφοι 1 και 2 του άρθρου 3 του Ν. 998/79 τροποποιήθηκαν με αποτέλεσμα τη μείωση της ελάχιστης εδαφικής επιφάνειας, για το χαρακτηρισμό μιας έκτασης ως δάσος ή δασική έκταση, η οποία ορίσθηκε στα 700 τετραγωνικά μέτρα, ενώ και ο βαθμός συγκόμωσης πρέπει να υπερβαίνει το 25% για να χαρακτηριστεί ως Δάσος. Αντίστοιχα στις δασικές εκτάσεις ο βαθμός συγκόμωσης κυμαίνεται από 15% έως 25%, ενώ οι εκτάσεις με ποσοστό συγκόμωσης κάτω από 15% χαρακτηρίζονται ως χορτολιβαδικές.

Τέλος με τη 32/2013 απόφαση του Σ.τ.Ε. τα κριτήρια της αναγκαίας εδαφικής έκτασης και του βαθμού συγκόμωσης αποκλείστηκαν από το χαρακτηρισμό μιάς έκτασης ως δάσος ή δασική έκταση.

Από τα ανωτέρω γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι μετά από κάθε θέσπιση νέας νομοθεσίας ή αποφάσεις Δικαστικών οργάνων, αλλάζουν οι εκτάσεις που χαρακτηρίζονται ως δάση ή δασικές εκτάσεις, με αποτέλεσμα να διαφοροποιούνται και οι δασικοί χάρτες. Το ίδιο βέβαια ισχύει και σε διεθνές επίπεδο, όπου οι ορισμοί του δάσους και της δασικής έκτασης διαφέρουν, ώστε να αλλάζει το δασικό τοπίο στις χαρτογραφήσεις.

Στη παρούσα μελέτη, για το καθορισμό των κλάσεων ταξινόμησης, ελήφθη υπ' όψιν η τελευταία αναθεώρηση της νομοθεσίας για το χαρακτηρισμό των δασών (Fir Forests και Pine Forests), των δασικών εκτάσεων (Brush lands) και των χορτολιβαδικών εκτάσεων (Meadows), ενώ διαχωρίστηκε για λόγους οικολογίας και δασοπονικής σημασίας και η κλάση της κεφαλληνιακής ελάτης σε μίξη με μαύρη πεύκη, στο Δάσος Ελατιάς στα Γεράνεια Όρη.

1.3. Τηλεπισκόπηση και δορυφορικά δεδομένα.

Με τις δύο μεγάλες επαναστάσεις που έγιναν στο χώρο της φωτογραμμετρίας και φωτοερμηνείας τη δεκαετία του '70, δηλαδή με τη μεγάλη εξέλιξη των δορυφορικών συστημάτων και την προχωρημένη τεχνολογία απεικόνισης και ηλεκτρονικών υπολογιστών, αναπτύχθηκε η επιστήμη της τηλεπισκόπησης.

Η τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη της οποίας το αντικείμενο είναι η μέτρηση των γεωμετρικών και θεματικών ιδιοτήτων των αντικειμένων του γήινου περιβάλλοντος χωρίς τη φυσική επαφή με τα αντικείμενα. Αυτό επιτυγχάνεται με την απεικόνιση, η οποία ως μέσο για τη μεταβίβαση της πληροφορίας από το αντικείμενο στο σύστημα απεικόνισης, το οποίο μπορεί να είναι πάνω ή σε αεροπλάνο ή σε δορυφόρο, είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι εικόνες μεταφέρουν πληροφορίες για τη θέση (συντεταγμένες) και το μέγεθος μέσω των διαστάσεων και του όγκου των αντικειμένων καθώς και τις εσωτερικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων. (Τσακίρη-Στρατή Μ. 2010)

Με τη χρήση της τηλεπισκόπησης επιτυγχάνεται η χαρτογράφηση, η διερεύνηση και η τελική καταγραφή των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης. Η τηλεπισκόπηση δεν αντικαθιστά πλήρως τις παρατηρήσεις υπαίθρου. Όμως η συλλογή δεδομένων στην ύπαιθρο απαιτεί πολύ χρόνο και μεγάλο κόστος, ενώ τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης μπορεί να καταγράφουν δεδομένα σε πολύ μικρό σχετικά χρόνο και κόστος. Ο χρήστης μπορεί με την βοήθεια των δεδομένων παρακολούθησης της γης να αποκτήσει μία ολοκληρωμένη και γρήγορη εικόνα της ευρύτερης περιοχής που μελετά, σε σχέση με αυτή που μπορεί να έχει στην ύπαιθρο, μειώνοντας έτσι σημαντικά το χρόνο και το κόστος που απαιτείται κατά τις εργασίες υπαίθρου. Επίσης, τα δεδομένα τηλεπισκόπησης μπορούν να δώσουν πληροφόρηση για δύσβατες περιοχές, οι οποίες δύσκολα μπορούν να προσεγγιστούν. (Μίγκιρος κ.α., 2003).

Τα πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης έναντι των άλλων μεθόδων συλλογής δεδομένων και, κυρίως, αυτών που χρησιμοποιούν μόνο εργασία υπαίθρου, είναι σύμφωνα με τον Townshend (1981) τα παρακάτω:

- Η ικανότητα χωρικής αντίληψης (spatial comprehensiveness) των δεδομένων των δορυφορικών εικόνων, σε σχέση με αυτά τα οποία συλλέγονται με εργασία υπαίθρου. Αποτέλεσμα της ικανότητας αυτής είναι να βελτιώνεται η ευκολία προσέγγισης (accessibility), ιδιαίτερα σε περιοχές οι οποίες είναι μεγάλες ή δύσκολες στην προσέγγισή τους.

- Η κάλυψη διαφόρων περιοχών είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί χρονικά γρήγορα και, κατά συνέπεια, γίνεται δυνατή η σύγκριση μεταξύ ίδιων δεδομένων από διάφορες περιοχές (comparability of data).
- Η συνοπτική απεικόνιση (synoptic view) μεγάλων περιοχών σε μία δορυφορική εικόνα καθιστά δυνατή την ταυτοποίηση ευρείας κλίμακας διαφοροποιήσεων των βιοφυσικών στοιχείων της περιοχής.
- Η δυνατότητα διαχρονικών λήψεων (multidate images) από τους δορυφόρους δίνει την ευκαιρία να μελετηθούν δυναμικά φαινόμενα. να γίνουν διαχρονικές συγκρίσεις και να καταγράφονται στοιχεία ή φαινόμενα σε συνεχή βάση (monitoring).
- Η λήψη των εικόνων, σε πολλές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (πολυφασματικές λήψεις), δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ανιχνεύσει διαφορές μεταξύ βιοφυσικών στοιχείων της επιφάνειας, οι οποίες δεν είναι δυνατό να γίνουν αντιληπτές με την ανάλυση μιας μόνο φασματικής ζώνης.

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην παρακολούθηση του γεωργικού και φυσικού περιβάλλοντος. Σε καμία όμως περίπτωση δεν πρέπει να υποτιμηθούν οι κλασσικές μέθοδοι συλλογής δεδομένων, δηλαδή αυτές που έχουν ως βασικό συστατικό την εργασία υπαίθρου. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η εργασία υπαίθρου είναι απαραίτητη, όπως στην περίπτωση συλλογής - δεδομένων ή δειγματοληψιών εδάφους και πετρωμάτων για περαιτέρω εργαστηριακή και μορφολογική μελέτη. Σε άλλες περιπτώσεις, όπως στην περίπτωση μελέτης της χρήσης/κάλυψης γης ή στη μέτρηση των εκτάσεων των γεωργικών καλλιεργειών ή καμένων περιοχών, η Τηλεπισκόπηση υπερέρχει.

Η τηλεπισκόπηση με τις πολλαπλές δυνατότητες που παρέχει είναι ίσως η πιο χρήσιμη τεχνική για την παρακολούθηση της γης και σε συνδυασμό με τα G.I.S., είναι ένα πολύ καλό εργαλείο λήψης αποφάσεων. Η ανάπτυξη του επιστημονικού πεδίου της τηλεπισκόπησης που γίνεται τα τελευταία χρόνια, οφείλεται κυρίως σε τρεις περιοχές ανάπτυξης (Slonecker et al., 1998): Τη διαθεσιμότητα των υψηλής φασματικής ευκρίνειας και χωρικής διακριτικής ικανότητας δεδομένων, την εξάλειψη των περιορισμών στη χρήση και έλεγχο των δεδομένων αυτών και τη συνεχή ανάπτυξη και απλοποίηση των διαδικτυακών εφαρμογών με τις οποίες επιτρέπεται η γρήγορη διανομή και ανταλλαγή δεδομένων παγκοσμίως. Για το λόγο αυτό οι εφαρμογές της τεχνολογίας της τηλεπισκόπησης θα επεκτείνονται μελλοντικά ολοένα και σε περισσότερα επιστημονικά πεδία.

1.4. Δορυφορικά συστήματα απεικόνισης (Earth Observation Systems).

Δύο είναι τα βασικά δορυφορικά συστήματα παρακολούθησης και απεικόνισης της Γης:

1. Τα συστήματα τηλεπισκόπησης που καταγράφουν την «φυσική» ακτινοβολία και ονομάζονται **παθητικά**. Για την ανακλώμενη ενέργεια αυτό συμβαίνει κατά την διάρκεια της ημέρας όταν ο ήλιος φωτίζει τμήματα της Γης, ενώ δεν υπάρχει ανακλώμενη ενέργεια την νύχτα. Η με φυσικό τρόπο εκπεμπόμενη ενέργεια (θερμικό υπέρυθρο) μπορεί να καταγραφεί ημέρα ή νύχτα και εφόσον το ποσό της ενέργειας είναι τέτοιο ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή. Τα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούν το τμήμα του φάσματος από πολύ μικρά μήκη κύματος (μικρότερα του 0.4 μm) έως την περιοχή του μήκους κύματος 1000 μm .
2. Τα **ενεργά** συστήματα είναι εκείνα που καταγράφουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από άλλη εξωτερική πηγή ή από το ίδιο το όργανο καταγραφής. Συνήθως το σύστημα καταγραφής είναι αυτό που εκπέμπει και την ενέργεια προς την επιφάνεια και στην συνέχεια ανακλάται επιστρέφει και καταγράφεται η «ηχώ» του σήματος από το ίδιο το σύστημα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου τύπου οργάνου είναι τα Radars που εκπέμπουν στην περιοχή των μικροκυμάτων.

1.5. Δορυφόροι Landsat.

Η αρχική ονομασία του Δορυφορικού Τηλεπισκοπικού Προγράμματος LANDSAT ήταν ERTS (Earth Resources Technology Satellites) της NASA.

Ο πρώτος δορυφόρος ERTS πήρε το όνομα LANDSAT-1 και μέχρι σήμερα εκτοξεύθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος 7 δορυφόροι.

Οι τηλεπισκοπικοί δέκτες των δορυφόρων LANDSAT 1 - 7 είναι :

- Return Beam Vidicon (RBV), LANDSAT 1,2 & 3
- Multi Spectral Scanner (MSS), LANDSAT 1,2,3,4 & 5
- Thematic Mapper (TM), LANDSAT 4,5
- Enhanced Thematic Mapper (ETM) LANDSAT 6,7

Παρακάτω περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά της σειράς των δορυφόρων LANDSAT:

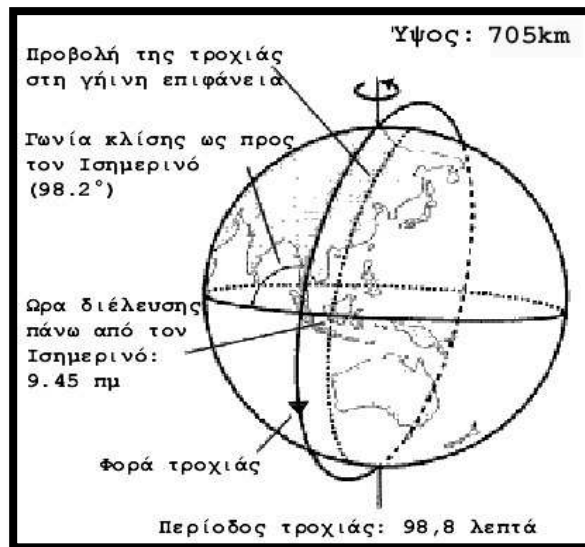
Δορυφόροι	Ημερομηνία Εκτόξευσης	Τέλος αποστολής	Ύψος πτήσης (Km)	Γωνία (°)	Κύκλος τροχιάς (Ημέρες)	Τηλεπισκοπικοί δέκτες
Landsat 1	23/7/1972	6/1/1978	907	99,2	18	RBV, MSS
Landsat 2	22/1/1975	5/6/1982	908	99,2	18	RBV,MSS
Landsat 3	5/3/1978	7/1/1982	915	99,2	18	RBV,MSS
Landsat 4	16/7/1982	1993	705	98,2	16	MSS, TM
Landsat 5	1/3/1984	Σήμερα	705	98,2	16	MSS, TM
Landsat 6	5/10/1993	Απέτυχε	-	-	-	-
Landsat 7	15/4/1999	Σήμερα	705	98,2	16	ETM+

Πίνακας 1 Βασικά χαρακτηριστικά δορυφόρων Landsat. (Πηγή: Καρτάλης Κ., κ.α., 2006)

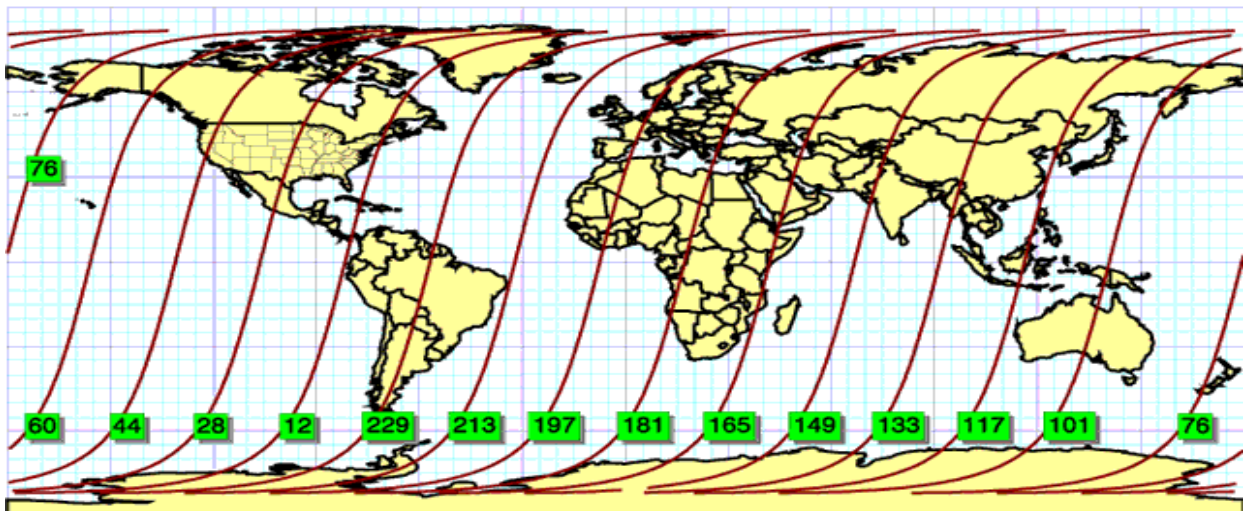
Οι δορυφόροι **LANDSAT-1, 2 και 3** είχαν παρόμοια χαρακτηριστικά στη λειτουργία τους και ονομάζονταν δορυφόροι πρώτης γενιάς και τέθηκαν σε τροχιά 900km. Περιστρέφονταν γύρω από τη Γη σε χρόνο 103 πρώτα λεπτά, δηλαδή εκτελούσαν 14 περιστροφές την ημέρα. Η τροχιά τους ήταν σχεδόν πολική και έτεμνε τον Ισημερινό υπό γωνία 99°, η οποία και τους καθιστούσε σχεδόν πολικούς. Ταυτόχρονα ήταν και ηλιοσύγχρονη (sun- synchronous), πράγμα που σήμαινε ότι η ταχύτητα περιστροφής του δορυφόρου γινόταν με την ίδια γωνιακή ταχύτητα με αυτή της Γης γύρω από τον ήλιο.

Οι δορυφόροι **LANDSAT-4 και LANDSAT-5** αποτελούν τους δορυφόρους δεύτερης γενιάς. Το ύψος τροχιάς τους μειώθηκε από τα 900 στα 705 km. Αυτή η μείωση του ύψους έγινε βασικά για να είναι δυνατόν να επιδιορθώνονται από τα διαστημικά λεωφορεία και να βελτιωθεί η χωρική διακριτική ικανότητα (IFOV). Η τροχιά τους παραμένει κυκλική, ηλιοσύγχρονη και σχεδόν πολική. Οι δορυφόροι αυτοί περνούν από τον Ισημερινό στις 9:45 π.μ. τοπική ώρα. Κάθε πλήρης τροχιά διαρκεί 99min περίπου, δηλαδή πραγματοποιούν 14,5 περιστροφές γύρω από τη Γη την ημέρα και επαναλαμβάνουν την σάρωση του ίδιου σημείου κάθε 16 ημέρες.

Στους δορυφόρους **LANDSAT 6 και 7** τοποθετήθηκε μόνο ένας πολυφασματικός δέκτης, ο Θεματικός Χαρτογράφος με την προσθήκη ωστόσο ενός παγχρωματικού καναλιού (0,5–0,90μm), με χωρική διακριτική ικανότητα 15m. Η έκδοση αυτή του Thematic Mapper ονομάστηκε Enhanced Thematic Mapper στον LANDSAT 6 και Enhanced Thematic Mapper Plus στον LANDSAT 7. Στον τελευταίο η Χωρική Διακριτική Ικανότητα του θερμικού καναλιού βελτιώθηκε και από τα 120 έφθασε στα 60 μέτρα. Μία σημαντική λειτουργία των δύο αυτών δεκτών είναι η από το έδαφος ρύθμιση της ευαισθησίας (gain) τους, ανάλογα με την φωτεινότητα της υπό απεικόνιση περιοχής. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγάλη βελτίωση της ποιότητας των απεικονίσεων.



Εικόνα 1. Παράμετροι τροχιάς των Landsat 4 και 5. (Πηγή: Τσακίρη – Στρατή Μ., 2010)..



Εικόνα 2. . Σχηματική παράσταση της τροχιάς του δορυφόρου Landsat. (Πηγή: Καρτάλης Κ. κ.α., 2006).

Ο δορυφόρος **Landsat 8** εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013, ο οποίος αναπτύχθηκε από τη NASA σε συνεργασία με την γεωλογική υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS). Η NASA ανέλαβε το σχεδιασμό, την κατασκευή, την εκτόξευση και τα εν τροχιά στάδια βαθμονόμησης του δορυφόρου, περίοδο κατά την οποία ο δορυφόρος ονομαζόταν Landsat Data Continuity Mission (LDCM). Στις 30 Μαΐου του 2013 το USGS ανέλαβε τις διαδικασίες λειτουργίας του δορυφόρου και πλέον, οι διαδικασίες βαθμονόμησης, ο δορυφορικός χειρισμός, η παραγωγή και

η αποθήκευση δεδομένων στο κέντρο Earth Resources Observation and Science (EROS) είναι αντικείμενο εργασίας του USGS. Μετά από τη μετάβαση αυτή ο δορυφόρος μετονομάστηκε σε Landsat 8.

Ο Landsat 8 μεταφέρει δύο όργανα καταγραφής: i) το Operational Land Imager(OLI) και ii) το Thermal Infrared Sensor (TIRS). Αυτοί οι δύο αισθητήρες παρέχουν εποχιακή κάλυψη της παγκόσμιας ξηράς σε χωρική ανάλυση 30 μέτρων για τα κανάλια που βρίσκονται στο ορατό, κοντινό υπέρυθρο και μικροκυματικό υπέρυθρο, 100 μέτρων για τα θερμικά κανάλια και 15 μέτρων για το παγχρωματικό κανάλι. Ο αισθητήρας OLI συλλέγει δεδομένα στο ορατό κοντινό υπέρυθρο, μικροκυματικό υπέρυθρο καθώς και στο παγχρωματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τέλος, ο αισθητήρας OLI παρέχει δύο νέες φασματικές ζώνες, μία προσαρμοσμένη ειδικά για την ανίχνευση νεφών (κανάλι 9) και μία για παρατηρήσεις της παράκτιας ζώνης (κανάλι 1). Όσον αφορά τον αισθητήρα TIRS συλλέγει δεδομένα σε 2 φασματικά κανάλια στο τμήμα του θερμικού υπέρυθρου, σε αντίθεση με τους προηγούμενους δορυφόρους του προγράμματος Landsat στους οποίους υπήρχε μόνο 1 φασματικό κανάλι στο συγκεκριμένο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Ο θεματικός χαρτογράφος TM (Thematic Mapper) αποτελεί έναν πολυφασματικό γραμμικό σαρωτή σαν τον MSS, αλλά με σημαντικές βελτιώσεις. Οι αισθητήρες του TM καταγράφουν ακτινοβολία σε επτά κανάλια, γεγονός που του προσδίδει καλύτερη φασματική διακριτική ικανότητα. Τα κανάλια 1, 2 και 3 είναι στο ορατό τμήμα του φάσματος ενώ τα κανάλια 4, 5 και 7 είναι στο ανακλώμενο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Η προσθήκη του καναλιού 1 (μπλε) σε σχέση με το MSS, βοηθάει στη δημιουργία αληθών έγχρωμων εικόνων. Το κανάλι 6 είναι στο θερμικό τμήμα του φάσματος και χρησιμοποιείται για θερμική χαρτογράφηση. Τα κανάλια αυτά καταγράφουν την 'πληροφορία' με ανάλυση 30 m εκτός από το κανάλι 6 που έχει ανάλυση 120 m. Ο TM χρησιμοποιεί 16 ανιχνευτές για κάθε κανάλι για την καταγραφή των δεδομένων, εκτός του θερμικού καναλιού που έχει 4 ανιχνευτές (σύνολο 100 ανιχνευτές), σε αντίθεση με το MSS που χρησιμοποιεί 6 ανιχνευτές ανά κανάλι (σύνολο 24 ανιχνευτές). Ένα άλλο βελτιωμένο χαρακτηριστικό του TM είναι η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα, καθώς η εικόνα του TM είναι 8-bits (0-255), η οποία αντιστοιχεί σε τετραπλάσια αύξηση της τιμής της κλίμακας του γκρι σε σχέση με τους 64 τόνους που αποδιδόταν οι εικόνες του MSS. Τέλος, βελτιώθηκε και η γεωμετρία λήψης με αποτέλεσμα να απαιτούνται λιγότερες γεωμετρικές διορθώσεις στα δεδομένα του TM, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης των δεδομένων του σε μεγαλύτερες χωρικές κλίμακες. (Καρτάλης K. et al. 2006).

Δορυφόρος Landsat		
Θεματικός Χαρτογράφος (TM)		
Φασματική Ανάλυση	Κανάλια	Ραδιομετρική Ευαισθησία
	TM1	0,8
	TM2	0,5
	TM3	0,5
	TM4	0,5
	TM5	1,0
	TM6	0,5
	TM7	2,4
Στιγμιαίο πεδίο λήψης (Ground Instantaneous Field -Of -View)	30 μέτρα (Bands 1-5 & 7) (Band 6)	120 μέτρα
Ραδιομετρική Ανάλυση		256 (8 bit)
Μέγεθος δεδομένων (Data Rate)		85 Megabits
Κατανάλωση Ισχύος		345 Watts
Βάρος		246 Kgr

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά του δορυφόρου Landsat TM (Πηγή: Μίγκιρος Γ. κ.α., 2003).

Φασματικά Κανάλια	ΕΦΑΡΜΟΓΗ
1	Χαρτογράφηση παράκτιων υδάτων: διαφοροποίηση εδαφών και βλάστησης. Διαχωρισμός κωνοφόρων και φυλλοβόλων ειδών.
2	Μέτρηση των μεγίστων ανακλάσεων του ορατού πρασίνου για εκτίμηση της ευρωστίας της βλάστησης.
3	Προσδιορισμός των φυτικών ειδών μέσω της μέτρησης της απορρόφησης της χλωροφύλλης.
4	Περιγραφή των υδάτινων μαζών: προσδιορισμός της περιεχόμενης βιομάζας.
5	Μέτρηση βλάστησης και εδαφικής υγρασίας. Διαφοροποίηση νεφών και χιονιού.
6	Θερμικές εικόνες και χαρτογράφηση: ανάλυση θερμικού στρες των φυτών. Προσδιορισμός εδαφικής υγρασίας. Αποτύπωση της θερμικής συμπεριφοράς των διαφόρων χρήσεων γης.
7	Προσδιορισμός της λιθολογίας, καταγραφή της υδροθερμικής εξαλλοίωσης

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικές εφαρμογές των φασματικών καναλιών του Landsat TM. (Πηγή: Μίγκιρος Γ. κ.α., 2003).

Φασματική ζώνη 1 : 0.45 - 0.52 μm (blue):

Επιτρέπει την διεύθυνση στις υδάτινες μάζες και συνεισφέρει σημαντικά στη ανάλυση της χρήσης γης, εδαφών και χαρακτηριστικών βλάστησης. Το κατώτερο όριο μήκους κύματος συμπίπτει με την μέγιστη μετάδοση των καθαρών υδάτινων μαζών, ενώ το ανώτερο όριο συμπίπτει με το όριο του μπλε που απορροφάται από τη χλωροφύλλη. Τα μήκη κύματος κάτω από το 0,45 επηρεάζονται από την απορρόφηση και τη σκέδαση.

Φασματική ζώνη 2 : 0.52 - 0.60 μm (green):

Η φασματική ζώνη αυτή συνδέει την περιοχή μεταξύ των φασματικών ζωνών μπλε και κόκκινου, που απορροφούνται από τη χλωροφύλλη και αντιστοιχεί στο ανακλώμενο πράσινο της υγιούς βλάστησης. Οι φασματικές ζώνες 1 και 2 έχουν την ίδια φασματική ευαισθησία με το απλό φιλμ που χρησιμοποιείται για τις αεροφωτογραφίες.

Φασματική ζώνη 3 : 0.63 - 0.69 μm (red):

Πρόκειται για την ερυθρή ζώνη απορρόφησης από τη χλωροφύλλη, στην περίπτωση υγιούς βλάστησης και αποτελεί την σημαντικότερη φασματική ζώνη για την διάκρισή της. Επίσης βοηθάει για την οριοθέτηση των εδαφών και των γεωλογικών σχηματισμών.

Φασματική ζώνη 4 : 0.76 - 0.90 μm (reflected-infrared):

Η φασματική ζώνη αυτή έχει πολύ καλή απόκριση για το σύνολο της βιομάζας που υπάρχει σε μία εικόνα. Επίσης βοηθάει στην αναγνώριση των καλλιεργειών και στην μεγιστοποίηση της αντίθεσης έδαφος-καλλιέργεια και έδαφος-υδάτινες μάζες.

Φασματική ζώνη 5 : 1.55 - 1.75 μm (mid-infrared):

Η φασματική ζώνη αυτή είναι ευαίσθητη στο ποσό του νερού που υπάρχει στα φυτά. Η πληροφορία αυτή είναι χρήσιμη στις έρευνες για την ξηρασία στα φυτά και την υγιή βλάστηση. Επιπλέον η φασματική αυτή ζώνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση μεταξύ χιονιού, σύννεφων και πάγου.

Φασματική ζώνη 6 : 10.4 - 12.4 μm (thermal-infrared):

Η φασματική αυτή ζώνη μετράει το ποσό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τις διάφορες επιφάνειες. Είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό περιοχών με γεωθερμική δραστηριότητα, στις γεωλογικές έρευνες, στην ταξινόμηση της βλάστησης και στη μελέτη της εδαφικής υγρασίας.

Φασματική ζώνη 7 : 2.08 - 2.35 μm (mid-infrared):

Πρόκειται για μία φασματική ζώνη που βοηθάει στη διάκριση των γεωλογικών σχηματισμών και στον εντοπισμό ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης στα ηφαιστειακά πετρώματα.

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά και εφαρμογές των φασματικών καναλιών του Θεματικού Χαρτογράφου TM. (Μίγκιρος Γ. κ.α., 2003).

1.6. Αρχές επεξεργασίας και ερμηνείας εικόνας.

Ο όρος επεξεργασία εικόνας (Image processing) περιλαμβάνει όλες τις μεθόδους που αποσκοπούν στην λήψη πληροφοριών οι οποίες περιέχονται σε μια ψηφιακή εικόνα αλλά δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν δια γυμνού οφθαλμού. Η ψηφιακή εικόνα μπορεί να καταγραφεί με οποιοδήποτε μέσο και τρόπο αλλά το παρόν κεφάλαιο περιορίζεται στην επεξεργασία εικόνων που ελήφθησαν με την μέθοδο της δορυφορικής τηλεπισκόπησης (satellite remote sensing).

Τα βασικά τμήματα επεξεργασίας μιας εικόνας είναι (Avery & Berlin 1992, Richards 1993, Campbell 1996):

- α) Αποκατάσταση ή προεπεξεργασία (preprocessing) της εικόνας.
- β) Βελτίωση της παρουσίας της εικόνας (Image Enhancement)
- γ) Ταξινόμηση της εικόνας (Image Classification).

1.6.1. Αποκατάσταση ή προεπεξεργασία (preprocessing) της εικόνας

Η αποκατάσταση της εικόνας ή διόρθωση, αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στάδια της ψηφιακής επεξεργασίας, γιατί τα επόμενα στάδια, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε αυτήν.

Μια σειρά υπολογιστικών αλγόριθμων έχουν δημιουργηθεί για να διορθώνουν λάθη και παραμορφώσεις στις εικόνες.

Τα σημαντικότερα λάθη που καλούμαστε να διορθώσουμε στην αποκατάσταση της εικόνας είναι:

- Οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις.
- Οι γεωμετρικές παραμορφώσεις.

1.6.1.1. Ατμοσφαιρικές διορθώσεις

Η ένταση του ηλεκτρομαγνητικού σήματος που λαμβάνει ένας δορυφορικός δέκτης εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες (Mather, 1999):

- Την ανάκλαση από τον στόχο
- Την κλίση και τον προσανατολισμό της επιφάνειας σε σχέση με το ηλιακό αζιμούθιο
- Την ατμοσφαιρική επίδραση
- Τη γωνία λήψης του δέκτη
- Τη γωνία του ηλιακού ύψους

Είναι λοιπόν φανερό ότι η ατμόσφαιρα παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην εξασθένιση του σήματος που φθάνει στο δορυφόρο. Αν και η τεχνολογία σήμερα έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό και οι δέκτες-σαρωτές καταγράφουν με τον καλύτερο τρόπο την ανακλώμενη ακτινοβολία, εντούτοις αρκετές φορές η επίδραση της ατμόσφαιρας είναι μεγάλη και ειδικότερα στα μήκη κύματος του ορατού φάσματος.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι για την εφαρμογή των ατμοσφαιρικών διορθώσεων στις δορυφορικές εικόνες, έχοντας σαν σκοπό να προσεγγίσουν την πραγματικότητα. Η προσέγγιση αυτή πολλές φορές δεν είναι εφικτή λόγω της έλλειψης των απαραίτητων στοιχείων που απαιτούνται για την εφαρμογή του αλγόριθμου και τα οποία αφορούν την ατμόσφαιρα και τη δορυφορική λήψη για τη συγκεκριμένη ημερομηνία.

Οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις σε ορισμένες περιπτώσεις αποτελούν ένα απαραίτητο στάδιο προεπεξεργασίας των δεδομένων, θα πρέπει όμως να γίνεται προσεκτικά, ανάλογα με το αντικείμενο και το στόχο της εφαρμογής, διότι είναι ένα δύσκολο κομμάτι της επεξεργασίας και είναι δυνατό να αλλοιώσουν τα πρωτογενή δεδομένα και να μην επιτευχθεί η βελτίωση που επιζητείται.

1.6.1.2. Γεωμετρικές διορθώσεις

Η δορυφορική εικόνα ως πρωτογενές δεδομένο εμφανίζει γεωμετρικές παραμορφώσεις οι οποίες σχετίζονται με τα ακόλουθα (Mather, 1999):

- Προοπτική απεικόνιση του συστήματος καταγραφής.
- Η κίνηση του συστήματος του σαρωτή.
- Η κίνηση ή/ και σταθερότητα της εξέδρας.
- Η ταχύτητα και το ύψος της εξέδρας.
- Το ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας.
- Η καμπυλότητα και η περιστροφή της Γης.

Μία δορυφορική εικόνα δεν έχει τις ιδιότητες ενός χάρτη και η κατάλληλη μετατροπή της για την απόκτηση κλίμακας και τις ιδιοτήτων προβολής ενός χάρτη ονομάζεται **γεωμετρική διόρθωση**. Η γεωμετρική διόρθωση έχει ως στόχο να μετασχηματίσει το σύστημα συντεταγμένων της εικόνας (x, y), το οποίο έχει παραμορφώσεις, σε ένα συγκεκριμένο σύστημα (X, Y) χαρτογραφικής προβολής. Είναι ένα σημαντικό βήμα στην επεξεργασία των δεδομένων διότι επιτρέπει π.χ. την εισαγωγή τους σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών και την ταυτόχρονη χρήση τους μαζί με άλλα θεματικά επίπεδα πληροφορίας.

Κάθε χαρτογραφικό σύστημα προβολής είναι σχεδιασμένο ώστε να αναπαριστά την επιφάνεια μιας σφαίρας ή ενός ελλειψοειδούς σε ένα επίπεδο και σχετίζεται με ένα σύστημα συντεταγμένων. Το σύστημα αυτό ακολουθεί έναν κάνναβο του οποίου κάθε θέση εκφράζεται με ένα αριθμητικό ζεύγος X και Y (στήλες και σειρές). Η μετατροπή των δεδομένων μιας εικόνας από ένα σύστημα καννάβου σε άλλο ονομάζεται γεωμετρική αναγωγή. Καθώς τα εικονοστοιχεία του νέου συστήματος δεν είναι σε «ευθυγράμμιση» με το παλαιό εφαρμόζεται η τεχνική της αναδόμησης.

Η γεωμετρική διόρθωση είναι σημαντική για εφαρμογές που αφορούν:

- Την σύγκριση μεταξύ δύο εικόνων ίδιας περιοχής σε διαφορετικό χρόνο, σε επίπεδο εικονοστοιχείου, για την ανίχνευση των αλλαγών.
- Την ανάπτυξη ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών με την χρήση και συσχέτιση άλλων θεματικών χαρτών.
- Την μέτρηση αποστάσεων ή επιφανειών.
- Τη δημιουργία μωσαϊκού.
- Τις ανάγκες κάθε ανάλυσης στην οποία απαιτείται ακρίβεια στον εντοπισμό θέσεων

Τα βήματα που ακολουθούνται για τη γεωμετρική επεξεργασία είναι τα παρακάτω:

1. Επιλογή του κατάλληλου συστήματος συντεταγμένων. Στην επιλογή αυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το αντικείμενο χρήσης του τελικού προϊόντος.
2. Επιλογή του τύπου της διόρθωσης. Για παράδειγμα, με σύγκριση εικόνας με εικόνα (Image to Image registration) ή με την εισαγωγή των συντεταγμένων από τοπογραφικό χάρτη.
3. Εντοπισμός των εδαφικών σημείων ελέγχου (Ground Control Points).
4. Επιλογή του βαθμού μετασχηματισμού.
5. Επιλογή της τεχνικής της αναδόμησης.
6. Δημιουργία της τελικής εικόνας μέσα από την αναδόμηση και τον σχηματισμό ενός νέου καννάβου.
7. Ανάπτυξη της τεχνικής της γεωμετρικής διόρθωσης

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι γεωμετρικής διόρθωσης ανάλογα με την πηγή της πληροφορίας:

1. Εγγραφή εικόνας σε άλλη εικόνα (Image to Image). Αναφέρεται στο μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων μιας εικόνας σε κάποιο άλλο μιας δεύτερης εικόνας.

2. Εγγραφή εικόνας σε χάρτη. Αναφέρεται στον μετασχηματισμό του συστήματος της εικόνας στο σύστημα συντεταγμένων του τοπογραφικού χάρτη (Εικόνα 3.)



Εικόνα 3. Δορυφορική εικόνα LANDSAT-5 TM από περιοχή της Ν. Λέσβου (αριστερά). Τοπογραφικός χάρτης 1:50.000 σε μορφή raster με σύστημα συντεταγμένων (δεξιά). (Πηγή: Μίγκιρος Γ. κ.α., 2003).

1.6.2. Βελτίωση της παρουσίασης της εικόνας (Image enhancement)

Η οπτική ανάλυση και ερμηνεία συχνά είναι επαρκής για αρκετές εφαρμογές των δορυφορικών εικόνων που τυπώνονται σε φωτογραφικό χαρτί.

Στην περίπτωση των ψηφιακών εικόνων χρησιμοποιούμε H/Y και ειδικό λογισμικό για τη διαχείριση και εμφάνιση της εικόνας, καθώς και για τη δημιουργία προϊόντων τα οποία να ικανοποιούν τον ερμηνευτή.

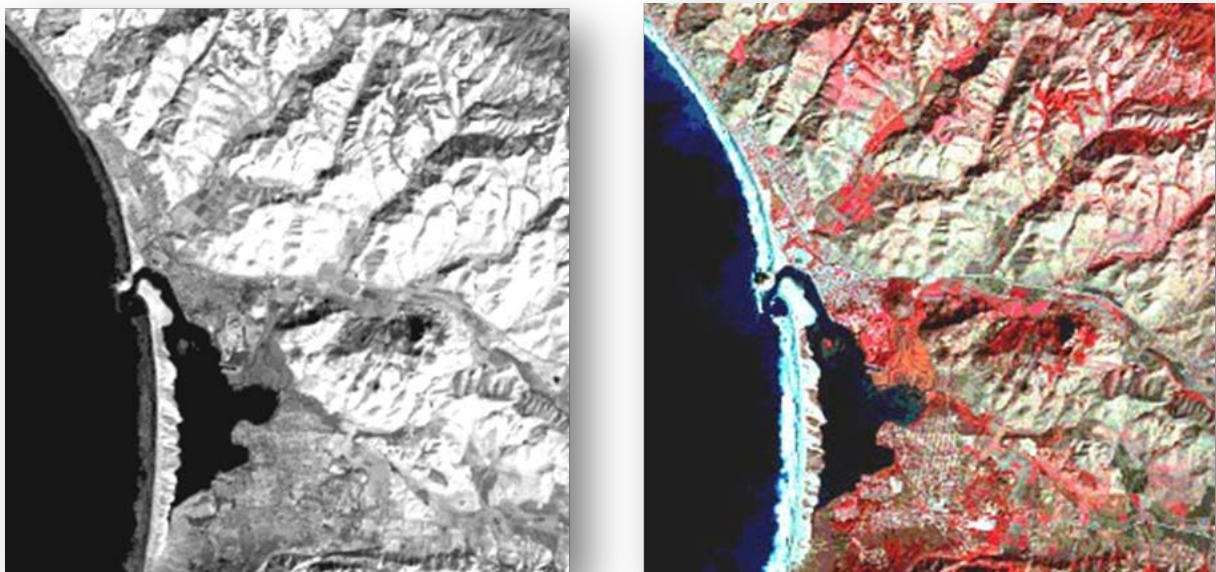
Βασικά τα ραδιομετρικά προβλήματα οφείλονται κατά κύριο λόγο είτε σε σφάλματα καταγραφής και ψηφιοποίησης είτε στην απορροφούμενη ή ανακλώμενη από την ατμόσφαιρα και τα αντικείμενα ενέργεια, καθώς και τη διάχυση (Mather, 1999).

Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της εικόνας ταξινομούνται ως εξής:

1. Βελτίωση της αντίθεσης (Contrast Enhancement).
2. Χρήση φίλτρων (filters).
3. Ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal components analysis).

4. Συνδυασμός φασματικών ζωνών (Combination of spectral zones).
5. Λόγοι φασματικών ζωνών (Ratios).
6. Συγχώνευση δεδομένων.

Η τεχνική της βελτίωσης της αντίθεσης αποτελεί ραδιομετρική βελτιστοποίηση, η τεχνική της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών καλείται φασματική, ενώ η τεχνική της εφαρμογής φίλτρων χωρική. Η ραδιομετρική βελτιστοποίηση λειτουργεί σε ένα μόνο εικονοστοιχείο, ενώ η χωρική λειτουργεί σε ομάδες εικονοστοιχείων. Η χωρική βελτιστοποίηση συνδέεται με την χωρική συχνότητα η οποία είναι η διαφορά μεταξύ των υψηλότερων και χαμηλότερων τιμών σε μία ομάδα εικονοστοιχείων.



Εικόνα 4. Εικόνα που δείχνει το φασματικό κανάλι 3 του θεματικού χαρτογράφου του δορυφόρου Landsat, της περιοχής Morro Bay στην California, και την ψευδέγχρωμη εικόνα που προκύπτει από τον συνδυασμό των φασματικών καναλιών 4, 3, 2 ως ερυθρό (red), πράσινο (green), μπλε (blue). (Πηγή: Μίγκιρος Γ. κ.α., 2003).

1.6.3. Ταξινόμηση εικόνας.

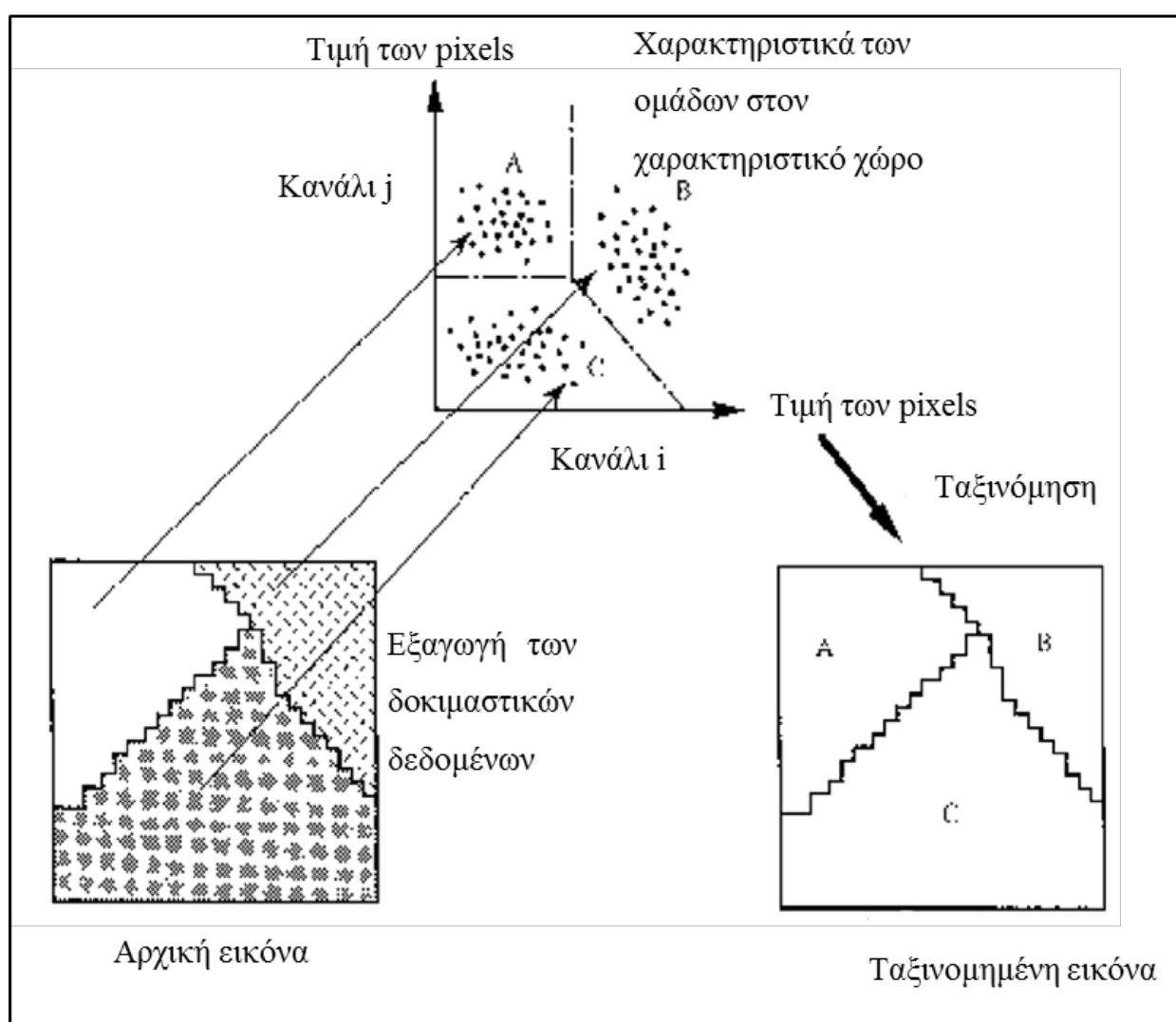
Η «ψηφιακή ταξινόμηση εικόνας» είναι η διαδικασία της κατανομής των εικονοστοιχείων (pixels) μιας εικόνας σε κλάσεις, όπου στο κάθε εικονοστοιχείο μιας δορυφορικής εικόνας αποδίδεται μια ιδιότητα, η οποία περιγράφει ένα γήινο χαρακτηριστικό-αντικείμενο.

Η διαδικασία ταξινόμησης (Classification) περιέχει ουσιαστικά δύο βήματα, που είναι:

1. Η αναγνώριση των κατηγοριών όλων των γήινων αντικειμένων. Στο πλαίσιο της τηλεπισκόπησης της γήινης επιφάνειας, οι ομάδες αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν για παράδειγμα δασώδεις περιοχές, υδάτινες μάζες, λιβάδια καθώς και άλλους τύπους κάλυψης γης, όπου εξαρτώνται από την φύση της κάθε μελέτης.

2. Η απόδοση μιας ιδιότητας (καταχώρηση ονόματος) στα εικονοστοιχεία, τα οποία με αυτόν τον τρόπο ταξινομούνται.

Κάθε εικονοστοιχείο μιας εικόνας μπορεί να διαχειριστεί ως ένα ατομικό χαρακτηριστικό, που παρουσιάζει διάφορες τιμές σε διαφορετικά φασματικά κανάλια. Συγκρίνοντας τα εικονοστοιχεία τόσο μεταξύ τους όσο και με εικονοστοιχεία που έχουν γνωστή ταυτότητα, είναι δυνατό να ομαδοποιηθούν σε ομάδες όμοιων εικονοστοιχείων που συμπίπτουν με τις ομάδες πληροφόρησης που ενδιαφέρουν τους εκάστοτε χρήστες. Οι ομάδες που σχηματίζονται ορίζουν περιοχές, με τέτοιο τρόπο ώστε μετά την ταξινόμηση η ψηφιακή εικόνα να εμφανίζεται ως ένα μωσαϊκό από ομοιόμορφα τεμάχια, που το καθένα διαχωρίζεται με ένα χρώμα ή ένα σύμβολο (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Η διαδικασία της ταξινόμησης σε γενικές γραμμές. (Πηγή: Μίγκιρος Γ. κ.α., 2003).

Σε κάθε ταξινόμηση, το εξαγόμενο αποτέλεσμα είναι ένας θεματικός χάρτης, ο οποίος αν διορθωθεί και γεωμετρικά, μετατρέπεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προβολή χάρτη, καθιστώντας δυνατή την εισαγωγή του σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών.

Ο όρος “ταξινομητής” αναφέρεται στο πρόγραμμα (Software) του H/Y που εφαρμόζει μία συγκεκριμένη διαδικασία για την ταξινόμηση της εικόνας. Υπάρχουν αρκετοί ταξινομητές οι οποίοι βασίζονται σε διαφορετικούς αλγόριθμους. Ένας ταξινομητής δεν μπορεί να είναι κατάλληλος για όλες τις πιθανές περιπτώσεις, διότι τα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, καθώς και οι συνθήκες κάθε μελέτης διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα καλύτερα αποτελέσματα ταξινόμησης, σε μία υβριδική προσέγγιση, λαμβάνονται χρησιμοποιώντας πολλούς διαφορετικούς ταξινομητές.

Οι ταξινομητές διαχωρίζονται ανάλογα με τη μονάδα ταξινόμησης σε

1. **Ταξινομητές σημείου (point classifiers)**, που θεωρούν κάθε εικονοστοιχείο ως μία σημειακή παρατήρηση τιμών απομονωμένων από τις γειτονικές τους. Οι σημειακοί ταξινομητές προσφέρουν το πλεονέκτημα της απλότητας, αλλά έχουν ως μειονέκτημα την έλλειψη της ικανότητας εξερεύνησης της πληροφόρησης που μπορεί να έχουν τα γειτονικά εικονοστοιχεία.
2. **Χωρικοί ή γειτονικοί ταξινομητές (spatial or neighborhood classifiers)** και εξετάζουν μικρές περιοχές μέσα σε μια εικόνα, χρησιμοποιώντας για την ταξινόμηση της εικόνας την φασματική πληροφόρηση και την πληροφόρηση της ομοιογένειας των εικονοστοιχείων.

Ένας άλλου είδους διαχωρισμός μεταξύ μεθόδων ταξινόμησης, έχει να κάνει με τη συμμετοχή του αναλυτή στη διαδικασία της ταξινόμησης και διακρίνει τους εξής τύπους ταξινόμησης:

1. Την **ελεγχόμενη ταξινόμηση** η οποία απαιτεί από τον αναλυτή να αναγνωρίσει περιοχές σε μια εικόνα που ξέρει ότι ανήκουν σίγουρα σε κάποια συγκεκριμένη κατηγορία, με σκοπό ουσιαστικά να οδηγήσει ο ίδιος την ταξινόμηση.
2. Την **μη ελεγχόμενη ταξινόμηση**, όπου η διαδικασία προχωρεί με ελάχιστη συνεισφορά, του αναλυτή και μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία έρευνα φυσικών ομάδων από εικονοστοιχεία που βρίσκονται και μπορούν να διαχωριστούν μέσα σε μια εικόνα.
3. Τις **υβριδικές ταξινομήσεις** οι οποίες, δεν οριοθετούνται απόλυτα μέσα σε αυτά τα πλαίσια

Έτσι, στη μεν ελεγχόμενη προσέγγιση ταξινόμησης, σχεδιάζουμε χρήσιμες κατηγορίες πληροφόρησης και έπειτα εξετάζουμε τον φασματικό τους διαχωρισμό, στη δε μη ελεγχόμενη καθορίζουμε φασματικές ομάδες και μετά καθορίζουμε την ωφελιμότητα της πληροφόρησης που παράγουν (Forster 1992, Campbell 1996).

Κλάσεις Πληροφόρησης είναι οι κατηγορίες που ενδιαφέρουν τους χρήστες των δεδομένων, π.χ. τα διαφορετικά είδη χρήσης/κάλυψης γης.

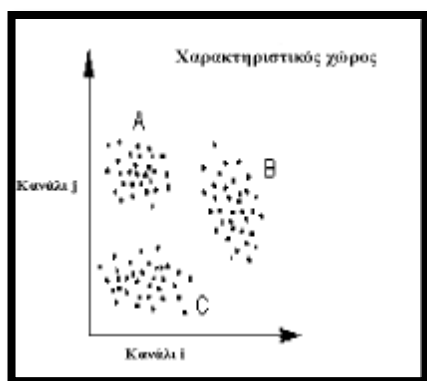
Οι **φασματικές κλάσεις** είναι ομάδες από εικονοστοιχεία που είναι ομοειδή, σύμφωνα με την ανακλαστικότητα που παρουσιάζουν στα διάφορα φασματικά κανάλια. Εάν είναι δυνατό να καθοριστούν δεσμοί μεταξύ των φασματικών κλάσεων σε μία εικόνα και των κλάσεων πληροφόρησης που είναι πρωταρχικής σημασίας, τότε η εικόνα καθίσταται μία σημαντική πηγή πληροφόρησης. Οι κλάσεις πληροφόρησης αποτελούνται τυπικά από ένα αριθμό φασματικών υποκλάσεων, δηλαδή φασματικά ευδιάκριτων ομάδων από εικονοστοιχεία, τα οποία όλα μαζί μπορούν να συναρμολογηθούν σχηματίζοντας μία κλάση. Για κάθε φασματικό κανάλι, κάθε διαφορετική κλάση χαρακτηρίζεται από μια μέση τιμή (την τυπική φωτεινότητα κάθε κλάσης) που παρουσιάζει μία σταθερή μεταβλητότητα και η οποία μπορεί να εκφραστεί με την διακύμανση (variance) ή την τυπική απόκλιση (standard deviation) ή την τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης.

1.6.3.1. Μη ελεγχόμενη ταξινόμηση.

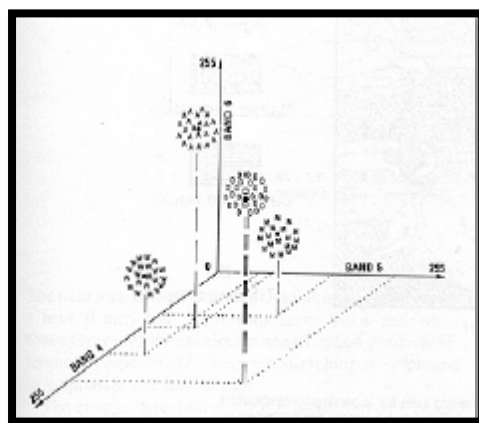
Η μη ελεγχόμενη ταξινόμηση ορίζεται ως η αναγνώριση και χαρτογράφηση φυσικών φασματικών ομάδων μέσα στα πολυφασματικά δεδομένα. Δεν χρησιμοποιεί δεδομένα που εισάγονται από τον αναλυτή ως βάση για την ταξινόμηση και βασίζεται αποκλειστικά στις φυσικές ομάδες που δημιουργούνται από τις διαφορετικές ψηφιακές τιμές μιας εικόνας. Για αυτό το λόγο, δεν είναι απαραίτητη η πληροφόρηση για την κάλυψη γης μιας περιοχής, για να αρχίσει η διαδικασία της ταξινόμησης.

Αυτή όμως η πληροφορία είναι απαραίτητη στην εκτίμηση των ταξινομημένων δεδομένων. Η εκτίμηση αυτή πρέπει να γίνει χρησιμοποιώντας κάποια δεδομένα αναφοράς (μεγαλύτερης κλίμακας εικόνες, χάρτες ή δεδομένα υπαίθρου) για τον καθορισμό της ταυτότητας και της τιμής πληροφόρησης που παρέχουν.

Η διαδικασία της μη ελεγχόμενης ταξινόμησης μπορεί να περιγραφεί, με δύο φασματικές ζώνες, σε ρόλο ορθογώνιων αξόνων του διαγράμματος δύο διαστάσεων (Εικόνες 6 και 7). Χρησιμοποιώντας τις άλλες φασματικές ζώνες ως επιπρόσθετες μεταβλητές, οι ομάδες αυτές, μπορούν να αποτυπωθούν στο χώρο με ένα πλήθος σημείων.



Εικόνα 6. : Διάγραμμα διασποράς τιμών των εικονοστοιχείων στο διδιάστατο χαρακτηριστικό χώρο. Τα A, B και C ορίζουν φυσικές φασματικές κλάσεις. (Πηγή: Μιγκίρος Γ. κ.ά., 2003)



Εικόνα 7. Διάγραμμα διασποράς των τιμών των εικονοστοιχείων στο τρισδιάστατο χώρο. Από F.F. Sabins, Remote Sensing: Principles and Interpretation. 2nd Ed., 1987. (Αναπαραγωγή από Μιγκίρο Γ. κ.ά. 2003.)

Η μη ελεγχόμενη ταξινόμηση, επιτυγχάνει την καταλληλότερη κατανομή των εικονοστοιχείων σε ομάδες, βάσει περιορισμών που καθορίζονται από τον αναλυτή. Ένας μη ελεγχόμενος ταξινομητής συνήθως εκτελεί μία επεξεργασία δύο βημάτων, που συμπεριλαμβάνει:

- I. Έναν αλγόριθμο για τον υπολογισμό των αποστάσεων.
- II. Μία διαδικασία για την εύρεση, τον έλεγχο και τη διόρθωση των κλάσεων με βάση τους οριζόμενους περιορισμούς από τον αναλυτή.

Ο αναλυτής θα προσδιορίσει τον αριθμό των ομάδων που θα δημιουργηθούν μέσα στις κλάσεις ή να απαιτήσει οι κλάσεις να παρουσιάζουν ένα ελάχιστο βαθμό ευκρίνειας με βάση τις γειτονικές ομάδες.

Τα πλεονεκτήματα της μη ελεγχόμενης ταξινόμησης είναι τα παρακάτω:

- Δεν είναι αναγκαία η εκτεταμένη γνώση της περιοχής μελέτης.

- Τα ποσοστά ύπαρξης ανθρώπινου λάθους ελαχιστοποιούνται. Ο χειριστής καθορίζει μόνος του τον αριθμό των κατηγοριών που επιθυμεί και μερικές φορές τους περιορισμούς που ελέγχουν την ευκρίνεια και ομοιομορφία των ομάδων.
- Οι οριζόμενες από την μη ελεγχόμενη ταξινόμηση ομάδες, είναι συνήθως πιο ομοιόμορφες ως προς την φασματική σύνθεση, σε σχέση με αυτές που της ελεγχόμενης ταξινόμησης.
- Οι σπάνια εμφανιζόμενες ομάδες, θεωρούνται ξεχωριστές μονάδες. Τέτοιες μικρές ομάδες, πιθανόν να παραμείνουν χωρίς αναγνώριση στην διαδικασία της ελεγχόμενης ταξινόμησης και μπορεί ακούσια να ενσωματωθούν σε άλλες κλάσεις, δημιουργώντας σφάλματα κι ανακρίβειες σε όλη τη διάρκεια της ταξινόμησης.

Τα μειονεκτήματα και οι περιορισμοί έχουν να κάνουν με την διαδικασία της “φυσικής” ομαδοποίησης των εικονοστοιχείων και τις δυσκολίες που αντιμετωπίζεται στην αντιστοίχιση αυτών των ομάδων στις διάφορες κατηγορίες πληροφόρησης του μελετητή.

Οι ενέργειες του μελετητή στην μη ελεγχόμενη ταξινόμηση ξεκινούν με τον καθορισμό του ελάχιστου και μέγιστου αριθμού των κατηγοριών που θα δημιουργηθούν από τον αλγόριθμο της ταξινόμησης. Ο ορισμός αυτού του αριθμού μπορεί να βασίζεται είτε στην γνώση της περιοχής, είτε στις ανάγκες του χρήστη για συγκεκριμένο αριθμό κλάσεων στην τελική ταξινόμηση. Η ταξινόμηση ξεκινάει αυθαίρετα με την επιλογή ενός αριθμού από εικονοστοιχεία, σαν κέντρα των ομάδων. Συχνά η επιλογή είναι τυχαία, για να μην επηρεάσει ο αναλυτής την ταξινόμηση και για να εξασφαλισθεί ότι τα επιλεγμένα εικονοστοιχεία είναι αντιπροσωπευτικά των τιμών που βρίσκονται στο σύνολο της εικόνας.

Στη συνέχεια ο αλγόριθμος της ταξινόμησης βρίσκει τις αποστάσεις μεταξύ των εικονοστοιχείων και εκτιμά αρχικά τα κέντρα των ομάδων, με βάση τους περιορισμούς του αναλυτή. Στο επόμενο στάδιο, όλα τα εναπομείναντα, μη ταξινομημένα εικονοστοιχεία της εικόνας εκχωρούν στην κοντινότερη ομάδα. Μετά από αυτό το σύνολο της εικόνας ταξινομείται, αλλά αυτή η ταξινόμηση δίνει μόνο μια εκτίμηση του τελικού αποτελέσματος, διότι οι κλάσεις που έχουν σχηματιστεί δεν είναι εντελώς ακριβείς και δεν ικανοποιούν απόλυτα τους περιορισμούς του αναλυτή.

Στο στάδιο που ακολουθεί, ο αλγόριθμος βρίσκει τα κέντρα όλων των κλάσεων, από την πρόσθεση νέων εικονοστοιχείων της ταξινόμησης με τη παραδοχή ότι τα αρχικά κέντρα δεν είναι πλέον ακριβή. Στη συνέχεια το σύνολο της εικόνας ταξινομείται ξανά με το κάθε εικονοστοιχείο να αποδίδεται στο πλησιέστερο κεντροειδές. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, μέχρι τα νέα κεντροειδή που θα σχηματιστούν, να μην διαφέρουν αισθητά

από τις τοποθεσίες των κεντροειδών που έχουν υπολογιστεί στο προηγούμενο βήμα και οι κλάσεις να ικανοποιούν όλους τους περιορισμούς που απαιτεί ο αναλυτής.

Η όλη διαδικασία είναι αντικειμενική, ως προς τη παραδοχή ότι ο αναλυτής δεν επιδρά στην ταξινόμηση των εικονοστοιχείων στις φυσικές φασματικές κλάσεις. Τα μοναδικά σημεία στην όλη διαδικασία που επεμβαίνει ο χρήστης είναι η επιλογή του αλγόριθμου που θα χρησιμοποιηθεί, ο αριθμός των κλάσεων που θα σχηματιστούν, καθώς και η ομοιομορφία και ευκρίνεια των κλάσεων.

1.6.3.2. Ελεγχόμενη ταξινόμηση.

Ελεγχόμενη ταξινόμηση είναι η διαδικασία κατά την οποία χρησιμοποιούνται “δείγματα” γνωστής ταυτότητας με σκοπό να ταξινομηθούν συνολικά τα μη ταυτοποιημένα εικονοστοιχεία. Οι περιοχές δειγματοληψίας καθορίζονται από τον αναλυτή και συνήθως οριοθετούνται με ψηφιοποίηση στην εικόνα. Οι ταυτοποιημένες αυτές περιοχές πρέπει να εμπεριέχουν μονάχα ένα χαρακτηριστικό. Τα εικονοστοιχεία που περιέχουν αυτές οι περιοχές, είναι οι οδηγοί που θα χρησιμοποιηθούν από τον αλγόριθμο ταξινόμησης. Οι φασματικές τιμές των υπόλοιπων εικονοστοιχείων της εικόνας, συγκρίνονται με αυτές των περιοχών δειγματοληψίας και ταξινομούνται στην, φασματικά, πλησιέστερη κατηγορία. Έτσι, καθίσταται προφανές ότι η επιλογή των περιοχών δειγματοληψίας είναι Ουσιαστικά το κλειδί για την επιτυχία της ελεγχόμενης ταξινόμησης είναι η ορθή επιλογή των περιοχών δειγματοληψίας.

Η ελεγχόμενη ταξινόμηση πλεονεκτεί στα υψηλά ποσοστά εξειδίκευσης της διαδικασίας που οφείλεται στην επιλογή των περιοχών δειγματοληψίας, γεγονός που απλοποιεί την διαδικασία ταύτισης των φασματικών κλάσεων με τις κλάσεις πληροφόρησης, που ενδιαφέρουν τον αναλυτή, στον τελικό χάρτη.

Οι πιο σημαντικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στην ελεγχόμενη ταξινόμηση είναι:

1. Αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης (Minimum distance classifier)

Στο μοντέλο αυτού του αλγορίθμου ταξινόμησης, τα εικονοστοιχεία της εικόνας θεωρούνται διασκορπισμένα στο n -διάστατο χώρο (όπου n ο αριθμός των φασματικών καναλιών που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση). Η διαδικασία της ταξινόμησης πάντα απαντά στην ερώτηση: “ανήκουν δύο οποιαδήποτε εικονοστοιχεία στην ίδια ομάδα;”. Ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης, βρίσκει την απόσταση ανάμεσα σε όλα τα ζεύγη των εικονοστοιχείων και απαντά στο συγκεκριμένο ερώτημα. Εάν η απόσταση μεταξύ των τιμών

δύο εικονοστοιχείων είναι μικρότερη από κάθε άλλο εικονοστοιχείο της εικόνας, τότε αυτά ταξινομούνται στην ίδια ομάδα. Οι αποστάσεις για τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία, χρησιμοποιούνται για να βρεθεί η σχέση μεταξύ όλων των υπόλοιπων ομάδων (Εικόνα 3).

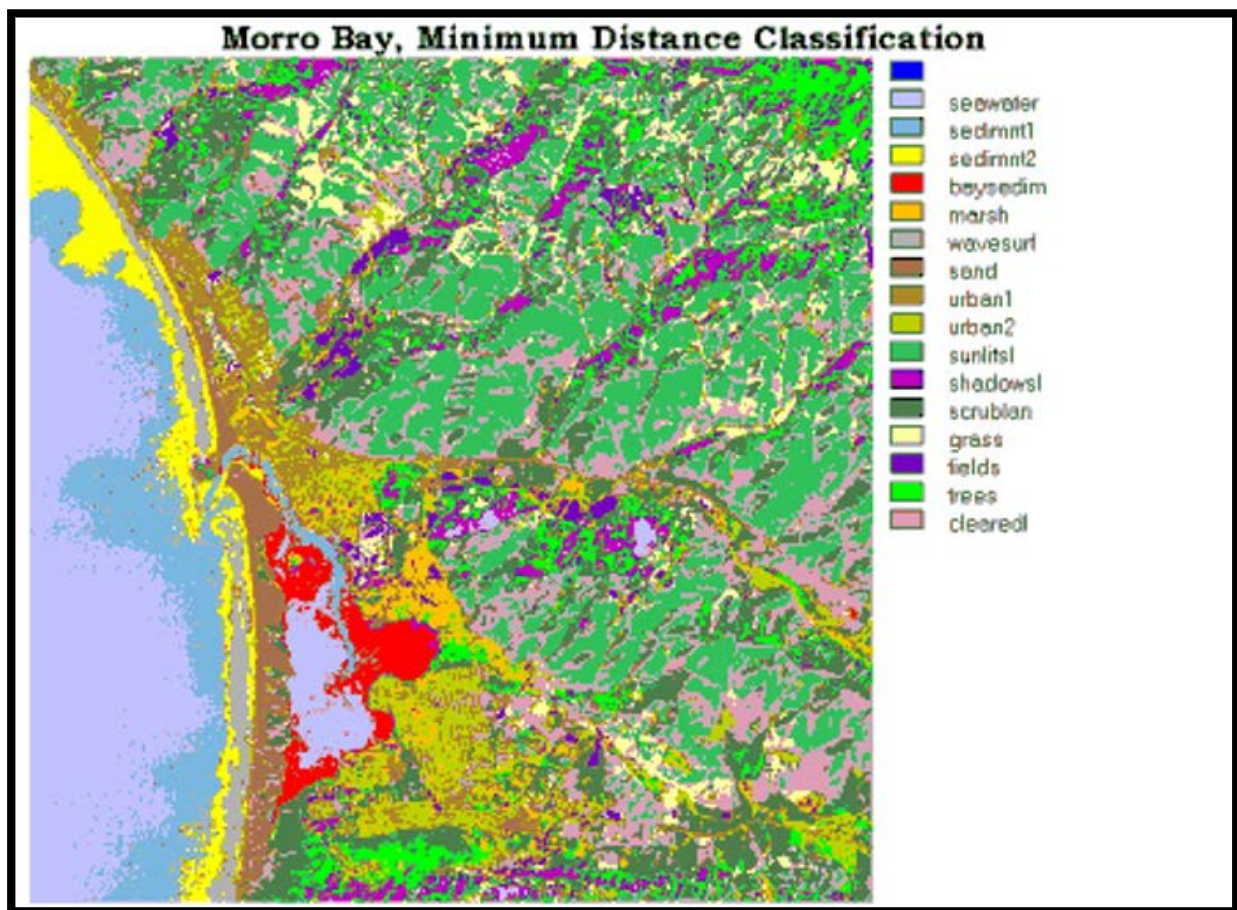
Τέτοιου είδους αποστάσεις υπολογίζονται με διάφορες μεθόδους, μία εκ των οποίων είναι η Ευκλείδεια απόσταση, της οποίας ο αλγόριθμος είναι:

$$D_{ab} = \left[\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Τύπος 1. Ευκλείδεια Απόσταση.

όπου i είναι ένα εκ των n φασματικών καναλιών, a και b είναι τα εικονοστοιχεία και D_{ab} είναι η απόσταση ανάμεσα στα εικονοστοιχεία. Η απόσταση υπολογίζεται από το Πυθαγόρειο θεώρημα.

Η Ευκλείδεια απόσταση, κατά βάση χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που οι διακυμάνσεις (variances) των πληθυσμών των κλάσεων, διαφέρουν σημαντικά. Κατά τη ταξινόμηση υπολογίζονται όλες οι αποστάσεις για τον καθορισμό των ομοιοτήτων των εικονοστοιχείων και των ομάδων που βρίσκονται σε μια εικόνα. Δεν είναι δυνατόν όμως να μετρηθούν όλες οι αποστάσεις, με την Ευκλείδεια απόσταση.



Εικόνα 8. Ταξινομημένη εικόνα, με τον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης (*minimum distance*), της περιοχής Morro Bay στην California (NASA, 1998. Αναπαραγωγή Μιγκίρος κ.ά. 2003.)

Στην περίπτωση ύπαρξης συσχετισμού των αξόνων στο χώρο θα πρέπει να γίνει χρήση του αλγορίθμου «Mahalanobis», ο οποίος χρησιμοποιεί έναν πίνακα διακύμανσης - συνδιακύμανσης (*variance-covariance*) και εκφράζεται από την εξίσωση:

$$d_k^2 = (X - \mu_k)^t \sum_k^{-1} (X - \mu_k)$$

Τύπος 2. Αλγόριθμος Mahalanobis.

όπου X = το άνωσμα των δεδομένων της εικόνας (n κανάλια) , $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$

μ_k = ο μέσος της k κλάσης και

$\Sigma_k = [m_1, m_2, \dots, m_n]$

Σ_k : πίνακας διακύμανσης-συνδιακύμανσης: $\Sigma_k = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \dots & \sigma_{nn} \end{bmatrix}$

σ_k: πίνακας διακύμανσης:

$$\sigma_k = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_{22} & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & \dots & \dots & \sigma_{nn} \end{bmatrix}$$

2. Αλγόριθμος της μέγιστης πιθανότητας (Maximum likelihood classifier)

Η δημοφιλέστερη μέθοδος ταξινόμησης στην τηλεπισκόπηση είναι ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανότητας. Στη μέθοδο αυτή ο αλγόριθμος, χρησιμοποιώντας την μέγιστη πιθανότητα, ταξινομεί κάθε εικονοστοιχείο στην αντίστοιχη κλάση. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου, είναι τα δειγματοληπτικά εικονοστοιχεία να ακολουθούν κανονική κατανομή.

Με βάση την ανωτέρω προϋπόθεση, τα δειγματοληπτικά εικονοστοιχεία εκφράζονται με τιμές του μέσου (mean), της διακύμανσης (variance) και της συνδιακύμανσης (covariance) τους. Αυτές οι τιμές χρησιμοποιούνται για να υπολογισθεί η πιθανότητα συμμετοχής κάθε εικονοστοιχείου σε μία κλάση. Η πιθανότητα αυτή εκφράζεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$L_k(\mathbf{X}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_k|^{\frac{1}{2}}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{X} - \mu_k)^T \Sigma_k^{-1} (\mathbf{X} - \mu_k) \right\}$$

Τύπος 3. Αλγόριθμος Μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum likelihood classifier).

όπου: n: ο αριθμός των καναλιών

X: τα δεδομένα της εικόνας στα n κανάλια

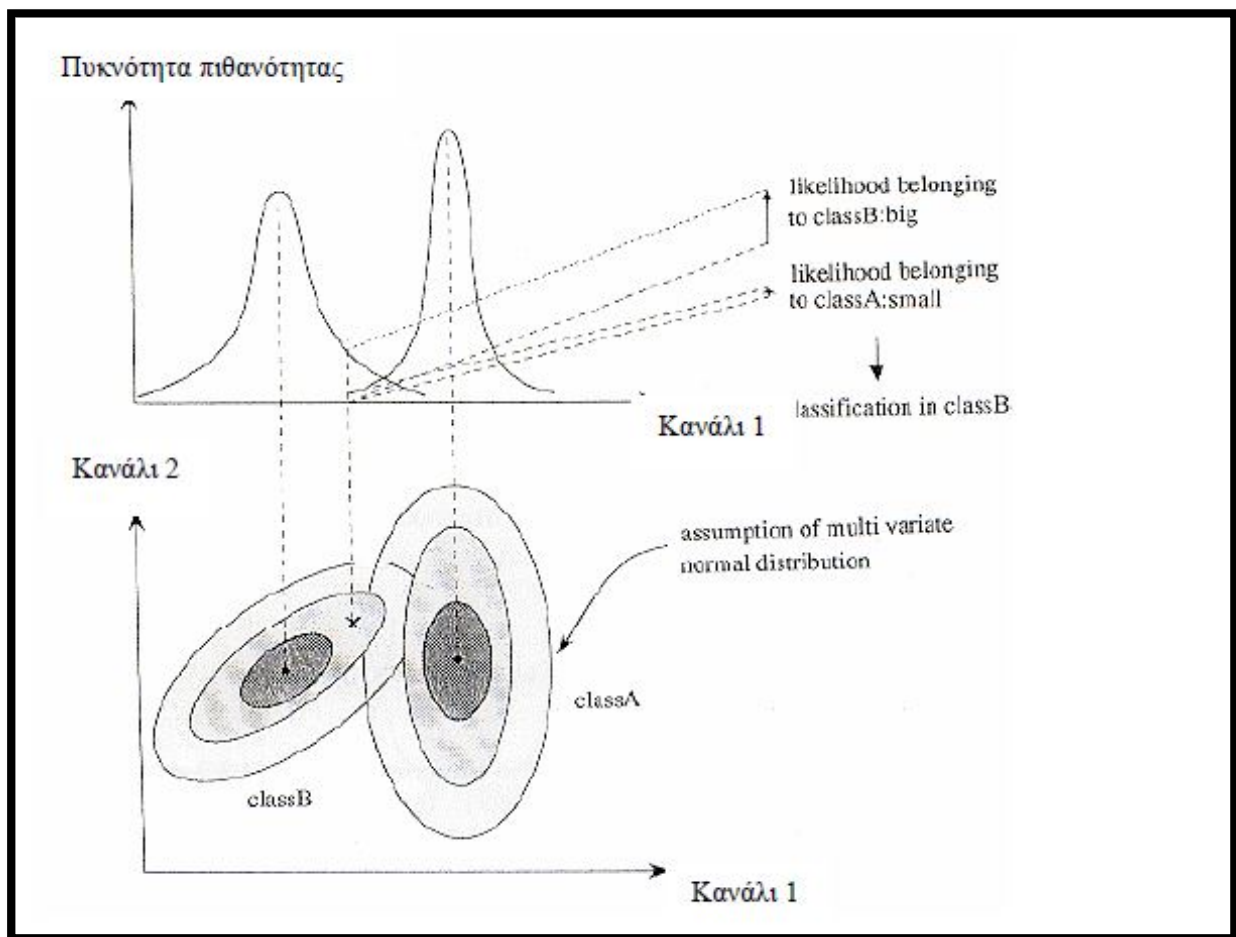
L_k(X): η πιθανότητα του X να ανήκει στην κλάση k

μ_k: το μέσο άνυσμα της κλάσης k

Σ_k: ο πίνακας διακύμανσης-συνδιακύμανσης της κλάσης k,

|Σ_k|: η ορίζουσα του Σ_k

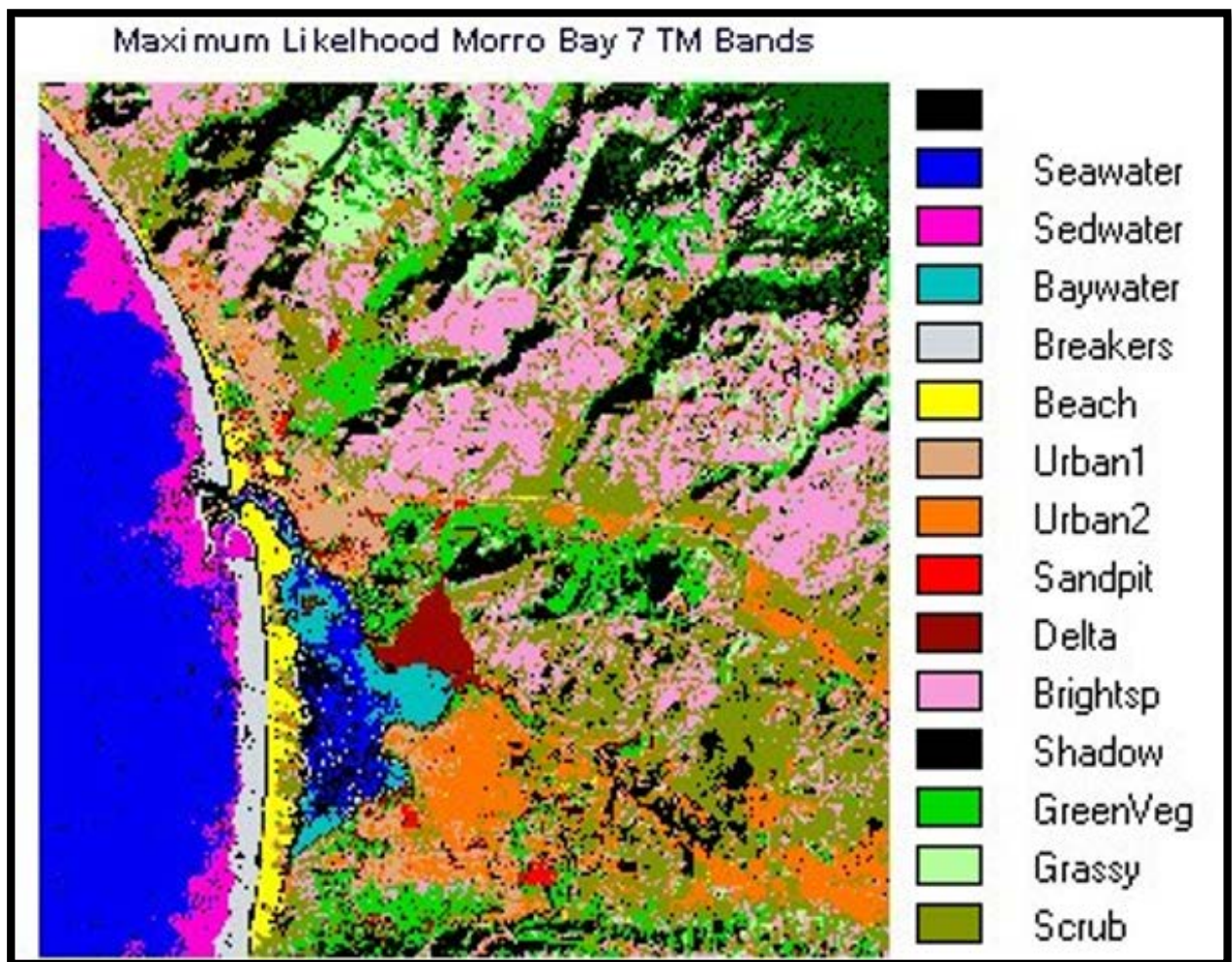
Η γενική ιδέα της μεθόδου της μέγιστης πιθανότητας, απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα 9:



Εικόνα 9. Η ταξινόμηση, όπως προκύπτει με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανότητας (Maximum likelihood). (Πηγή: Μιγκίρος Γ. κ.α., 2003)

Στη μέθοδο αυτή περιγράφονται λεπτομερώς οι ελλειψοειδείς καμπύλες ισοπιθανότητας. Ο δεύτερος όρος της παραπάνω εξίσωσης είναι η απόσταση Mahalanobis, που εδώ διορθώνεται για την διακύμανση-συνδιακύμανση της κλάσης k. Η μέθοδος της μέγιστης πιθανότητας πλεονεκτεί από την άποψη της θεωρίας των πιθανοτήτων, αλλά με βάση τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Να γίνει αξιόπιστη και ακριβής λήψη δεδομένων υπαίθρου, για να είναι δυνατή η εκτίμηση του μέσου διανύσματος και του πίνακα διακύμανσης-συνδιακύμανσης του πληθυσμού.
- Ο αντίστροφος πίνακας διακύμανσης-συνδιακύμανσης, γίνεται ασταθής στην περίπτωση που υπάρχει υψηλός δείκτης συσχέτισης μεταξύ δύο φασματικών καναλιών ή όταν τα δεδομένα υπαίθρου είναι πολύ ομοιογενή. Σε αυτή την περίπτωση ο αριθμός των φασματικών καναλιών θα πρέπει να μειωθεί χρησιμοποιώντας την ανάλυση κύριων συνιστωσών.
- Η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί, όταν η κατανομή πληθυσμού των εικονοστοιχείων δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή. (Μιγκίρος Γ. κ.α., 2003).



Εικόνα 10. Ταξινομημένη εικόνα, με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανότητας (Maximum likelihood), της περιοχής Morro Bay στην California (NASA, 1998). (Αναπαραγωγή Μιγκίρος Γ. κ.ά., 2003).

1.6.3.3. Εκτίμηση της Ακρίβειας της Ταξινόμησης.

Η **ακρίβεια** μετράει την απόκλιση μιας ταξινομημένης εικόνας άγνωστης ποιότητας, από κάποιο πρότυπο που θεωρείται ότι είναι ακριβές. Αν η ταξινόμηση της εικόνας ανταποκρίνεται σημαντικά στο πρότυπο, τότε σημαίνει ότι η ταξινόμηση είναι ακριβής.

Μία άλλη έννοια της ακρίβειας η λέξη “precision”, δηλώνει τη “**λεπτομέρεια**”. Η διαφορά μεταξύ των δύο εννοιών ακρίβειας και λεπτομέρειας είναι σημαντική, καθώς είναι δυνατόν κατά την πρώτη έννοια να αυξηθεί η ακρίβεια της ταξινόμησης και παράλληλα να μειωθεί η λεπτομέρεια. Για παράδειγμα, όταν ο αναλυτής ταξινομεί μία περιοχή δένδρων ως δάσος κωνοφόρων πεύκων και στενόφυλλων πεύκων, η λεπτομέρεια αυξάνεται και κατά συνέπεια αυξάνεται η πιθανότητα λάθους.

Ο υπολογισμός της ακρίβειας σπάνια λαμβάνει υπόψη του τη λεπτομέρεια, ωστόσο θα πρέπει πάντα να αναζητείται ο βαθμός στον οποίο η λεπτομέρεια εξυπηρετεί τον σκοπό της έρευνας. Για παράδειγμα, η ακρίβεια με ποσοστό 95% στο διαχωρισμό του νερού με το δάσος,

σπάνια είναι χρήσιμη σε περίπτωση που απαιτείται να προσδιοριστεί η κατανομή των αιθάλων και φυλλοβόλων κατηγοριών.

Οι λόγοι για τους οποίους γίνεται η εκτίμηση της ακρίβειας είναι:

- Η ανάγκη για τη βελτίωση της ποιότητας της πληροφορίας του χάρτη με τον προσδιορισμό και τη διόρθωση των πηγών των σφαλμάτων.
- Η ανάγκη για τη σύγκριση ποικίλων τεχνικών, αλγορίθμων, ή και ερμηνειών προκειμένου να προσδιορισθεί ποια είναι η καλύτερη.
- Τέλος, αν η πληροφορία που προέρχεται από τηλεσκοπικές εικόνες πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε μία διαδικασία λήψης αποφάσεων, είναι κρίσιμο να είναι γνωστό κάποιο μέτρο μέτρησης της ποιότητάς τους.

Η ταξινόμηση θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί εφόσον έχει εκτιμηθεί η ακρίβειά της. Ο βαθμός σφάλματος της ταξινόμησης, ο οποίος εκφράζει την καταχώριση κάποιων ψηφίδων σε λανθασμένη τάξη, καθορίζει και το ποσοστό επιτυχίας της ταξινόμησης, πράγμα που δίνει τη δυνατότητα να εκτιμηθεί η ακρίβειά της.

Για την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης είναι αναγκαίο να συγκριθούν δύο είδη πληροφοριών: (1) τα **δεδομένα μετά την ταξινόμηση** και (2) τα **δεδομένα αναφοράς**. Η σχέση των δύο αυτών συνόλων εκφράζεται με τον **πίνακα σφάλματος (error matrix)**, ο οποίος είναι ένας τετραγωνικός πίνακας με διαστάσεις το πλήθος των τάξεων, των οποίων εκτιμάται η ακρίβεια.

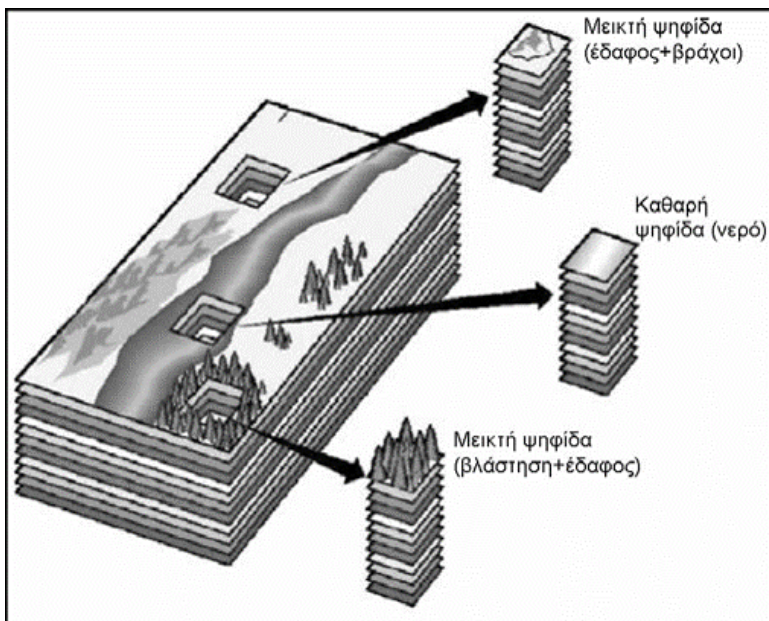
Για τη δημιουργία του πίνακα σφάλματος, με τη βοήθεια του οποίου θα συγκριθούν οι κατηγορίες των δειγμάτων ελέγχου προ και μετά την ταξινόμηση για την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης, απαιτούνται να ληφθούν υπόψιν τα κάτωθι:

- Χρήση των δειγμάτων εκπαίδευσης σε σχέση με τα δείγματα ελέγχου.
- Το ολικό πλήθος των δειγμάτων που πρέπει να ληφθεί για κάθε τάξη
- Το σύστημα της δειγματοληψίας που θα χρησιμοποιηθεί για τη λήψη των δειγμάτων
- Εφαρμογή κατάλληλων περιγραφικών στατιστικών και τεχνικών διακριτών στατιστικών πολλών μεταβλητών.

Τα δείγματα εκπαίδευσης είναι τα δείγματα ψηφίδες με γνωστή τάξη στην οποία ανήκουν και βάσει των οποίων ταξινομούνται όλες οι ψηφίδες της εικόνας. Τα δείγματα ελέγχου είναι οι ψηφίδες με γνωστή τάξη στην οποία ανήκουν και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ακρίβειας της ταξινόμησης.

1.6.3.4. Πηγές σφαλμάτων.

Σφάλματα εμφανίζονται σε κάθε ταξινόμηση, διότι η ταξινόμηση μιας ψηφίδας σε λάθος τάξη σημαίνει σφάλμα στην ταξινόμηση. Η συνθετότητα των προτύπων (ψηφίδων) μέσα στις τάξεις μιας εικόνας της γήινης επιφάνειας συνεισφέρει στη δυνατότητα εμφάνισης σφαλμάτων στην ταξινόμηση (Εικόνα 11). Για παράδειγμα, μία απλή γήινη επιφάνεια που αποτελείται από μεγάλες, ενιαίες και διακριτές κατηγορίες μπορεί να λεχθεί ότι ταξινομείται με ακρίβεια και πιο εύκολα από μία επιφάνεια μικρή, ετερογενή με σύνθετα πρότυπα.



Εικόνα 11. Πολυφασματική εικόνα στην οποία οι ψηφίδες μπορούν να είναι μεικτές ή καθαρές. Η σύνθεση των μεικτών μπορεί να είναι ίδια ή διαφορετική. Στις μεικτές παίζει ρόλο και το ποσοστό των διαφορετικών εδαφικών καλύψεων. (Πηγή: Τσακίρη- Στρατή Μ., 2010).

Οι **πηγές σφαλμάτων** σε σχέση με τα τμήματα των τάξεων στην εικόνα είναι:

- Μέγεθος του τμήματος (τμήματα της ίδιας κατηγορίας σε διαφορετικές περιοχές μέσα στην εικόνα).
- Διαφορές στο μέγεθος του τμήματος.
- Αναγνώριση του τμήματος.
- Πλήθος των τάξεων.
- Πλήθος τμημάτων ανά τάξη,
- Σχήμα του τμήματος.
- Ραδιομετρική και φασματική τονική διαφορά με τα γειτονικά τμήματα.

1.6.3.5. Δείγματα εκπαίδευσης και δείγματα ελέγχου.

Για την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης είναι προτιμότερο στον πίνακα σφάλματος να χρησιμοποιούνται δείγματα ψηφίδων (δείγματα ελέγχου), που δε χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της ταξινόμησης (δείγματα εκπαίδευσης). Τα δείγματα ελέγχου μπορούν να λαμβάνονται και κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης, με τη διαφορά ότι δε θα χρησιμοποιηθούν ως εκπαιδευτικά δείγματα.

1.6.3.6. Πίνακας Σφάλματος, Error Matrix.

Ένα από τα πιο κοινά μέσα παρουσίασης και ανάλυσης της ακρίβειας της ταξινόμησης είναι ο **πίνακας σφάλματος (error matrix)** της ταξινόμησης. Ο πίνακας σφάλματος συγκρίνει κατηγορία-κατηγορία τη σχέση μεταξύ των δεδομένων αναφοράς και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων της ταξινόμησης. Ο πίνακας αυτός είναι τετραγωνικής μορφής, με διαστάσεις το πλήθος των τάξεων, των οποίων εκτιμάται η ακρίβεια. Επειδή τα τηλεσκοπικά δεδομένα έχουν μεγάλο πλήθος ψηφίδων, για την ισορροπία μεταξύ στατιστικής και πρακτικής έχει προταθεί να χρησιμοποιούνται τουλάχιστον 50 δείγματα ανά τάξη στον πίνακα σφάλματος. Η επιλογή του συστήματος δειγματοληψίας των ψηφίδων ελέγχου για την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης είναι μία πολύ σημαντική θεώρηση και αποτελεί αντικείμενο έρευνας.

Στις τηλεσκοπικές εφαρμογές από την επιστημονική κοινότητα συνήθως χρησιμοποιούνται πέντε είδη δειγματοληψίας:

1. Απλή τυχαία δειγματοληψία (simple random sampling).
2. Δειγματοληψία ομάδων (cluster sampling).
3. Στρωματική τυχαία δειγματοληψία (stratified random sampling).
4. Συστηματική δειγματοληψία systematic sampling).
5. Στρωματική συστηματική μή γραμμική δειγματοληψία (stratified systematic unaligned sampling).

Οι περισσότεροι αναλυτές προτιμούν τη **στρωματική τυχαία δειγματοληψία** με την οποία ένα ελάχιστο πλήθος δειγμάτων επιλέγεται από κάθε κατηγορία χρήσης γης. Η πιο απλή στρατηγική δειγματοληψίας για την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης είναι η λήψη μιας σειράς από ειδικές περιοχές για τον έλεγχο κάθε τάξης, όμοιες με τις περιοχές εκπαίδευσης που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση.

Μετά τη λήψη των δειγμάτων ελέγχου σε τυχαίες θέσεις, τα δείγματα αυτά συγκρίνονται ψηφίδα-ψηφίδα με την πληροφορία που αποκτήθηκε από την ταξινόμηση. Η συμφωνία ή η

ασυμφωνία παρουσιάζονται στον πίνακα σφάλματος. Η πληροφορία του πίνακα σφάλματος μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση:

1. Απλής περιγραφικής στατιστικής και
2. Διακριτών αναλυτικών στατιστικών τεχνικών πολλών μεταβλητών

Στον πίνακα 5 παρουσιάζεται η μαθηματική βάση του πίνακα σφάλματος: Το αποτέλεσμα της δειγματοληψίας παρουσιάζεται σε έναν πίνακα σφάλματος με την ακόλουθη μορφή:

- Δεδομένα αναφοράς = στήλες
- Κατηγορίες εικόνας = γραμμές

Δεδομένα αναφοράς

j=column i= rows	1	2	K	Row TOTAL
1	N_{11}	N_{12}	N_{1K}	N_{1+}
2	N_{21}	N_{22}	N_{2K}	N_{2+}
K	N_{K1}	N_{K2}	N_{KK}	N_{K+}
COLUMN TOTAL	N_{+1}	N_{+2}	N_{+K}	N

Δεδομένα μετά την ταξινόμηση

Πίνακας 5. Παρουσίαση της μαθηματικής βάσης του πίνακα σφάλματος. (Πηγή: Τσακίρη-Στρατή Μ. 2010).

Όπου: K είναι το πλήθος των τάξεων, τα **διαγώνια στοιχεία** είναι το πλήθος των ψηφίδων (δειγμάτων) που ταξινομήθηκε σωστά, δηλαδή στην ίδια κατηγορία που ανήκε και προ της ταξινόμησης και N είναι το σύνολο των δειγμάτων.

Τα στοιχεία εκτός διαγώνιου εκφράζουν:

- κατά τις γραμμές εκφράζουν τις ψηφίδες που ταξινομήθηκαν τελικά σε κάθε τάξη και από ποια τάξη προήρθαν.
- τα δε κατά τις στήλες τις ψηφίδες που έφυγαν από κάθε τάξη και σε ποια τάξη τελικά ταξινομήθηκαν.

Τα περιθώρια γραμμών εκφράζουν το πλήθος (άθροισμα) των ψηφίδων που τελικά ταξινομήθηκε σε κάθε κατηγορία και τα εκτός διαγωνίου εκφράζουν το πλήθος των ψηφίδων που έφυγε από κάθε κατηγορία και πού ταξινομήθηκε.

Τα περιθώρια των στηλών εκφράζουν το πλήθος των δειγμάτων ψηφίδων κάθε κατηγορίας προ της ταξινόμησης και τα εκτός διαγωνίου εκφράζουν το πλήθος των ψηφίδων που ταξινομήθηκε λανθασμένα σε άλλες κατηγορίες.

Μετρήσεις που εξάγονται από τον πίνακα σφάλματος:

Ολική ακρίβεια της ταξινόμησης:

$$\sum_{i=1}^k N_{ii} / N$$

Τύπος 4. Ολική ακρίβεια ταξινόμησης

Ακρίβεια του αναλυτή, μία μέτρηση σφάλματος παράλειψης (Producer 's Accuracy measure of Omission):

$$pa_j = N_{jj} / N_{+j}$$

Τύπος 5. Ακρίβεια Αναλυτή (Producer 's Accuracy measure of Omission).

Όπου: $j = 1, \dots, k$

Ακρίβεια ή αξιοπιστία του χρήστη, μία μέτρηση σφάλματος επιφόρτισης (User's Accuracy measure of Commission) :

$$ua_i = N_{ii} / N_{i+}$$

Τύπος 6. Ακρίβεια Χρήστη (User's Accuracy measure of Commission).

Όπου: $i = 1, \dots, k$

1.6.3.7. Περιγραφική εκτίμηση του πίνακα σφάλματος.

Η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης υπολογίζεται με τη διαίρεση του αθροίσματος των διαγώνιων στοιχείων του πίνακα σφάλματος με το ολικό πλήθος των ψηφίδων του δείγματος (Τύπος 4).

Ο υπολογισμός της ακρίβειας των ατομικών τάξεων προσδιορίζεται από τη διαίρεση του ολικού πλήθους των σωστά ταξινομημένων ψηφίδων όπως ταξινομήθηκε με τα δεδομένα αναφοράς σε μία κατηγορία με το ολικό πλήθος των ψηφίδων της κατηγορίας προ της ταξινόμησης. Η στατιστική αυτή δείχνει την πιθανότητα μιας ψηφίδας αναφοράς να ταξινομήθηκε σωστά και είναι μία μέτρηση του σφάλματος παράλειψης, αποφόρτισης (omission error) (Τύπος 5).

Η ολική ακρίβεια των σφαλμάτων παράλειψης ονομάζεται ακρίβεια του αναλυτή (producer's accuracy). Η ακρίβεια του αναλυτή δείχνει πόσα δείγματα από τα στοιχεία αναφοράς μπόρεσε ο αλγόριθμος ταξινόμησης να τα καταχωρίσει σωστά.

Αν το ολικό πλήθος των σωστά ταξινομημένων ψηφίδων σε μία τάξη διαιρείται με το ολικό πλήθος των ψηφίδων που τελικά ταξινομήθηκε στην κατηγορία αυτή το αποτέλεσμα είναι μία μέτρηση του σφάλματος επιφόρτισης (Commission error) (Τύπος 6).

Η μέτρηση της ολικής ακρίβειας των σφαλμάτων επιφόρτισης ονομάζεται ακρίβεια ή αξιοπιστία του χρήστη (User's accuracy or Consumer's accuracy or reliability), δείχνει πόσα δείγματα από τα στοιχεία αναφοράς ο αλγόριθμος ταξινόμησης τα καταχώρισε σε λάθος τάξη.

Συνεπώς γίνονται τρεις μετρήσεις της ακρίβειας:

- Ολική ακρίβεια
- Ακρίβεια του αναλυτή
- Ακρίβεια του χρήστη (Τσακίρη-Στρατή Μ. 2010)

1.6.4. Εντοπισμός μεταβολών.

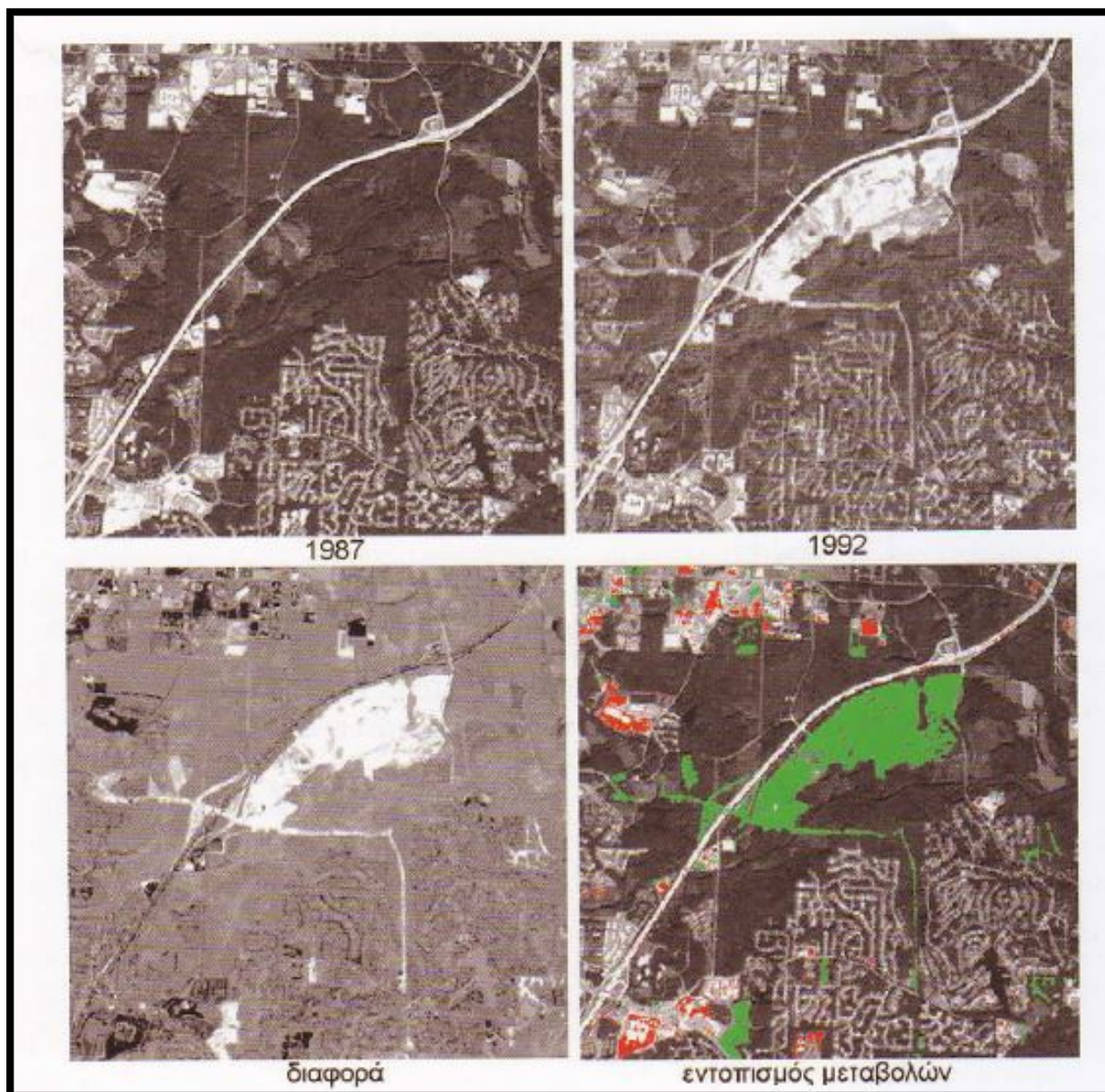
Δορυφορικές εικόνες της ίδιας περιοχής που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση μεταβολών στα χαρακτηριστικά της σκηνής όπως η κάλυψη και οι χρήσεις γης. Όπως ήδη έχει αναφερθεί στις πολυχρονικές εικόνες, η χρονική διαφορά λήψης των εικόνων επιλέγεται έτσι ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση δυναμικών γεγονότων και μπορεί να είναι ημέρες, εβδομάδες, μήνες ακόμη και έτη. Στην περίπτωση αυτή τα δεδομένα θα πρέπει να είναι συγκρίσιμα, για αυτό το λόγο ιδιαίτερη

σημασία θα πρέπει να δίνεται στη γεωμετρική εγγραφή των εικόνων στο ίδιο προβολικό σύστημα και με την ίδια χωρική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση. Οι εικόνες θα πρέπει επίσης να έχουν ληφθεί την ίδια εποχή, αλλά διαφορετικά έτη, εκτός και αν ο σκοπός είναι ο εντοπισμός μεταβολών που οφείλονται στις διαφορετικές εποχές.

Για τον εντοπισμό των μεταβολών (Change Detection) σε δυο εικόνες είναι δυνατό να εφαρμοστούν τρεις μέθοδοι:

α. Αφαίρεση ή λόγος των δυο εικόνων. Στην πρώτη γίνεται σύγκριση δύο εικόνων που ελήφθησαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές με βάση τις ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων τους. Στην περίπτωση αυτή τα δεδομένα θα πρέπει να είναι συγκρίσιμα, για αυτό το λόγο ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δίνεται στην ακρίβεια της ραδιομετρικής βαθμονόμησης των δορυφορικών δεδομένων δηλ. στη διαδικασία μετατροπής των ραδιομετρικών τιμών σε ψηφιακές τιμές και αντίστροφα καθώς επίσης και στη σταθερότητα των συνθηκών φωτισμού και παρατήρησης (ηλιακής γωνίας, γωνία κατόπτρευσης δορυφόρου).

Αρχικά γίνεται συνόρθωση ή γεωαναφορά και των δυο εικόνων στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων και με την ίδια χωρική ανάλυση. Εάν η σκηνή χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο, απαιτείται ορθοκανονικοποίηση των δυο εικόνων. Ακολούθως αφαιρούνται οι ψηφιακές τιμές της μιας εικόνας από τις ψηφιακές τιμές των αντίστοιχων εικονοστοιχείων της δεύτερης εικόνας. Τα αποτελέσματα είναι μια νέα εικόνα με θετικές και αρνητικές τιμές για τις μεταβληθείσες περιοχές και με μηδενικές τιμές για τις αμετάβλητες (Εικόνα 12). Η προβολή της εικόνας αυτής, αποδίδοντας ένα επίπεδο του γκρι στις μηδενικές τιμές, θα προσδώσει στις αρνητικές ψηφιακές τιμές σκούρες αποχρώσεις και στις θετικές τιμές ανοικτές αποχρώσεις. Συνήθως προστίθεται και μια σταθερή τιμή στις ψηφιακές τιμές όλων των εικονοστοιχείων για να εξαλειφθούν οι αρνητικές τιμές και μετά εφαρμόζεται μια ενίσχυση της αντίθεσης για να ενισχυθούν οι διαφορές. Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται σε ένα κανάλι πολυφασματικών εικόνων. Ο αναλυτής θα πρέπει να δοκιμάζει διάφορα κατώφλια για να διαχωρίσει τα εικονοστοιχεία που έχουν υποστεί μεταβολές από εκείνα που δεν έχουν υποστεί μεταβολές αλλά παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις στα φασματικά τους χαρακτηριστικά για άλλους λόγους. Για παράδειγμα πολλά από τα εικονοστοιχεία της Εικόνας 12 που είναι χρωματισμένα κόκκινα δεν αντιστοιχούν σε περιοχές που έχουν υποστεί μεταβολές αλλά εντοπίστηκαν λόγω της διαφοράς στις συνθήκες φωτισμού. Η σύγκριση των εικόνων μπορεί να γίνει και με τον υπολογισμό του λόγου των ψηφιακών τιμών των δυο εικόνων, μεθοδολογία η οποία έχει το πλεονέκτημα ότι δεν επηρεάζεται από τις διαφορετικές συνθήκες φωτισμού.

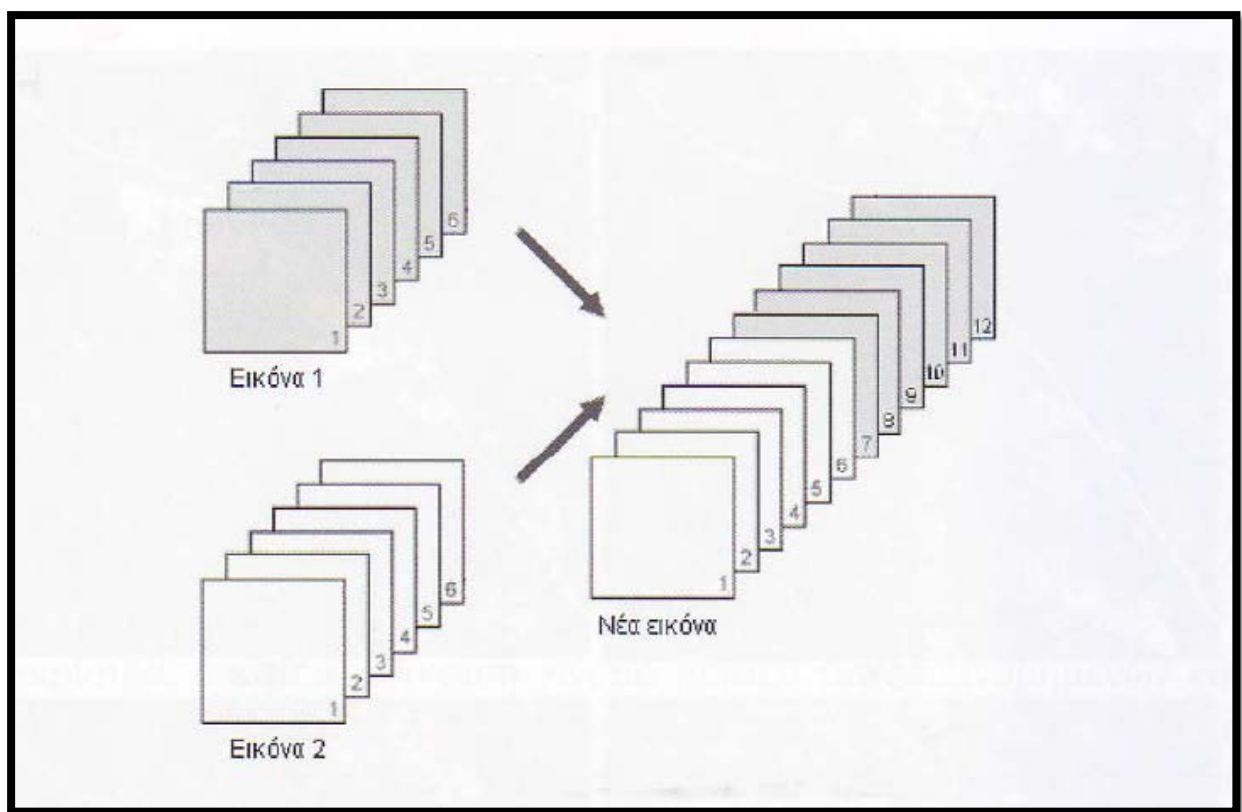


Εικόνα 12. Παγχρωματική εικόνα SPOT του 1987 και του 1992. (Κάτω) Η διαφορά των δυο εικόνων και η εικόνα του 1987 με τις εντοπισμένες μεταβολές χρωματισμένες (πράσινο: θετική διαφορά, κόκκινο: αρνητική διαφορά). (Πηγή: Καρτάλης Κ., κ.α. 2006).

β. Σύγκριση ταξινομημένων εικόνων. Στη δεύτερη μέθοδο γίνεται ποιοτική και ποσοτική σύγκριση των ταξινομημένων εικόνων που παρήχθησαν με τη χρήση του ίδιου σχήματος και μεθοδολογίας ταξινόμησης. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται όταν τα δορυφορικά δεδομένα δεν είναι βαθμονομημένα και συνεπώς δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα, οπότε η σύγκριση γίνεται μεταξύ των ταξινομημένων εικόνων εντοπίζοντας τις μεταβολές των ορίων των αντίστοιχων τάξεων. Οι δυο ταξινομημένες εικόνες συγκρίνονται εικονοστοιχείο προς εικονοστοιχείο για την δημιουργία μιας νέας εικόνας η οποία δείχνει τα εικονοστοιχεία τα οποία αποδόθηκαν σε διαφορετικές τάξεις στις δυο ταξινομημένες εικόνες. Η επιτυχία της μεθόδου εξαρτάται από την ακρίβεια της ταξινόμησης. Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής πλεονεκτούν σε σχέση με την

αφαίρεση των εικόνων καθώς περιέχουν και την πληροφορία για το είδος των τάξεων που ανήκουν τα εικονοστοιχεία τα οποία παρουσίασαν μεταβολές.

γ. Πολυχρονικές εικόνες. Στην περίπτωση αυτή, τα κανάλια των δυο εικόνων συντίθεται για τη δημιουργία μιας νέας πολυφασματικής εικόνας. Για παράδειγμα, αν οι εικόνες είναι Landsat TM, με έξι κανάλια η κάθε μια (αφαιρείται το θερμικό κανάλι), η νέα σύνθεση θα αποτελείται από δώδεκα κανάλια (Εικόνα 13). Η νέα πολυφασματική εικόνα μπορεί να εξεταστεί με τη χρήση των μεθόδων της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες και της φασματικής ταξινόμησης. Η ταξινόμηση της σύνθεσης δεν εντοπίζει μόνο τις τάξεις κάλυψης και χρήσης γης αλλά και τάξεις οι οποίες αποτελούνται από εικονοστοιχεία τα οποία έχουν υποστεί μεταβολές. (Καρτάλης Κ., κ.α. 2006)



Εικόνα 13. Δημιουργία μιας νέας πολυφασματικής πολυχρονικής εικόνας με τη σύνθεση δύο άλλων πολυφασματικών εικόνων έξι καναλιών (Πηγή: Καρτάλης Κ., κ.α. 2006)

2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η διερεύνηση της ανίχνευσης αλλαγών στις χρήσεις γης ξεκίνησε πριν από αρκετά χρόνια. Το 1977 οι Angelici et.al. ανέπτυξαν τις πρώτες τεχνικές για την ανίχνευση αλλαγών χρήσεων γης με τη χρήση εικόνων Landsat, όπου οδήγησαν στην αποκάλυψη της φύσης της αλλαγής αλλά και σε αριθμητικά αποτελέσματα εκτάσεων χρήσης γης. Οι έρευνες, εκείνα τα χρόνια επικεντρώθηκαν στην εύρεση αλλαγών στη βλάστηση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι των Allum και Dreisinger, το 1987, οι οποίοι χρησιμοποίησαν εικόνες Landsat από το 1973 και το 1983 και δημιούργησαν χάρτες μεταβολής της βλάστησης με μεθοδολογία που ενδείκνυται για την ανάδειξη απότομων και όχι σταδιακών αλλαγών.

Γενικά, η ανίχνευση μεταβολών περιλαμβάνει τη χρήση διαχρονικών δεδομένων, ώστε να διαχωριστούν περιοχές κάλυψης γης, οι οποίες μεταβάλλονται μεταξύ των ημερομηνιών λήψης των εικόνων (Αργιαλάς 1999). Σύμφωνα με άλλο ορισμό χαρακτηρίζεται η ανίχνευση αλλαγών ως η διαδικασία αναγνώρισης διαφορών στην κατάσταση ενός αντικειμένου ή ενός φαινομένου κατά την παρατήρησή του σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (Singh, 1989). Ο έγκαιρος και ακριβής εντοπισμός των αλλαγών στη γήινη επιφάνεια είναι πολύ σημαντικός ώστε να γίνουν κατανοητές οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ανθρώπων και των φυσικών φαινομένων και να ληφθούν συνειδητές αποφάσεις για την διαχείριση πιθανών άσχημων συνθηκών (Lu D. et. al., 2004). Το είδος των αλλαγών που ενδιαφέρουν ανά περίπτωση σχετίζεται είτε με φαινόμενα μικρής διάρκειας, όπως είναι οι πλημμύρες και η χιονοκάλυψη, η εκδήλωση μιας πυρκαγιάς, είτε με πιο μακροχρόνια φαινόμενα, όπως είναι η ανάπτυξη στα όρια των οικισμών αλλά και η ερημοποίηση περιοχών. Για παράδειγμα, ένας ορισμός της αλλαγής στην βλάστηση σε ένα οικοσύστημά θεωρείται η μεταβολή στη σύσταση του εδάφους ως προς την κάλυψη της βλάστησης ή ως η φασματική και χωρική μεταβολή της βλάστησης ως οντότητα στο χρόνο.

Οι Li και Yeh το 1998, εφάρμοσαν συνδυαστική μεθοδολογία για την ανάδειξη αλλαγής των αστικών περιοχών στη περιοχή του Δέλτα του Pearl River στη Κίνα. Αρχικά σχημάτισαν κύριες συνιστώσες διαχρονικών δεδομένων και στη συνέχεια επιβλεπόμενες ταξινομήσεις με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας.

Οι Y. Zha et al. (2003) χρησιμοποίησαν το δείκτη Normalized Difference Built-up Index (NDBI) για να αυτοματοποιήσουν τη διαδικασία της χαρτογράφησης κατοικημένων περιοχών. Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες Landsat TM. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε σε χάρτη αστικής γης στην πόλη της Nanjing, ανατολική Κίνα. Τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης έδωσαν ακρίβεια 92,6% και δημιούργησαν μια αξιόπιστη λύση χαρτογράφησης των αλλαγών. Σε σύγκριση με τη μέθοδο επιβλεπόμενης ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας, η

προτεινόμενη χρήση του NDBI είναι σε θέση να χρησιμεύσει ως μια αξιόλογη εναλλακτική λύση για τη γρήγορη και αντικειμενική χαρτογράφηση κατοικημένων περιοχών.

Σχετικά με την επιλογή των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται για διαχρονική ανίχνευση αλλαγών, στις περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές συνθηκών, όπως πχ. σε αυτή των Lu D. et. al., (2004), αναγράφεται ότι το ιδανικό είναι τα δεδομένα προς ανίχνευση μεταβολών να έχουν προέλθει από τον ίδιο ή παρόμοιο δέκτη με τα ίδια φασματικά κανάλια και να καταγράφουν τα δεδομένα με την ίδια χωρική διακριτική ικανότητα. Επίσης, οι γεωμετρικές συνθήκες γεωπαρατήρησης πρέπει να είναι όσο το δυνατό οι ίδιες, όπως και ο χρόνος λήψης. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται επετειακές ημερομηνίες ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι εποχιακές διαφορές αλλά και η γωνία λήψης του ηλίου. Για την αποτελεσματική ανίχνευση των μεταβολών απαιτείται ακόμα, ακριβής χωρική εγγραφή των εικόνων, ή, με άλλα λόγια να υπάρχει κοινή και ακριβής γεωαναφορά σε όλες τις εικόνες. Η ακρίβεια της γεωμετρικής εγγραφής που συνήθως απαιτείται είναι περίπου στο 0.25 με 0.5 του εικονοστοιχείου ή μέχρι και ένα εικονοστοιχείο. Όταν το σφάλμα της γεωμετρικής αγκίστρωσης είναι μεγαλύτερο από ένα εικονοστοιχείο, τότε είναι φυσικό να προκύψουν πολλά σφάλματα κατά τη σύγκριση των εικόνων.

Οι Yuan et al.(2005), χρησιμοποίησαν οκτώ εικόνες Landsat, δύο ανά χρονιά για το 1986, το 1991, το 1998 και το 2002 σε περιοχή στη Minnesota, εκ των οποίων οι έξι ήταν TM ενώ οι εικόνες για το 2002 ETM+. Κάθε χρονιά συνδύαζε εικόνες μια από περίοδο μετά την άνοιξη και μια σε περίοδο καλοκαιριού. Για τη δεδομένη περιοχή και με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν εκεί, ο συνδυασμός εικόνων από τις δύο αυτές περιόδους μεγιστοποιεί τη διαχωριστικότητα ορισμένων κατηγοριών. Οι εικόνες γεωαναφέρθηκαν στο σύστημα αναφοράς UTM στη ζώνη 15 για το ελλειψοειδές αναφοράς GRS 1980 και NAD 83, χρησιμοποιώντας τουλάχιστον 35 καλά κατανεμημένα σημεία ελέγχου και αναδόμηση τιμών φωτεινότητας με εγγύτερο γείτονα. Το μέσο σφάλμα ήταν στα 0.25 pixel, δηλαδή στα 7.5 m για κάθε μια από τις οκτώ εικόνες. Η διαδικασία της γεωαναφοράς πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό ERDAS. Οι κατηγορίες που επιλέχθηκαν είναι επτά γενικές κατηγορίες, εκ των οποίων οι τέσσερις αναφέρονται σε εδαφοκάλυψη με δάση ή βλάστηση, η πέμπτη αναφέρεται στις υδάτινες επιφάνειες, η έκτη σε περιοχές γυμνού εδάφους ή εξορύξεων, και η τελευταία σε αστικές περιοχές συμπεριλαμβανομένου κατοικιών, εμπορικών συνοικιών, βιομηχανιών, υποδομών μεταφορών, μικτών αστικών περιοχών κ.α.. Η ταξινόμηση έγινε με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για κάθε μια εικόνα και τα δεδομένα ελέγχου για την αξιολόγηση επιλέχθηκαν με ανεξάρτητη τυχαία δειγματοληψία πολυγώνων σταθερού αριθμού εικονοστοιχείων. Οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη κάθε χρονιάς ήταν υψηλές και κατά μέσο όρο περίπου στο 90%. Στη

συνέχεια έγινε εκ των υστέρων έλεγχος και δημιουργήθηκαν τέσσερα μεσοδιαστήματα. Οι τρεις περιπτώσεις ήταν οι διαδοχικές χρονιές και η τελευταία περίπτωση ήταν μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας χρονιάς. Η μετά την ταξινόμηση σύγκριση παρέχει το προνόμιο της από – προς πληροφορίας κάθε εικονοστοιχείου. Σύμφωνα με την έρευνα αυτή, η απλούστερη μέθοδος για την αξιολόγηση χαρτών αλλαγής είναι ο πολλαπλασιασμός των μεμονωμένων ακριβειών στους χάρτες ταξινόμησης και να εκτιμηθεί με αυτόν τον τρόπο η αναμενόμενη ακρίβεια του χάρτη αλλαγών. Μια εναλλακτική και πιο αυστηρή λύση είναι η τυχαία δειγματοληψία περιοχών που άλλαξαν ή δεν άλλαξαν χρήση γης και να εξεταστεί αν έχουν ταξινομηθεί σωστά. Για κάθε χρονιά εκφράζεται η κάθε κατηγορία με την έκτασή της σε εκτάρια αλλά και με το ποσοστό της επί του συνόλου της εικόνας και υπολογίζεται η σχετική αλλαγή μεταξύ του 1986 και του 2002. Σχηματίστηκε επίσης ένας πίνακας ανά δύο χρονιές όπου στην κύρια διαγώνιο σημειώνονται τα εικονοστοιχεία που δεν άλλαξαν και στα μη διαγώνια στοιχεία καταγράφονται τα εικονοστοιχεία που άλλαξαν κάλυψη γης, δίνοντας στο χρήστη την πληροφορία ‘από-προς’. Τα στατιστικά αποτελέσματα της μεθόδου κρίθηκαν αποτελεσματικά για το στόχο της εργασίας. Η μεθοδολογία επίσης ποσοτικοποιεί την αλλαγή και εντέλει αποτελεί έναν αποδοτικό και οικονομικό τρόπο ανίχνευσης αλλαγών στην κάλυψη γης. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου για εργασίες διαχείρισης γης αλλά και για τη λήψη αποφάσεων πολιτικής.

Ο DiGirolamo (2006), χρησιμοποίησε δυο εικόνες Landsat (TM για το 1991 και ETM+ για το 2000) ακριβώς την ίδια μέρα του Σεπτεμβρίου, σε περιοχή πλησίον της Atlanta (Gwinnett) στη Georgia, και οι διαφορές εντοπίστηκαν με τρεις μεθόδους, πρώτα με την υλοποίηση εικόνας διαφοράς του δείκτη NDVI, έπειτα με την ανάπτυξη κύριων συνιστωσών και τρίτον με ειδικά μετασχηματισμένες εικόνες (Tasseled Cap), διαδικασία που έχει ομοιότητες με τη δημιουργία κύριων συνιστωσών αλλά βασίζεται στις ιδιότητες των αισθητήρων και όχι των εικόνων. Η λήψη επετειακών εικόνων, όπως έγινε και στην μελέτη (ίδια μέρα του Σεπτεμβρίου), έχει ως αποτέλεσμα η περιοχή και στις δυο περιόδους να διαθέτει όλη την κάλυψη από βλάστηση, πριν δηλαδή τη πτώση των φύλλων. Ύστερα από αξιολόγηση με χρήση δεδομένων ελέγχου προκύπτει ότι οι καλύτερες μέθοδοι είναι η πρώτη και η τρίτη. Αν και η αλλαγή της βλάστησης δεν συνεπάγεται πάντα μια αλλαγή χρήσης γης, προέκυψε ότι σημαντική έκταση βλάστησης (κυρίως δασικών περιοχών) μετατράπηκε σε αστική περιοχή με άναρχη δόμηση. Η επεξεργασία των εικόνων (υποσύνολο των εικόνων Landsat) πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό ERDAS imagine v.8.6.

Η ανίχνευση αλλαγών σε μη διαπερατές επιφάνειες με τη χρήση διαχρονικών Landsat εικόνων σε σύνθετες αστικές και ημιαστικές περιοχές μελετήθηκε και από τους ερευνητές Lu et al.

(2010) στην περιοχή της Βραζιλίας. Λόγω της μέτριας χωρικής ανάλυσης των εικόνων, συχνά εμφανίζεται το πρόβλημα του μικτού εικονοστοιχείου και γενικά η φασματική σύγχυση μεταξύ αδιαπέρατων επιφανειών και άλλων καλύψεων γης εκτός της βλάστησης. Η εκτίμηση των αδιαπέρατων επιφανειών, για καλύτερα αποτελέσματα, έγινε με ενσωμάτωση πληροφοριών από εικόνες της περιοχής μεγαλύτερης χωρικής διακριτικής ικανότητας (QuickBird) ύστερα από ορισμένες απαιτούμενες διεργασίες γεωμετρικής και ραδιομετρικής διόρθωσης. Αρχικά έπρεπε να γίνει μια βαθμονόμηση (καλιμπράρισμα) των αδιαπέρατων επιφανειών της Landsat εικόνας αναφοράς μέσω ενός υπάρχοντος μοντέλου παλινδρόμησης για τις αδιαπέρατες επιφάνειες εικόνας QuickBird της ίδιας χρονιάς και στη συνέχεια έπρεπε να γίνει κανονικοποίηση μεταξύ του βαθμονομημένου έτους αναφοράς με τις άλλες ημερομηνίες. Με τη μεθοδολογία διεξαγωγής μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στις εικόνες Landsat και με τη βοήθεια υβριδικών μεθόδων ανάλυσης των διαχρονικών εικόνων QuickBird μπορεί να περιοριστεί η υπερεκτίμηση των αδιαπέρατων επιφανειών με τις παραδοσιακές ανά εικονοστοιχείο ταξινομήσεις όπως της μέγιστης πιθανοφάνειας και η υποτίμηση των αγροτικών-μη αστικών περιοχών. Στη συνέχεια είναι εφικτός ο κλασματικός υπολογισμός βαθμού αδιαπερατότητας κάθε εικονοστοιχείου Landsat, σύμφωνα με την ύπαρξη αδιαπέρατων εικονοστοιχείων της εικόνας QuickBird.

Οι Giuseppe Mancino et al. (2012) χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα Landsat TM, έχοντας σαν περιοχή μελέτης τη Basilicata στη νότια Ιταλία, χρησιμοποίησαν τους δείκτες βλάστησης για να ανιχνεύσουν τις αλλαγές στη κάλυψη γης. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν την τρέχουσα τάση φυσικής επέκτασης των δασών που συμβαίνει στις επιρρεπείς σε ξηρασία περιοχές της Μεσογείου. Οι πληροφορίες σχετικά με τη δυναμική της δασικής κάλυψης που εμφανίζεται στη μελέτη αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως ένα χρήσιμο σημείο εκκίνησης για την περαιτέρω ανάλυση των χωρικών και χρονικών μοντέλων των αλλαγών βλάστησης σε υποβαθμισμένες περιοχές.

Οι Hayder Abd Al-Razzaq Abd et. al. (2013) μελέτησαν τις αλλαγές χρήσης / κάλυψης γης της ευρύτερης περιοχής της πόλης Johor Bahru της Μαλαισίας χρησιμοποιώντας την επιβλεπόμενη ταξινόμηση με το ταξινομητή της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood) με 5 κλάσεις αστικά, ύδατα, βλάστηση, γυμνές εκτάσεις και άγνωστες (σύννεφα), για 2 χρονικές στιγμές 1995 και 2011, με δορυφορικά δεδομένα Landsat TM και +ETM αντίστοιχα. Τα ποσοστά ακρίβειας της ταξινόμησης ήταν υψηλά 84.14% και 89.11% αντίστοιχα. Η ανίχνευση αλλαγών έδειξε ότι οι αστικές εκτάσεις αυξήθηκαν κατά 3%, οι εκτάσεις που καλύπτονταν από βλάστηση παρουσίασαν μείωση κατά 3%, ενώ οι γυμνές εκτάσεις παρέμειναν σταθερές.

Στη **Δασολογική επιστήμη**, διαχρονικά πολλές έρευνες χρησιμοποίησαν δορυφορικά δεδομένα, και ιδιαίτερα του καταγραφέα Landsat TM, στο προσδιορισμό και καταγραφή των χρήσεων γης

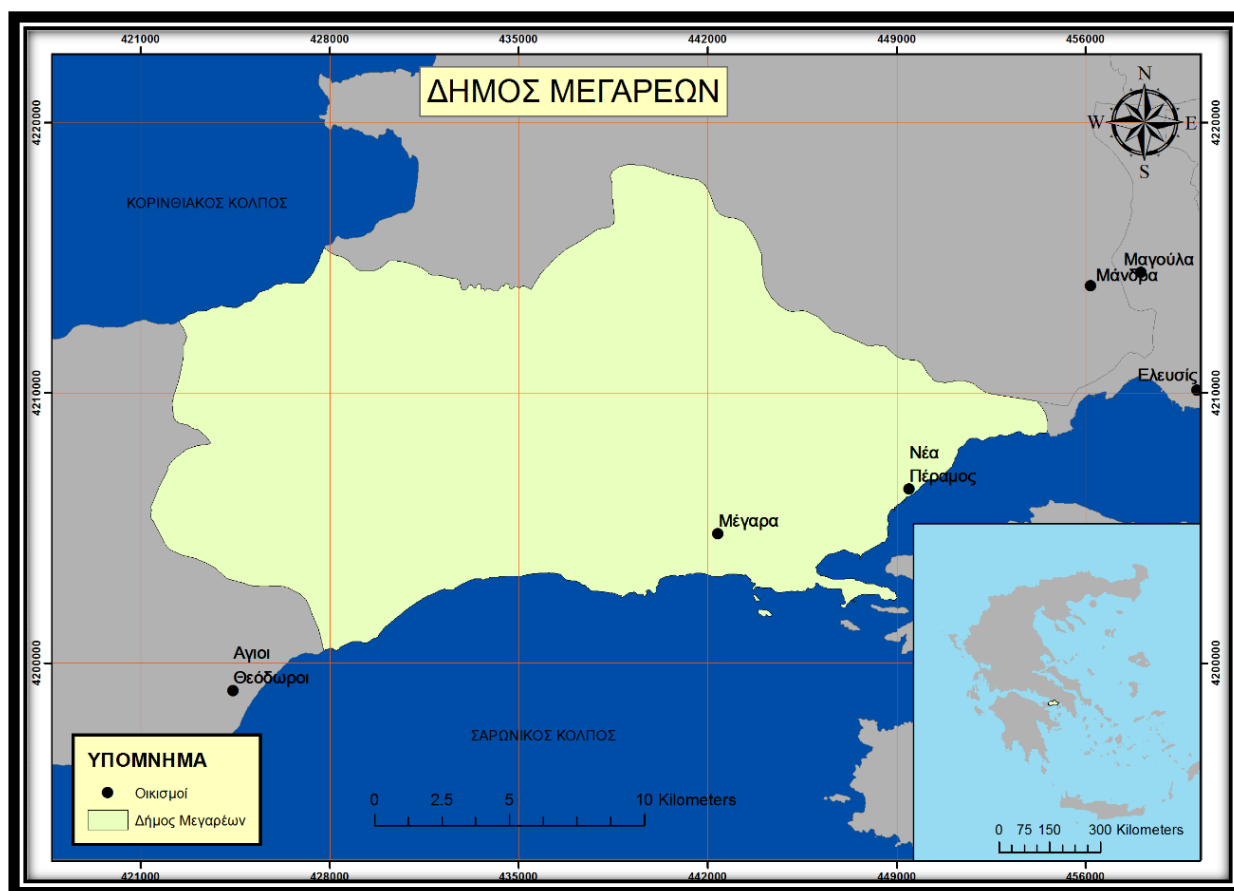
(Καρτέρης 1990, Fuller et al 1994, Vogelmann et al 1998, Muller et al 1999). Από δασικής άποψης η πιο σημαντική ίσως εφαρμογή των δορυφορικών δεδομένων είναι η διάκριση και χαρτογράφηση των δασών και δασικών εκτάσεων, καθώς και ο υπολογισμός των της έκτασης που καταλαμβάνουν με ακρίβεια που καθορίζεται από τη χωρική διακριτική ικανότητα των διαθέσιμων εικόνων. Σε πολλές περιπτώσεις δημιουργούνται δασικοί θεματικοί χάρτες με ακρίβεια η οποία ξεπερνά το 90%. Ο διαχωρισμός των κλάσεων πλατυφύλλων, κωνοφόρων και μικτών δασών, επιτυγχάνεται με υψηλές ακρίβειες 85-90% (William & Nelson 1986, Wolter et al 1995). Οι Nelson et al το 1984 υπολόγισαν με δεδομένα του αισθητήρα MSS, τη κάλυψη γης από πλατύφυλλα και κωνοφόρα στις ΗΠΑ. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των δορυφορικών δεδομένων έδωσαν ποσοστά 11% και 12% αντίστοιχα για τα δάση κωνοφόρων και πλατυφύλλων, ενώ η ταξινόμηση της Αμερικάνικης Δασικής Υπηρεσίας έδινε 13 και 15% αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι το 74% των κωνοφόρων και το 80% των πλατυφύλλων είχαν ταξινομηθεί σωστά και ότι η ακρίβεια ταξινόμησης ήταν 85%, ποσοστό θεωρητικά αποδεκτό για τις δασικές απογραφές. Ο Καρτέρης (1991) χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες SPOT ταξινόμησε τις Μεσογειακές δασικές εκτάσεις με συνολική ακρίβεια 82%. Οι Καρτέρης και Μελιάδης (1992), χρησιμοποίησαν το συνδυασμό φασματικών καναλιών 3-4-5 του δορυφόρου Landsat TM για τη διάκριση των κλάσεων μακί, πλατυφύλλων, αστικών περιοχών και ελαιώνων. Ο διαχωρισμός κατά τη ταξινόμηση των δασοπονικών ειδών σε πολλές μελέτες αποδείχτηκε προβληματικός και στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν πολύ δύσκολη η αναγνώριση των ειδών (Hopkins et. al. 1988, Martin et. al. 1998). Γενικά πολλές μελέτες εμφανίζονται στη παγκόσμια βιβλιογραφία με αμφιλεγόμενα αποτελέσματα σχετικά με το διαχωρισμό και την αναγνώριση των δασοπονικών ειδών.

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. Φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

3.1.1. Γεωγραφική θέση.

Ο Δήμος Μεγαρέων είναι δήμος της περιφέρειας Αττικής που προέκυψε με το Πρόγραμμα Καλλικράτης από την συνένωση των προ υπαρχόντων δήμων Μεγαρέων και Νέας Περάμου. Έδρα του δήμου είναι τα Μέγαρα. Ο δήμος Μεγαρέων βρίσκεται στο δυτικότερο τμήμα της Αττικής και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο κομμάτι της επαρχίας Μεγαρίδας, στην νοτιοδυτική πλευρά της Αττικής, 41 χλμ. από την Αθήνα δεξιά του οδικού άξονα Αθηνών – Κορίνθου. Βρέχεται στα βόρεια από τα νερά του Κορινθιακού κόλπου και στα νότια από τον Σαρωνικό.



Χάρτης 1. Γεωγραφική θέση Δήμου Μεγαρέων (Ιδία επεξεργασία, Λογισμικό ArcGIS 10.1)

3.1.2. Γεωμορφολογικά – Περιβαλλοντικά στοιχεία.

Η γεωγραφική θέση του Δήμου είναι ιδιαίτερα προνομακή, καθώς η γεωμορφολογία που ποικίλλει από τις παραλίες των στενών της Σαλαμίνας έως και την Κινέττα στην πλευρά του Σαρωνικού κόλπου και του κόλπου των Αλκυονίδων, στον Κορινθιακό έως τις ανατολικές κορυφές των Γερανείων Ορέων και τις νότιες πλαγιές του όρους Πατέρας.

Ανάμεσα στα δύο βουνά και τους δύο κόλπους εκτείνεται η άνυδρη Μεγαρική πεδιάδα κατάφυτη από ελιές, η ηλικία πολλών από αυτές ανέρχεται σε αιώνες.

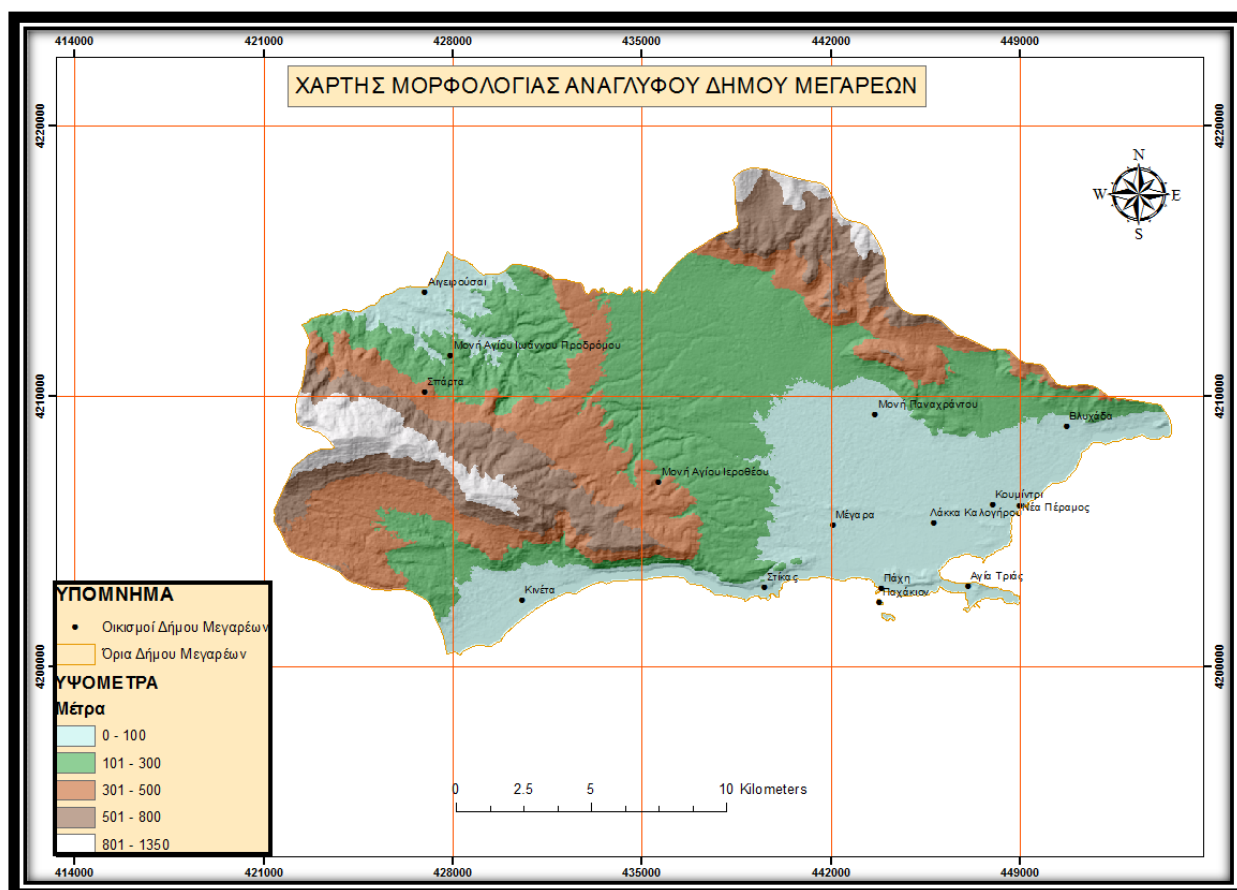
Το ρεύμα αέρος που διαπερνά την Μεγαρίδα, από τον Κορινθιακό προς τον Σαρωνικό, δημιουργεί ένα ξηρό τοπικό μικροκλίμα ιδανικό για την διαβίωση του ανθρώπου, ενώ τα λιγοστά αγροτικά προϊόντα είναι περιζήτητα εξ αιτίας του κλίματος.

Σήμερα στις ψηλές κορυφές υπάρχουν πεύκα, σχίνα, κουμαριές και έλατα μεταξύ Κολοσούρας και Γκορίτσας αλλά και στο Καρύδι. Η ανατολική και νοτιοανατολική πλευρά του Πατέρα είναι χαρακτηρισμένη ως καταφύγιο θηραμάτων με πλούσια πανίδα από αλεπούδες, λαγούς, γεράκια, αετούς, πετροπέρδικες κ.α.

Ο υγρότοπος της Αγίας Τριάδας των Μεγάρων στη Δυτική Αττική (που αποκαλείται από τους ντόπιους και ως "Βουρκάρι") φιλοξενεί περίπου 100 είδη πουλιών σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Τα Γεράνεια Όρη, ήταν σύμφωνα με τη μυθολογία το καταφύγιο του Μεγαρέως μετά τον κατακλυσμό του Δευκαλίωνα. Βρίσκονται στα όρια των νομών Αττικής και Κορινθίας, στη χερσόνησο του Ισθμού και περιστοιχίζονται από τους δήμους Μεγάρων, Αγίων Θεοδώρων, Βιλίων και Λουτρακίου.

Το δάσος, που ξεκινά με πεύκα και συνεχίζει με έλατα ως τις κορυφές, είναι προστατευόμενη περιοχή Natura 2000. Ο συνδυασμός Χαλεπίου πεύκης και κεφαλληνιακής ελάτης στην ίδια δασική περιοχή είναι ένα σπάνιο φαινόμενο και καθιστά τα Γεράνεια Όρη ιδιαίτερα πολύτιμα για το οικοσύστημα.



Χάρτης 2. Μορφολογία αναγλύφου περιοχής μελέτης.

Το καταφύγιο θηραμάτων έχει χαρακτηριστεί δασική έκταση 25.000 στρεμμάτων . Επίσης το Βουρκάρι αποτελεί μοναδικό υδροβιότοπο στην Αττική και θα πρέπει να προστατευτεί.

Το φυσικό περιβάλλον αποτελούν τα εξής:

- Γεράνεια Όρη
- Το δάσος της Ελάτης στην κορυφή των Γερανείων
- Όρος Πατέρας
- Υγροβιότοπος "Βουρκάρι" (Προστατευμένη Περιοχή)
- Παραλίες Σαρωνικού (Βαρέα, Κινέττα, Νεράκι, Λουτρόπυργος, Ήρεμο Κύμα)
- Παραλίες Κορινθιακού (Αλεποχώρι)
- Απόκρημνες ακτές της Κακιάς Σκάλας
- Βραχονησίδες Ρεβυθούσα, Μακρονήσι, Πάχη και Παχάκι

(Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 – 2014)

Η **πόλη των Μεγάρων** είναι χτισμένη κυρίως σε πεδινή έκταση, με κλίσεις που δεν ξεπερνούν το 5%, με εξαίρεση το κέντρο της πόλης που βρίσκεται αμφιθεατρικά χτισμένο πάνω στους λόφους Αλκαθόη και Καρία, με κλίσεις της τάξης του 10 έως 20%.

Χαρακτηριστική είναι η ύπαρξη δύο ρεμάτων στην πόλη, του ρέματος Μαυρατζά που εκτείνεται στο δυτικό τμήμα της πόλης και ενός άλλου ρέματος στο βόρειο τμήμα. Τα δυο αυτά ρέματα έχουν εκτραπεί και επιχωματωθεί, αν και το ρέμα στη βόρεια περιοχή της πόλης αποτελεί περιστασιακά λεκάνη απορροής των ομβρίων της περιοχής. (Γιαννάκης, 2010).

Γεράνεια όρη. Το κυρίαρχο τοπίο είναι οι ορεινές πλαγιές που ορθώνονται απότομα από την θάλασσα, με μικρότερες ή μεγαλύτερες κλίσεις, με πολυάριθμες μεγάλες και μικρές χαραδρώσεις και με το κυρίαρχο πράσινο χρώμα της βλάστησης. Προσφέρει σημαντική θέα προς όλες τις κατευθύνσεις και με μεγάλο βάθος, στις οποίες επικρατεί το πράσινο της βλάστησης και το γαλάζιο του ορίζοντα ή της θάλασσας.



Εικόνα 14. Γεράνεια Όρη. Δάσος Ελατιάς. Συστάδες Κεφαλληνιακής ελάτης (Abies Cephallonica), εναλλασσόμενες με γυμνές βραχώδεις εκτάσεις. (Πηγή: Φωτογραφικό αρχείο ιδίου)

Στην ανατολική πλευρά των Γερανείων, καθώς ο όγκος χαμηλώνει προς την πλευρά της λεκάνης του Αλεποχωρίου, διαμορφώνεται ένα εξαιρετικά ιδιόμορφο ανάγλυφο, μοναδικό για την Αττική. Το ανάγλυφο αυτό δημιουργείται από αυλακώσεις που διαμορφώνει το πλήθος των ρεμάτων που ρέουν προς τον Σαρωνικό και τον Κορινθιακό, χαράσσοντας βαθιά το σχετικά μαλακό γεωλογικό υπόθεμα της μάργας. Έτσι το τοπίο χαρακτηρίζεται από κατακόρυφα γυμνά γεώδη πρηνή και ορθοπλαγιές που εναλλάσσονται με πευκοσυστάδες αλλά και καλλιεργούμενες εκτάσεις.

Το ορεινό συγκρότημα των Γερανείων είναι κατάφυτο από έλατα, Χαλέπιο πεύκη και Μαύρη πεύκη, δρύες, πλατάνια, σχίνα, πικροδάφνες, μυρτιές, κουμαριές, ρείκια, εβένους και μεγάλα πουρνάρια. Επίσης τα Γεράνεια έχουν πλούσια αρωματική και φαρμακευτική χλωρίδα.

Όλο το ορεινό συγκρότημα των Γερανείων είναι κυριολεκτικά κατάφυτο από έλατα (κεφαλληνιακή ελάτη), πεύκα (Χαλέπιο πεύκη και μαύρη πεύκη), δρύες, πλατάνια, σχίνα, πικροδάφνες, μυρτιές, κουμαριές, ρείκια, εβένους και μεγάλα πουρνάρια. Πολλές περιοχές είναι αδιάβατες από την πυκνή βλάστηση, όπως είναι το ύψωμα Μαυροβούνι, το Λίσι και όλες οι βόρειες πλαγιές από Μαυρολίμνη μέχρι Αγ. Βλάσιο και Σχίνο. Τα Γεράνεια έχουν επίσης πλούσια αρωματική και φαρμακευτική χλωρίδα. Έχουν καταγραφεί 946 φυτικά είδη.

Οι τύποι οικοτόπων της περιοχής είναι χαρακτηριστικοί για τα μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα, όπως δάση αείφυλλων σκληρόφυλλων, με *Quercus coccifera* (πουρνάρι), *Pistacia lentiscus* (σχίνο), *P. terebinthus* (κοκορεβιθιά), *Phillyrea latifolia* (φιλλύκι), *Cistus creticus* (λαδανιά), *C. monspelliensis* και *Brachypodium ramosum*, που καλύπτουν την πλειονότητα των ασβεστολιθικών πλαγιών. Στην περιοχή εμφανίζεται υψηλή δασοκάλυψη με κωνοφόρα είδη της εύκρατης ζώνης, κυρίως με δάση Χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*).

Οι υψηλότερες και ψυχρότερες εκτάσεις του δάσους στο βουνό, καλύπτονται από άριστης δομής συστάδες της ενδημικής ελάτης, *Abies Cephallonica*, που είναι το κύριο δασικό δένδρο του χώρου, ένα από τα δύο ενδημικά δένδρα της χώρας. Από τα άλλα είδη, τα πιο πολλά απαντώνται σε ασβεστολιθικά βράχια, στα μεγαλύτερα υψόμετρα του βουνού, και λιγότερο μέσα στο δάσος ελάτης. Το τοπικό ενδημικό είδος των Γερανείων *Centaurea attica* ssp. *Megarensis* (*Centaurea Megarensis*), έχει χαρακτηριστεί ως Ε (κινδυνεύον) και περιλαμβάνεται στο Παράρτημα II της οδηγίας 92/43 ΕΟΚ ως είδος προτεραιότητας. Επίσης περιλαμβάνεται στο Προεδρικό Διάταγμα 67/81 και στη συνθήκη της Βέρνης. Είναι φυτό του οφιολικού υποστρώματος και βρέθηκε στις θέσεις Τρείς Πόρτες και Γκούρα Κόκκαλη. Το δάσος Ελάτης με βόρειο προσανατολισμό, καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση και χαρακτηρίζεται από αυξημένη υγρασία εδάφους και αέρα λόγω μεγαλύτερης σκίασης και των επικρατούντων βροχοφόρων ανέμων, οι οποίοι πνέουν με βορειοδυτική κατεύθυνση. Η βλάστηση στις εκτάσεις αυτές αποτελείται από υψηλό δάσος ελάτης, με παρουσία παρεδαφιαίων μεσόφυτων όπως τα είδη *Geacaryum parnassicum*, *Doronicum orientale*, *Crepis fraasii*, *Cerastium brachypetalum*, *Geranium lucidum*.

Αντίθετα τα δάση ελάτης με νότιο προσανατολισμό, χαρακτηρίζονται από πιο ξηροθερμικές συνθήκες, με μεγαλύτερη ηλιοφάνεια και θερμοκρασία και η βλάστηση αποτελείται πάλι από δάσος ελάτης με χαμηλότερου ύψους και αραιότερης φυτοκάλυψης άτομα. Και εδώ υπάρχει

παρεδαφιαία βλάστηση, από περισσότερα και πιο ξηροφυτικά είδη, όπως *Euphorbia myrsinites*, *Ballota acetabulosa*, *Alyssum montanum* κλπ.

Άλλα σημαντικά οικοσυστήματα που απαντώνται στο βουνό, είναι τα ασβεστολιθικά βράχια. Στο ελάχιστο έδαφος που υπάρχει ανάμεσα στα ασβεστολιθικά βράχια, φυτρώνουν βραχύφιλα ποώδη είδη όπως τα *Aubrieta deltoidea*, *Pteroccephalus perenis*, *Cerastium candissimum*, *Jurinea mollis*, *Aethionema saxatile*, *Centaurea raphanina* ssp.mixta, *Saxifraga chrysosplenifolia*. Πρόκειται για το οικοσύστημά που συγκεντρώνει τα σημαντικότερα είδη από τα ενδημικά του βουνού.

Άλλες σημαντικές μονάδες στα Γεράνεια, είναι τα ορεινά χορτολίβαδα σε οφιόλιθο. Το χαρακτηριστικό του τύπου αυτού είναι η απουσία δενδρώδους βλάστησης πάνω στο φτωχό σε θρεπτικά στοιχεία οφιολιθικό γεωλογικό υπόστρωμα. Τα είδη που επικρατούν είναι *Bromus sterilis*, *euphorbia rigida*, *Anthemis arvensis*, *Lamium amplexicaule*, *Centaurea attica* ssp. *Megarensis* (αποκλειστικά στον οφιόλιθο τοπικό ενδημικό), *Saponaria calabrica*, *Campanula spathulata*, *Acantholimon echinus*, *Alyssum murale*, *Helictotrichon convolutum*, *Vinca heracea*, *Armeria canescens*, *Paronychia macedonica* τα οποία δεν είναι είδη αποκλειστικά του οφιόλιθου. Τα *Acantholimon echinus*, *Armeria canescens* και *Paronychia macedonica* βρίσκονται μόνο στο οφιολιθικό διάσελο στις Τρεις Πόρτες και είναι είτε βαλκανικά ενδημικά είτε ενδημικά της Μεσογείου.

Τέλος σημαντική οικολογική μονάδα είναι και το δάσος ελάτης σε οφιόλιθο με συνδενδρίες μαύρης πεύκης. Πρόκειται για σχετικά αραιό και μετρίου ύψους δάσος ελάτης που εδράζεται πάνω στον οφιόλιθο, ο οποίος υστερεί σε θρεπτικά στοιχεία σε σχέση με τον ασβεστόλιθο. Οι συνδενδρίες μαύρης πεύκης είναι η σημαντικότερη και σπανιότερη οικολογική μονάδα που βρέθηκε στο δάσος Ελατιάς Γερανείων. Πρόκειται για συνδενδρίες μαυρόπευκων με υπόροφο πλούσιο σε κέδρο *Juniperus oxycedrus*, που παρουσιάζουν αντοχή και προτίμηση στο οφιολιθικό υπόστρωμα.

Επίσης απαντώνται φρύγανα και διαπλάσεις αρκεύθου (*Juniperus phoenicea*), που καλύπτουν σημαντική έκταση. Επίσης η ευμεσογειακή υποζώνη βλάστησης *Oleo – ceratonion*, εκπροσωπείται από θαμνώδη είδη όπως τα *Ceratonia siliqua* (χαρουπιά), *Juniperus phoenicea* (άρκευθος) και *Olea oleaster* (αγριελιά).

Όρος Πατέρας. Η μορφολογία του εδάφους είναι έντονη παρουσιάζοντας χαραδρώσεις και απότομες πλαγιές. Το ανάγλυφο του Πατέρα επιτρέπει όψεις θέασης του ορεινού συμπλέγματος, δηλαδή εναλλασσόμενων κορυφογραμμών, δασωμένων κλιτύων, βραχιδών εξάρσεων και δενδρόφυτων ή καλλιεργούμενων κοιλάδων, με ποικιλόμορφη σε πυκνότητα υφή και χρώματα

βλάστηση και πολλαπλό βάθος πεδίου προς την Μεγαρική πεδιάδα, τον Σαρωνικό ή Κορινθιακό κόλπο και τις γραφικές παραλίες.



Εικόνα 15. Όρος Πατέρα (στο βάθος διακρίνεται η Μεγαρική πεδιάδα) (Πηγή: Φωτογραφικό αρχείο ιδίου).

Οι κοιλάδες που εισχωρούν στον ορεινό όγκο του Πατέρα, ιδίως αυτές του Αγ. Γεωργίου και του Αγ. Ιωάννη του Κόρακα, αποτελούν τοπίο ιδιαίτερου φυσικού κάλλους. Συνίστανται από επίπεδα εύφορα πλατώματα με καλλιεργούμενες εκτάσεις κατά τόπους δενδρώδεις και αραιή διάσπαρτη δόμηση που δεν έχει αλλοιώσει το φυσικό τοπίο. Γύρω από αυτές, οι καταπράσινες πλαγιές αναπτύσσονται ομαλά μέχρι τις ισοϋψείς των 500 μ περίπου, και πιο απότομα ψηλότερα στην περιοχή του Αγ. Γεωργίου, ενώ ομαλές κορυφογραμμές περικλείουν αρμονικά το όλο τοπίο. Η θέα από τις γύρω πλαγιές εκτείνεται απρόσκοπτα σε μεγάλο βάθος και πολλαπλά επίπεδα, μέχρι τα πρόβουνα της Πάρνηθας. Όπως και στον υπόλοιπο Πατέρα, οι οχυρώσεις, οι πύργοι, τα ξωκλήσια και τα ιστορικά κατάλοιπα, προσδίδουν επιπλέον ενδιαφέρον και αναγνωσιμότητα στο τοπίο για τον επισκέπτη.

Ένα μεγάλο μέρος του Πατέρα που ήταν κυριολεκτικά κατάφυτο από πεύκα και πουρνάρια κάηκε στη μεγάλη πυρκαγιά του 1985. Ακόμη βέβαια έχει πεύκα, σχίνα, κουμαριές και έλατα στις ψηλές κορυφές του. Έλατα υπάρχουν ακόμη και στη ΒΔ άκρη του, μεταξύ Κολοσούρας και Γκορίτσας, καθώς και στο Καρύδι. Η οριοθετούμενη από το πρόγραμμα καταγραφής βιοτόπων Corine περιοχή, ανέρχεται σε 55000 στρέμματα με χαμηλότερο υψόμετρο τα 600 μέτρα και υψηλότερο τα 1132 μέτρα.

Οι κύριοι τύποι οικοσυστημάτων που παρουσιάζονται στο όρος Πατέρα είναι οι εξής:

- Δασικά οικοσυστήματα
- Υποβαθμισμένα χερσαία οικοσυστήματα.
- Παραποτάμια οικοσυστήματα.

Τα δασικά οικοσυστήματα ήταν εξαιρετικά εκτεταμένα και ομοιογενή στο όρος Πατέρα. Στις υψηλότερες κορυφές υπήρχε ομοιογενές δάσος κεφαλληνιακής ελάτης και περιφερειακά αυτής εκτεινόταν μια σημαντική έκταση με πευκοδάση υψηλού εξελικτικού σταδίου. Μόνο στα δυτικά της οριοθετημένης περιοχής υπήρχε αραιή βλάστηση πευκοδάσους. Οι ζώνες που κυριαρχούν είναι εκείνες των μεταβατικών δασικών – θαμνωδών εκτάσεων, των εκτάσεων με σκληροφυλλική βλάστηση και των εκτάσεων με αραιή βλάστηση.

Η περιοχή διαθέτει σημαντικά είδη χλωρίδας που αποτελούν και χαρακτηριστικά είδη του νομού Αττικής και της νότιας Ελλάδας είναι τα ακόλουθα : *Acantholimon echinus lycaonicum*, *Asperula baenitzii*, *Asperula pulvinaris*, *Centaurea subsericans*, *Cerastium candidissimum*, *Convolvulus boissieri parnassicus*, *Dianthus serratifolius*, *Fritillaria graeca*, *Nepeta argolica argolica*, *Onosma kaheirei*, *Sideritis raeseri attica*, *stachys spruneri*, *Thymus parnassicus*.

Natura 2000. Έκταση περίπου 6989 χιλ. στρ. στα όρη Γεράνεια έχουν ενταχθεί στο δίκτυο Natura 2000. Μεγάλο τμήμα της έκτασης αυτής βρίσκεται εντός του νομού Κορινθίας και εκτός των στενών ορίων της περιοχής μελέτης. Η σπουδαιότητα της περιοχής αξιολογείται λαμβάνοντας υπόψη τη γειτνίαση του βουνού με το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας. Οι συστάδες της κεφαλληνιακής ελάτης βρίσκονται σε άριστο επίπεδο διατήρησης. Τα δάση της Χαλεπίου πεύκης δημιουργούν φυσικό περιβάλλον μέγιστης αισθητικής αξίας καθώς και οικολογικής σημασίας. Οι δασωμένες εκτάσεις γειτνιάζουν με τη Δυτική Αττική, περιοχή ιδιαίτερα επιβαρυνμένη από τη βιομηχανική δραστηριότητα. Σημαντικός αριθμός ενδημικών φυτών απαντάται στην ευρύτερη περιοχή. Τα Γεράνεια αποτελούν τη μοναδική περιοχή του κινδυνεύοντος ενδημικού υποείδους *Centaurea attica* ssp. *Megarensis* (*Centaurea Megarensis*), οι πληθυσμοί του οποίου είναι μικροί, διάσπαρτοι και δέχονται σημαντική πίεση από βόσκηση και υπερβόσκηση.

Ιδιοκτησιακό καθεστώς Δασών – Δασικών εκτάσεων. Η δασική ιδιοκτησία είναι κατακερματισμένη, με ότι αρνητικές επιπτώσεις συνεπάγεται αυτό για την διατήρηση του δασικού οικοσυστήματος. Με βάση το Ν.Δ. 17/18.10.23 τα περισσότερα δάση Χαλεπίου πεύκης παραχωρήθηκαν κατά κυριότητα στους κατοίκους των Δ. Μεγάρων, που ασκούσαν από επί χρόνια το περιορισμένο δικαίωμα της ρητινοσυλλογής. Το δικαίωμα αυτό επεκτάθηκε σε όλη την επικράτεια όπου υπήρχαν πευκοδάση, με βάση το αρ. 50 του Ν. Δ. 2501/1953. Οι

παραχωρήσεις αυτές αφορούσαν δημόσια δάση και δεν επιτρεπόταν μεταβολή του σκοπού της παραχώρησης (αλλαγή χρήσης).

Την περίοδο 1955-1969, η χαμηλή δασική πρόσδοδος για τους ρητινοσυλλέκτες, σε συνδυασμό με τη στροφή προς τα αστικά επαγγέλματα και με το τουριστικό ενδιαφέρον που απέκτησαν τα δάση Χαλεπίου πεύκης κυρίως της παραλιακής ζώνης, είχαν σαν αποτέλεσμα να γίνουν πολλές μεταβιβάσεις από παραχωρησιούχους ρητινοσυλλέκτες σε Οικοδομικούς Συνεταιρισμούς ή ιδιώτες, με σκοπό την δημιουργία παραθεριστικής κατοικίας, τουριστικών καταλυμάτων κ.ο.κ.

Με το άρθρο 317 του Ν. Δ. 86/1969 περί δασικού κώδικα, καταργήθηκαν οι προαναφερθείσες διατάξεις, έγιναν ορισμένες ανακλήσεις παραχωρητηρίων και νομολογήθηκε από το ΣτΕ η νομιμότητα των ανακλήσεων (1964- 1970). Ορισμένα όμως πολιτικά δικαστήρια είτε και ο Άρειος Πάγος, διαμόρφωσαν αντίθετη νομολογία (νόμιμες οι μεταβιβάσεις).

Το άρθρο 64 του Ν. 998/79, επιχείρησε την επίλυση του ιδιοκτησιακού, θεσπίζοντας την δυνατότητα της πλήρους αναγνώρισης κατά κυριότητα των ρητινευόμενων πευκοτεμαχίων προς τρίτους μη ρητινοσυλλέκτες, χωρίς να επιτρέπεται η περαιτέρω μεταβολή χρήσεως για άλλους σκοπούς. Η τριετής όμως προθεσμία που θεσπίστηκε για την υποβολή των σχετικών αιτήσεων αναγνώρισης στην Νομαρχία, πέρασε με την έκδοση ελάχιστων αποφάσεων αναγνώρισης, προφανώς λόγω του μειωμένου ενδιαφέροντος των ιδιοκτητών που στόχευαν σε οικιστική ανάπτυξη. Η εκπλήρωση του σκοπού των μη ρητινοσυλλεκτών περιεπλάκη περεταίρω, όταν με το σύνταγμα του 1975, κατήργησε την διακριτική ευχέρεια του Υπουργού Γεωργίας να εκδίδει άδειες κατάτμησης δασικών εκτάσεων, που αποτελούσαν απαραίτητη προϋπόθεση για την ένταξη δασικής περιοχής σε οικιστική ανάπτυξη.

Με το αρ.15 του Ν. 3208/2003 (ΦΕΚ 303 Α) που τροποποίησε το Π.Δ. 137/69, τα δάση του Δ. Βιλίων τα οποία υπόκειντο σε διαχείριση με αντίστοιχες διατάξεις μέχρι το 1909, αναγνωρίζονται ως ιδιωτικά. Από αυτά εξαιρείται το ελατοδάσος του Κιθαιρώνα ως ανήκον στο δημόσιο. Στο άρθρο 10 του εν λόγω νόμου, αναφέρονται επίσης τα δάση και οι δασικές εκτάσεις στα οποία το δημόσιο δεν προβάλλει δικαίωμα κυριότητας. Η τυχόν υπαγωγή στην περίπτωση αυτή, εξετάζεται κατά περίπτωση βάσει προσκομιζόμενων στοιχείων από τους ενδιαφερόμενους (στους Δ. Μάνδρας και Μεγάρων). Το θέμα απασχόλησε και απασχολεί τις τελευταίες δεκαετίες την Δασική Υπηρεσία, ενώ η επίλυσή του παραμένει σε εκκρεμότητα. Είναι επομένως κατανοητό ότι η απουσία δασικού κτηματολογίου είναι μέρος και κατοπτρισμός του προβλήματος.

Στην περιοχή των ορεινών όγκων της Δυτ. Αττικής, όπως αναφέρεται αναλυτικότερα και στο αντίστοιχο κεφάλαιο των χρήσεων γης, εντοπίζονται 35 Οικοδομικοί Συνεταιρισμοί, με μεγάλη

διασπορά και σε ορισμένες περιπτώσεις με παραπάνω από μία εκτάσεις (κατά κύριο λόγο στα παράλια του Κορινθιακού και τον ορεινό όγκο του Πατέρα). Οι εκτάσεις που κατέχουν κυμαίνονται στα 100, 500 και 1.000 στρ.).

Συνοπτικά, στην περιοχή μελέτης αναφέρουμε τις παρακάτω ιδιοκτησιακές κατηγορίες δασών:

- **Δάση παραχωρημένα για ρητίνευση** με το Ν. Δ. 17/18.10.23. Αφορούν την συντριπτική πλειοψηφία των δασών της περιοχής των τέως Δ. Μάνδρας και Μεγάρων.
- **Δάση διακατεχόμενα.** Αφορούν σε μικρές δασικές εκτάσεις κυρίως στην περιοχή Κινέττας, οι οποίες κατόπιν δικαστικών ή διοικητικών αποφάσεων, κατέχονται και νέμονται από ιδιώτες ή ΝΠΠΔ, η κυριότητά τους όμως παραμένει στο Δημόσιο.
- **Ιδιωτικά δάση.** Αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό των δασών της περιοχής που προήλθαν από την ολοκλήρωση των διαδικασιών του άρθρου 64 του Ν 998/79. Στην κατηγορία αυτή θα μπορούσαν να υπαχθούν και τα λοιπά δάση του Δ. Μεγάρων, των οποίων η διαχείριση γινόταν ως επί ιδιωτικών εκτάσεων (με την 96855/1984 απόφαση της Γραμματείας του Υπουργείου Οικονομικών), μετά και το άρθρο 3 του ΠΔ 137/81. Από τα παραχωρητήρια ρητινοσυλλογής του 1923, υπάρχει πρόβλημα εντοπισμού των θέσεων- έκτασης στο σύνολό τους.
- **Συνιδιοκτήτητα δάση.** Το δημόσιο εμφανίζεται ως συνιδιοκτήτης (κατέχοντας το μεγαλύτερο ποσοστό) με ιδιώτες, στο ελατοδάσος Ελατιάς των Γερανείων από την υψομετρική ζώνη των 800 μ. μέχρι τα 1366 μ.. Το δάσος, έκτασης 6.660 περίπου στρ., ανήκει εξ αδιαιρέτου κατά τα 2/3 στο δημόσιο και κατά το 1/3 στους δικαιοδόχους Ι. Κουτσαλέξη. (αποφ. 6682/1902 και 1108/1904 Πρωτοδικείου Αθηνών).
- **Κοινόχρηστα - διαθέσιμα κληροτεμάχια εποικιστικής προέλευσης.** Πρόκειται για αρκετές δασικές εκτάσεις οι οποίες απέμειναν μετά τις διανομές εποικιστικών εκτάσεων ως διαθέσιμες ή κοινόχρηστες. Διατηρούν την μορφή δάσους, αφού δεν αποδόθηκαν σε γεωργική εκμετάλλευση και οι κάτοχοί τους τα διαχειρίζονται ως ιδιωτικά (Ν. Πέραμος, Αλεποχώρι).

3.1.3. Κλιματολογικά στοιχεία.

Το κλίμα της περιοχής μελέτης ανήκει στο μεσογειακό τύπο, στον οποίο οι βροχές περιορίζονται στο ψυχρό εξάμηνο (Οκτώβριος-Μάρτιος). Τα Μέγαρα όπως και όλη η δυτική βορειοδυτική Αττική ανήκει στην κύρια μεταβατική ζώνη μεταξύ ηπειρωτικών και γνήσιων μεσογειακών κλιμάτων.

Ο χειμώνας αρχίζει κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Δεκεμβρίου και συνεχίζεται έως τα μέσα Μαρτίου. Σ' αυτό το διάστημα σημειώνονται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες του

έτους και το μεγαλύτερο ύψος των βροχοπτώσεων, όπως άλλωστε συμβαίνει σε ολόκληρη τη χώρα. Στην Αθήνα ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος είναι οι ψυχρότεροι μήνες του έτους.

Η ηλιοφάνεια, το κυριότερο χαρακτηριστικό του Αττικού ουρανού, συνεχίζεται και κατά το μεγαλύτερο μέρος του χειμώνα. Οι νεφοσκεπείς ημέρες δεν υπερβαίνουν τις 45 με 47 και μόνο 17 ημέρες το χρόνο είναι εντελώς ανήλιες και ο ουρανός καλύπτεται ολόκληρος από σύννεφα.

Η άνοιξη στην Αττική είναι σύντομη όπως σ' ολόκληρη τη χώρα, γιατί το καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα, από το τρίτο δεκαήμερο του Μαΐου και παρατείνεται έως τα μέσα του Σεπτεμβρίου. Ο Μάιος είναι περισσότερο θερινός παρά εαρινός μήνας, γιατί παρατηρείται απότομη ύψωση της θερμοκρασίας. Συχνά όμως στις αρχές Μαΐου σημειώνεται εισβολή ψύχους και σημαντική πτώση της θερμοκρασίας που οφείλονται κυρίως στους ανακύκλωνες της βόρειας και της βορειοδυτικής Ευρώπης, στους κυκλώνες και ανακύκλωνες του Ατλαντικού και στις υφέσεις της ανατολικής Μεσογείου. Από τον Ιούνιο έως το Σεπτέμβριο κυρίως τον Ιούλιο και τον Αύγουστο επικρατούν οι υψηλότερες θερμοκρασίες του έτους. Σ' όλο αυτό το διάστημα ο ουρανός είναι αίθριος, η ξηρασία διαρκής, αλλά παρά τον καύσωνα της ημέρας (μέση μέγιστη θερμοκρασία 32,2 βαθμοί) οι νύχτες είναι εξαιρετικά ευχάριστες. Η θαλάσσια αύρα και τα μελτέμια μετριάζουν τον καύσωνα, ο οποίος υποχωρεί μόλις αρχίσει ο Σεπτέμβριος. Τα ετήσια μελτέμια, που δημιουργούνται υπό την επίδραση του αντικυκλώνα των Αζορών, των αντικυκλώνων της δυτικής Ρωσίας και της βορειοδυτικής Ευρώπης, πνέουν σαν βόρειοι περιοδικοί άνεμοι από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο, με μεγαλύτερη συχνότητα στο τρίτο δεκαήμερο του Ιουνίου.

Το Φθινόπωρο θεωρείται η καλύτερη εποχή για την υπό εξέταση περιοχή, όπου η καλοκαιρία όχι σπάνια παρατείνεται έως τα μέσα Δεκεμβρίου. Η θερμοκρασία είναι ήπια ενώ η ξηρασία διακόπτεται από τα πρωτοβρόχια. Ιδιαίτερα ευχάριστες και αίθριες ημέρες σημειώνονται στην περίοδο των τελευταίων ημερών και των πρώτων ημερών του Νοεμβρίου. (Θέος Ν. κ.α. 2010).

3.1.3.1. Ομβροθερμικά στοιχεία

Σχετικά με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα στη περιοχή μελέτης, και σύμφωνα με τα στοιχεία από το βροχομετρικό σταθμό των Μεγάρων φαίνεται ότι έχουμε τις υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης τους μήνες Νοέμβριο — Δεκέμβριο και τις χαμηλότερες τιμές από Ιούλιο - Αύγουστο (Πίνακας 6).

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΓΑΡΩΝ		
	Μέση βροχόπτωση (mm)	Μέση θερμοκρασία (οC)¹
Ιανουάριος	44	9.6
Φεβρουάριος	38.2	10
Μάρτιος	39.2	12.7
Απρίλιος	29.5	16.4
Μάιος	15.3	21.2
Ιούνιος	7.7	26.1
Ιούλιος	4.2	28.8
Αύγουστος	6.9	27.9
Σεπτέμβριος	9.3	24.9
Οκτώβριος	40.1	19.4
Νοέμβριος	51.6	14.4
Δεκέμβριος	57.4	11.3

Πίνακας 6. Μετεωρολογικά στοιχεία μετεωρολογικού σταθμού Μεγάρων(1946-88), (Πηγή Ε.Μ.Υ.).

Σταθμός Μεγάρων (Ε.Μ.Υ) :

Υψόμετρο σταθμού : 1μ

Περίοδος παρατηρήσεων : 1946-1988

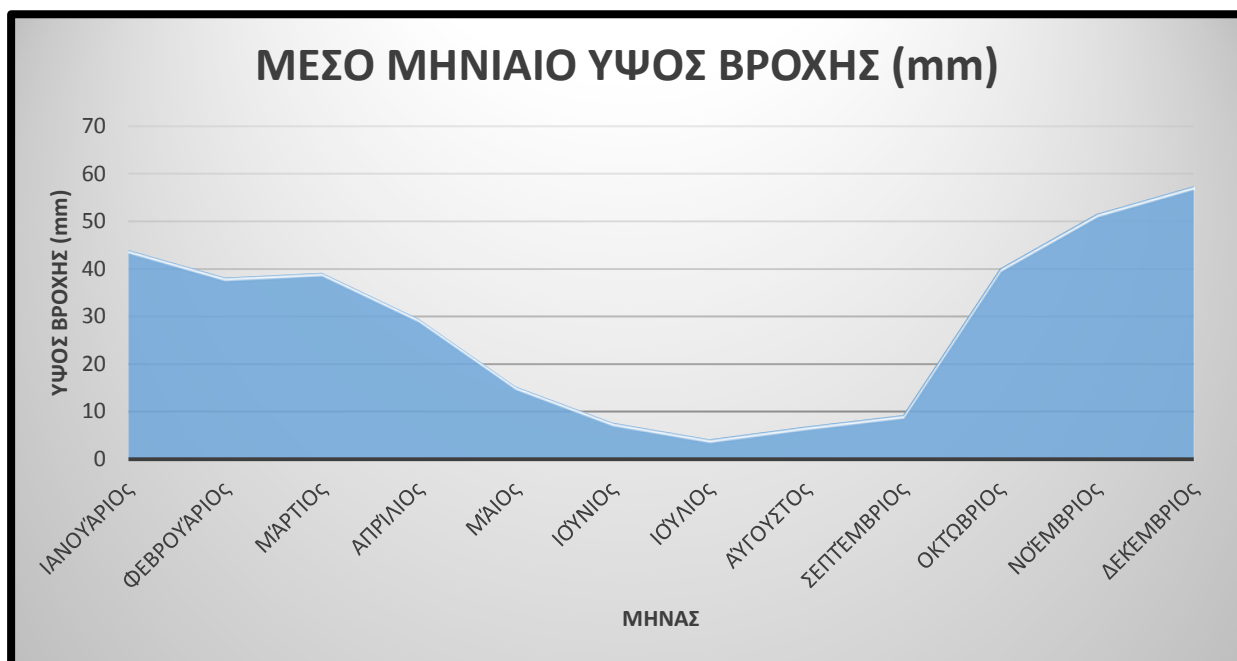
Έτη παρατηρήσεων : 43 έτη

Μέσο ετήσιο ύψος βροχής : 343,4 χιλιοστά

Μέγιστο ετήσιο ύψος βροχής : 738,4 χιλιοστά (1955)

Ελάχιστο ετήσιο ύψος βροχής : 109,0 χιλιοστά (1988)

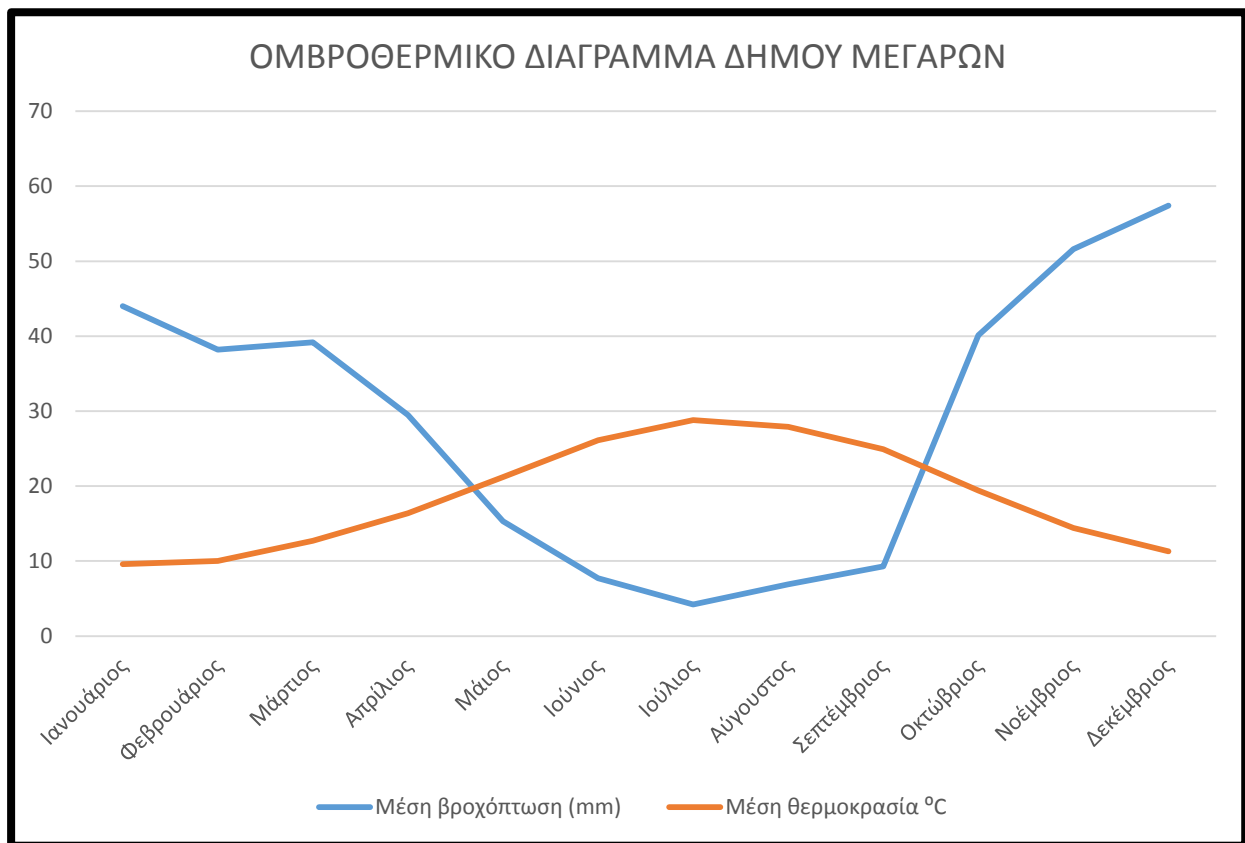
Στα παρακάτω γραφήματα (διαγράμματα 1 και 2) παρουσιάζονται οι κατανομές της μέσης θερμοκρασίας (οC) και του μέσου ύψους βροχής (mm), από τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού Μεγάρων, ενώ στο διάγραμμα 3 παρουσιάζεται το ομβροθερμικό διάγραμμα περιόδου 1946- 1988.



Διάγραμμα 1. Κατανομή μέσων μηνιαίου ύψους βροχής (Πηγή: Ε.Μ.Υ. Ιδία επεξεργασία).



Διάγραμμα 2. Κατανομή μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (Πηγή: Ε.Μ.Υ. Ιδία επεξεργασία).



Διάγραμμα 3. Ομβροθερμικό διάγραμμα περιοχής μελέτης περιόδου 1946-1988 (Πηγή: Ε.Μ.Υ. Ιδία επεξεργασία).

3.2. Ανθρωπογεωγραφικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης.

3.2.1. Ιστορική εξέλιξη Μεγάρων.

3.2.1.1. Η ονομασία της πόλης.

Η ονομασία Μέγαρο διατηρήθηκε από τα αρχαία χρόνια μέχρι σήμερα και μόνο στο Μεσαίωνα απαντάται ο τύπος "Μάγαρο". Οι γραπτές μαρτυρίες διασώζουν διαφορετικές εκδοχές για την ονομασία της πόλης. Ο Πανσανίας, καταγράφοντας την άποψη των Μεγαρέων, τη συσχετίζει με τα "Μέγαρο", τα ιερά της Δήμητρας, τα οποία έφτιαξαν για πρώτη φορά όταν βασιλιάς ήταν ο Καρ, γιος του Φορωνέα, προς τιμή της θεάς, η λατρεία της οποίας ήταν πανάρχαια. Ο Ηρόδοτος και ο Στέφανος ο Βυζάντιος αποδίδουν την ονομασία στον ήρωα Μεγαρέα, γιο του Ποσειδώνα. Η τελευταία ερμηνεία απηχούσε και τις αντιλήψεις των Βοιωτών, σύμφωνα με τον Πανσανία, αφού ο Μεγαρέας που κατοικούσε στην Ορχηστό, ήρθε με στρατό Βοιωτών και βοήθησε τον βασιλιά των Μεγάρων Νίσο στον πόλεμο κατά του βασιλιά της Κρήτης Μίνωα. Σκοτώθηκε όμως στην μάχη και θάφτηκε στην πόλη, η οποία πήρε το όνομά του. Πρωτύτερα η πόλη ονομαζόταν Νισαία.

Στα νεότερα χρόνια οι αρχαιολόγοι έφτασαν σε ένα διαφορετικό συμπέρασμα. Οι ανασκαφές έφεραν στο φως πολλά υπόγεια σπιτιών, τα λεγόμενα μέγαρο, στα οποία οι κάτοικοι της πόλης

αποθήκευσαν τρόφιμα, αλλά και έκαναν λατρευτικές προσφορές στη Δήμητρα. Από αυτά πιστεύουν ότι η πόλη ονομάστηκε Μέγαρα.

3.2.1.2. Μυθολογία.

Η περιοχή των Μεγάρων κατοικείται από την Νεολιθική εποχή. Την Μυκηναϊκή εποχή τα Μέγαρα ήταν μια από τις τέσσερις περιοχές της Αττικής, που κυβερνούσαν οι τέσσερις μυθικοί γιοί του Βασιλιά Πανδίονα του Β'. Ο γιος του Νίσος ήταν κυβερνήτης των Μεγάρων. Η μυθολογική παράδοση των Μεγάρων αναφέρει την ύπαρξη Βασιλέων που κυβέρνησαν την πόλη, οι οποίοι ανήκαν σε πανάρχαιους λαούς όπως οι Λέλεγες και οι Κάρες. Ακόμα και σήμερα υπάρχουν τοπωνύμια που φέρουν τις ονομασίες των λαών αυτών. Ο Πausanias αναφέρει στην περιήγησή του πως, πριν την κατάληψη από τους Δωριείς (π. 1000 π.Χ.), τα Μέγαρα ανήκαν στην πανίσχυρη πόλη των Αθηνών και πως είχαν συνήθειες Ιωνικές. Η άποψη αυτή ενισχύεται μεταξύ άλλων και από τα χαρακτηριστικά της Ιωνικής διαλέκτου και από το γεγονός ότι κάτοικοι των Παγών, απέδιδαν τιμές στον Αιγιαλέα που ήταν ήρωας των Ιώνων της Σικυωνίας και της Αχαΐας.

3.2.1.3. Αρχαία ιστορία.

Μετά την κάθοδο των Δωριέων εγκαταστάθηκαν στην περιοχή των Μεγάρων νέοι πληθυσμοί δωρικής καταγωγής, εκτοπίζοντας αρχαιότερους πληθυσμούς Ιώνων και Βοιωτών που ήταν εγκατεστημένοι στην περιοχή. Οι νέοι κάτοικοι που ονομάστηκαν Μεγαρείς, δημιούργησαν ένα νέο κράτος με έδρα τα Μέγαρα. Τα επόμενα χρόνια οι Μεγαρείς ήρθαν σε σύγκρουση με τους γείτονες τους, αρχικά με τους Κορίνθιους τον 8ο αιώνα π.Χ. και στην συνέχεια με τους Αθηναίους τον 6ο αιώνα π.Χ. Αντικείμενο διαμάχης τους με τους Αθηναίους ήταν το νησί της Σαλαμίνας. Στον Πελοποννησιακό Πόλεμο τα Μέγαρα συμμάχησαν με τη Σπάρτη. Ο πιο διάσημος πολίτης των Μεγάρων στην αρχαιότητα ήταν ο Βύζας, γιος του βασιλιά Νίσου κατά μια παράδοση. Το 657 π.Χ. ο Βύζας, ως επικεφαλής μιας αποικιακής επιχείρησης που είχε οργανώσει η πόλη των Μεγάρων, οδήγησε τους Μεγαρείς αποίκους στην περιοχή του Βοσπόρου. Εκεί οι Μεγαρείς ίδρυσαν μια νέα πόλη, στην οποία έδωσαν το όνομα του ιδρυτή της: Βυζάντιο. Σύμφωνα με τον Στράβωνα (64 π.Χ.-23 μ.Χ.) οι Μεγαρείς έφτασαν εκεί υπακούοντας σ' ένα χρησμό, που είχαν λάβει από το μαντείο των Δελφών. Ο χρησμός αυτός αποκαλούσε «τυφλούς» τους συμπολίτες τους, που λίγα χρόνια πριν, το 685 π.Χ., είχαν ιδρύσει στη ασιατική ακτή του Βοσπόρου τη Χαλκηδόνα. Πράγματι, κατά μίαν έννοια ήταν «τυφλοί», καθώς δεν είχαν αντιληφθεί ότι η περιοχή που βρισκόταν ακριβώς απέναντι από το σημείο που οι ίδιοι είχαν αποικήσει ήταν ιδανικότερη για τη διεξαγωγή του εμπορίου και την αλιεία. Σε αυτή την περιοχή, η οποία συγχρόνως διακρινόταν για τη στρατηγική της θέση, ο Βύζας θεμελίωσε μια από τις πιο σημαντικές πόλεις στην ιστορία της ανθρωπότητας. Ωστόσο, τόσο το

ταξίδι με σκοπό τον αποικισμό όσο και η άφιξη κι η οργάνωση μιας νέας αποικίας χαρακτηρίζονταν από πλήθος αντιξοοτήτων. Όπως μας πληροφορεί η Α. Ραμού-Χαψιάδη (1982), η εγκατάσταση των αποίκων γινόταν είτε σε ακατοίκητη περιοχή, οπότε οι ελλείψεις ήταν πολλές είτε σε κατοικημένη περιοχή, οπότε συχνά οι άποικοι έρχονταν σε ένοπλη σύγκρουση με τους αυτόχθονες (Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).

3.2.1.4. Πληθυσμιακά στοιχεία.

Με βάση τα αποτελέσματα της απογραφής Πληθυσμού – Κατοικιών 2011 για το Μόνιμο πληθυσμό της χώρας, προέκυψαν τα παρακάτω απογραφικά στοιχεία (πίνακες 7 και 8, διαγράμματα 4 και 5), σχετικά με το δήμο Μεγαρέων. Ο Μόνιμος Πληθυσμός αφορά τον αριθμό των ατόμων που έχουν τη συνήθη διαμονή τους στην κάθε Περιφέρεια, Περιφερειακή Ενότητα, Δήμο, Δημοτική Ενότητα, Δημοτική ή Τοπική Κοινότητα και οικισμό της Χώρας. Στο Μόνιμο Πληθυσμό περιλαμβάνονται όλα τα άτομα ανεξαρτήτως υπηκοότητας (ελληνικής ή άλλης χώρας), τα οποία κατά την Απογραφή Πληθυσμού 2011 δήλωσαν τόπο συνήθους διαμονής τους εντός της Ελληνικής Επικράτειας.

	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΜΟΝ. ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ/Τ. ΚΜ.
ΕΛΛΑΔΑ	10815197	81.796
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ	3827264	1005.13
ΠΕΡ. ΕΝΟΤ. ΔΥΤ. ΑΤΤΙΚΗΣ	160927	160.28
ΔΗΜΟΣ ΜΕΓΑΡΕΩΝ	36924	111.85

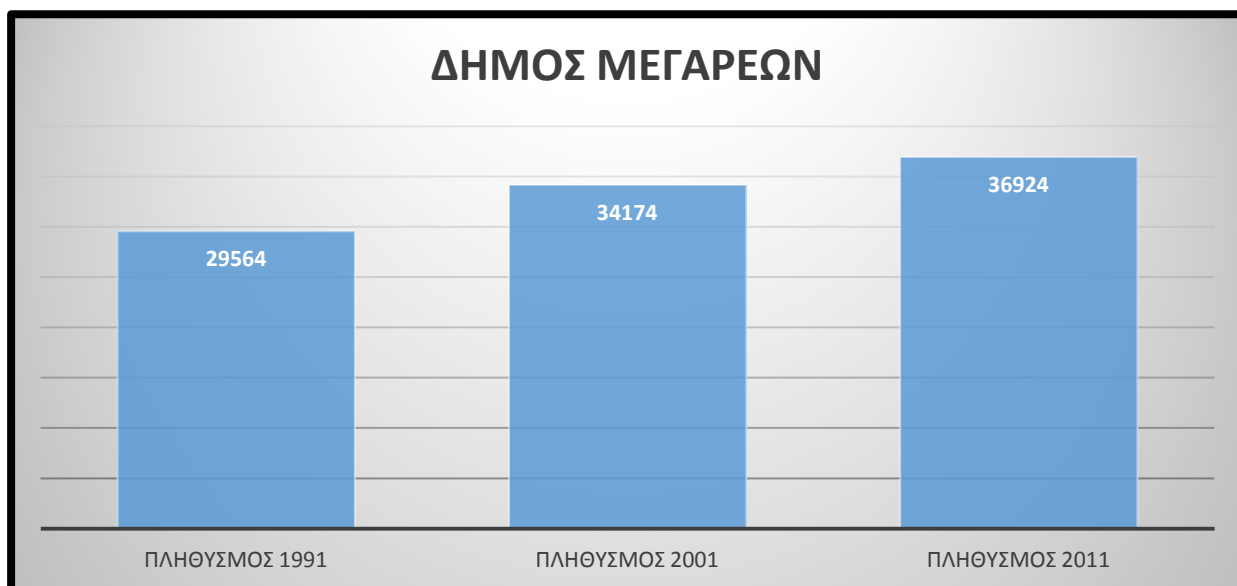
Πίνακας 7. Συγκριτικά πληθυσμιακά στοιχεία Δήμου Μεγαρέων (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).

Ο παρακάτω πίνακας 8 δείχνει την εξέλιξη του πληθυσμού του Δήμου κατά τα έτη 1991 – 2001 – 2011 σε σύγκριση με την αντίστοιχη μεταβολή στη Περιφέρεια Αττικής και σε ολόκληρη την Ελλάδα:

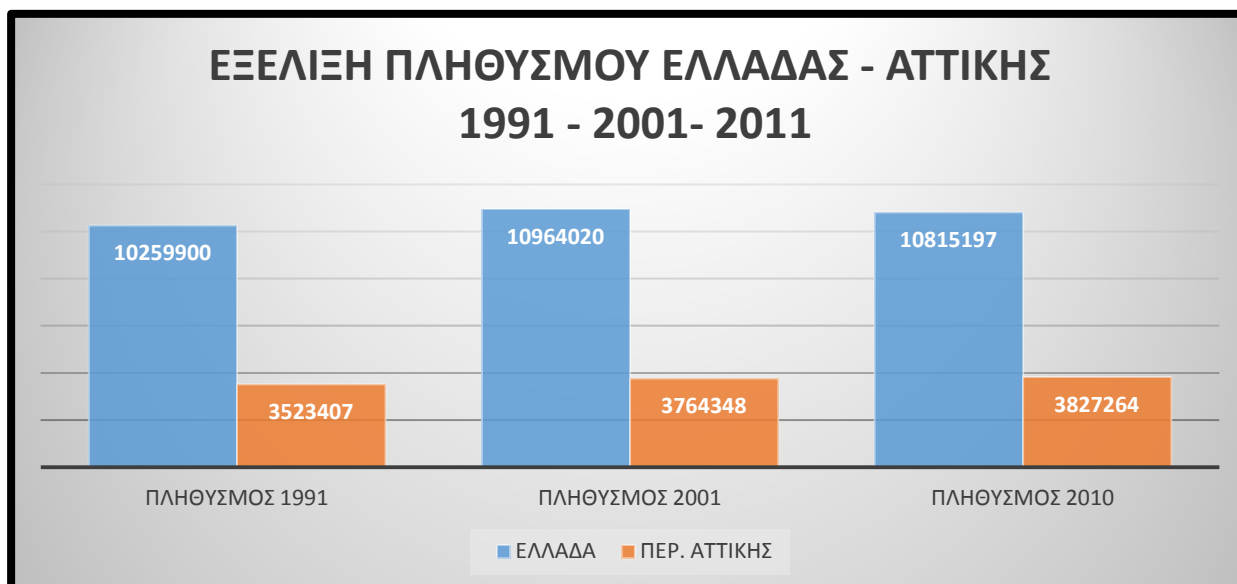
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ 1991	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ 2001	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ 2011
ΕΛΛΑΔΑ	10259900	10964020	10815197
ΠΕΡ. ΑΤΤΙΚΗΣ	3523407	3764348	3827264
ΔΗΜΟΣ ΜΕΓΑΡΕΩΝ	29564	34174	36924

Πίνακας 8. Διαχρονική εξέλιξη πληθυσμού της περιοχής μελέτης (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).

Ενώ στην Ελλάδα έχουμε αύξηση κατά 6,86% από το 1991 έως το 2001 και μετά από το 2001 έως το 2011 μείωση 1,36%, άρα συνολική αύξηση 5,41%. Στο Δήμο Μεγαρέων παρουσιάζεται μια αύξηση του πληθυσμού 15,6% από το 1991 έως το 2001, στη συνέχεια από το 2001 έως το 2011 αύξηση 8,04% και συνολική ποσοστιαία πληθυσμιακή αύξηση εικοσαετίας 24,89%.



Διάγραμμα 4. Διαχρονική εξέλιξη πληθυσμού της περιοχής μελέτης (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014. Ιδία επεξεργασία).



Διάγραμμα 5. Συγκριτική διαχρονική εξέλιξη πληθυσμού της περιοχής μελέτης (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014. Ιδία επεξεργασία).

Στη συνέχεια, με τη χρήση τριών δημογραφικών δεικτών, θα προσδιοριστούν τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού του Δήμου Μεγαρέων. Οι δείκτες αυτοί είναι:

α) Ο δείκτης γήρανσης:

Πληθυσμός 65 ετών και άνω

Δ. Γ = ----- x 100%

Συνολικός πληθυσμός

ΕΤΟΣ	2001
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	16,71%
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ	14,81%
Τ. ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΔΥΤ. ΑΤΤΙΚΗΣ	11,80%
ΔΗΜΟΣ ΜΕΓΑΡΕΩΝ	14,20%

Πίνακας 9. Σύγκριση δείκτη γήρανσης Δήμου Μεγαρέων με ευρύτερες γεωγραφικές ενότητες (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).

Ο δείκτης γήρανσης, στον Δήμο, βρίσκεται κάτω από το μέσο όρο της χώρας. Διαχρονικά αυξάνεται, όπως άλλωστε και στη χώρα. Επίσης είναι ελάχιστα μικρότερος από τον μέσο όρο στην Περιφέρεια Αττικής και μεγαλύτερος από αυτόν στην τέως Νομαρχία Δυτικής Αττικής.

Αυτό σημαίνει ότι ο πληθυσμός του Δήμου γηράσκει με κανονικούς ρυθμούς

β) Ο δείκτης νεανικότητας:

Πληθυσμός 0-14 ετών

Δ. Ν. = ----- x 100%

Συνολικός Πληθυσμός

ΕΤΟΣ	2001
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	15,19%
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ	14,25%
Τ. ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΔΥΤ. ΑΤΤΙΚΗΣ	18,80%
ΔΗΜΟΣ ΜΕΓΑΡΕΩΝ	17,30%

Πίνακας 10. Σύγκριση δείκτη νεανικότητας Δήμου Μεγαρέων με ευρύτερες γεωγραφικές ενότητες (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).

Ο Δήμος εμφανίζει υψηλό δείκτη νεανικότητας μεγαλύτερο από αυτόν της Περιφέρειας Αττικής αλλά και του συνόλου της χώρας. Χαμηλό δείκτη εμφανίζει η Περιφέρεια Αττικής μικρότερο από αυτόν του συνόλου της Ελλάδος. Από τον Δείκτη αυτόν προκύπτει η αναγκαιότητα να σχεδιάσει ο Δήμος δράσεις στήριξης της νεολαίας.

γ) Ο δείκτης εξάρτησης:

Πληθυσμός [0-14 + 65 και άνω]

$\Delta. E. = \frac{\text{Πληθυσμός 15-64 ετών}}{\text{Πληθυσμός [0-14 + 65 και άνω]}} \times 100\%$

Πληθυσμός 15-64 ετών

ΕΤΟΣ	2001
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	31,90%
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ	29,06%
Τ. ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΔΥΤ. ΑΤΤΙΚΗΣ	44,07%
ΔΗΜΟΣ ΜΕΓΑΡΕΩΝ	45,97%

Πίνακας 11. Σύγκριση δείκτη εξάρτησης Δήμου Μεγαρέων με ευρύτερες γεωγραφικές ενότητες (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).

Ο Δείκτης εξάρτησης του Δήμου Μεγαρέων είναι σαφέστατα υψηλότερος από αυτόν της χώρας και της Περιφέρειας και ελάχιστα μεγαλύτερος από της Νομαρχίας. Αυτό σημαίνει ότι στην περιοχή αυτή συγκεντρώνεται αρκετά μικρό ποσοστό του παραγωγικού ανθρωπίνου δυναμικού. Αυτή είναι μια τάση που υπάρχει για την υπόλοιπη Ελλάδα και βρίσκεται σε αντίθεση με την τάση η οποία εμφανίζεται στο σύνολο της Περιφέρειας Αττικής και της Νομαρχίας Αθηνών αλλά και γενικότερα στα μεγάλα αστικά κέντρα.

3.2.1.5. Οικονομικά στοιχεία.

Το μεγαλύτερο ποσοστό του οικονομικά ενεργού πληθυσμού στο Δήμο Μεγαρέων απασχολείται σε κλάδους του τριτογενούς και του δευτερογενούς τομέα ενώ λιγότεροι από έναν στους πέντε στον πρωτογενή. Πιο συγκεκριμένα, το 46,3% επί του συνόλου των κατοίκων του Δήμου Μεγαρέων ασχολείται με τον τριτογενή τομέα, το 31,6% με τον δευτερογενή και μόλις το 16,5% με τον πρωτογενή τομέα.

Η κατανομή του ενεργού πληθυσμού στους τρεις παραγωγικούς τομείς παρουσιάζεται στο πίνακα 12:

ΕΤΟΣ 2001	Τ. ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΔΥΤ.ΑΤΤΙΚΗΣ		ΔΗΜΟΣ ΜΕΓΑΡΕΩΝ	
	ΑΤΟΜΑ	%	ΑΤΟΜΑ	%
Πρωτογενής	6938	6.40%	1992	16.50%
Δευτερογενής	36960	34.10%	3810	31.60%
Τριτογενής	56894	52.50%	5581	46.30%
Δεν δήλωσαν/νέοι	7564	7%	677	5.60%
Σύνολα	108356		12060	

Πίνακας 12. Κατανομή του ενεργού πληθυσμού Δήμου Μεγαρέων στους τρεις παραγωγικούς τομείς. (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).

Το ποσοστό της απασχόλησης στον τριτογενή τομέα στα Μέγαρα (46,3%) υπολείπεται κατά 6,2% του μέσου όρου της τ. Νομαρχίας Δυτικής Αττικής (52,5%). Αντίθετα, το ποσοστό της απασχόλησης στον πρωτογενή τομέα στα Μέγαρα (16,5%) είναι αυξημένο κατά 10% περίπου σε σχέση με το μέσο όρο της τ. Νομαρχίας Δυτικής Αττικής (6,4%), πράγμα που αναδεικνύει τον αγροτικό χαρακτήρα της περιοχής.

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ΚΛΑΔΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ			
Κλάδος οικονομικής δραστηριότητας	Άρρενες	Θήλειες	Σύνολο
Γεωργία κτηνοτροφία θήρα και δασοκομία, αλιεία	1269	677	1946
Ορυχεία και λατομεία	39	7	46
Μεταποιητικές βιομηχανίες	1332	332	1664
Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος φυσικού αερίου και νερού	76	24	100
Κατασκευές	2008	38	2046
Χονδρικό λιανικό εμπόριο επισκευή οχημάτων, ειδών προσωπικής και οικιακής χρήσης	1239	723	1962
Ξενοδοχεία και εστιατόρια	227	226	453
Μεταφορές αποθήκευση και επικοινωνίες	635	57	692
Ενδιάμεσοι χρηματοπιστωτικοί οργανισμοί, διαχείριση ακίνητης περιουσίας	314	310	624
Δημόσια διοίκηση και άμυνα. Υποχρεωτική κοινωνική ασφάλιση	591	200	791
Εκπαίδευση	152	261	413
Υγεία και κοινωνική μέριμνα	101	180	281
Λοιπές υπηρεσίες	165	200	365
Νέοι, Μη δυνάμενοι να καταταγούν κατά κλάδο	513	164	677
Σύνολο	8661	3399	12060

Πίνακας 13. Ταξινόμηση πληθυσμού Δήμου Μεγαρέων κατά κλάδο οικονομικής δραστηριότητας (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014).

Ο κλάδος των Κατασκευών (16,97%) μαζί με τον κλάδο Χονδρικό και λιανικό εμπόριο επισκευή αυτοκινήτων οχημάτων μοτοσυκλετών και ειδών προσωπικής και οικιακής χρήσης (16,27%) και Γεωργία κτηνοτροφία θήρα και δασοκομία, αλιεία, (16,14%), είναι αυτοί οι οποίοι μαζί με τον κλάδο Μεταποιητικές βιομηχανίες (13,8%) απασχολούν το μεγαλύτερο ποσοστό του οικονομικά ενεργού πληθυσμού του Δήμου.

Πρωτογενής τομέας. Οι υπάρχουσες καλλιεργούμενες εκτάσεις και τα βοσκοτόπια που καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση (186 χιλ. στρέμματα), καθιστούν τον πρωτογενή τομέα, το μέλλον του Δήμου Μεγαρέων, σύμφωνα με τους τοπικούς φορείς.

ΟΙ δραστηριότητες του κλάδου στο Δήμο Μεγαρέων αντανακλώνται στην ύπαρξη επαγγελματικών ενώσεων. Στην περιοχή υπάρχουν οι ακόλουθοι Συνεταιρισμοί:

- Αγροτικός
- Αμπελουργικός
- Πτηνοτροφικός
- Κτηνοτροφικός
- Παραγωγών / Κηπευτικών

Ο Αγροτικός ιδρύθηκε το 1992 και σήμερα αριθμεί 1100 μέλη εκ των οποίων τα 500 ενεργά. Διαθέτει ελαιοτριβείο, πρατήριο φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων, κάνει διαλογή και συγκέντρωση φιστικιών, έχει θεριζοαλωνιστικές μηχανές, βοηθά τα μέλη και τα ενημερώνει για επιδοτήσεις.

Ο Αμπελουργικός ιδρύθηκε το 1912 και το 1922 κατασκευάστηκε οινοποιείο. Το 1990 πραγματοποιείται ριζικός εκσυγχρονισμός και επαναλειτουργεί το 1995 με δραστηριότητες τη συγκέντρωση και μουςτοποίηση σταφυλιών, την παραγωγή κρασιών και την πώληση μούστου.

Ο Κτηνοτροφικός αριθμεί πάνω από 1000 μέλη με κύρια δραστηριότητα τη διαχείριση των επιδοτήσεων.

Δευτερογενής τομέας. Ο δευτερογενής τομέας, καταλαμβάνει το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγικής δραστηριότητας του Δήμου Μεγαρέων και συγκεκριμένα το 31,6%. Οι κλάδοι στην περιοχή που μελετάμε, είναι κυρίως οι παρακάτω:

- Μεταποιητικές βιομηχανίες
- Κατασκευές
- Ορυχεία και λατομεία

Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία του Βιοτεχνικού και Εμπορικού Βιομηχανικού Επιμελητηρίου Πειραιώς (Φεβρουάριος 2012), ο Δήμος Μεγαρέων είχε το 2010, 739 βιοτεχνίες και 171 βιομηχανικές μονάδες. Από τότε όμως, ο αριθμός τους έχει μειωθεί δραματικά. Πλέον ο Δήμος αριθμεί, 560 βιοτεχνίες και 130 βιομηχανικές μονάδες, παρουσιάζοντας πτώση 25%.

Τριτογενής τομέας. Ο τομέας του εμπορίου και των υπηρεσιών κατέχει σημαντική θέση στην οικονομία της περιοχής, καθώς αριθμεί ένα σημαντικό πλήθος επιχειρήσεων που προσφέρουν τις περισσότερες θέσεις εργασίας σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο τομέα οικονομικής δραστηριότητας. Για τον λόγο αυτό μάλιστα, έχει ιδρυθεί ο Εμπορικός Σύλλογος Μεγάρων, ο οποίος έχει στόχο την διαφύλαξη, μελέτη και η προαγωγή των κοινών οικονομικών και επαγγελματικών συμφερόντων των μελών του, στα πλαίσια της εξυπηρέτησης του κοινωνικού συνόλου.

Ο Δήμος Μεγαρέων διαθέτει μεγάλο αριθμό καταστημάτων λιανικού και χονδρικού εμπορίου, τα οποία τονώνουν την τοπική αγορά και είναι υψίστης σημασίας για την οικονομία της. Τα τελευταία χρόνια βέβαια, καταγράφεται σημαντική μείωση του ρυθμού δημιουργίας νέων καταστημάτων, ενώ ταυτόχρονα, κυρίως από το 2010 και μετά, πολλά από αυτά έκλεισαν ή πρόκειται να κλείσουν σύντομα.

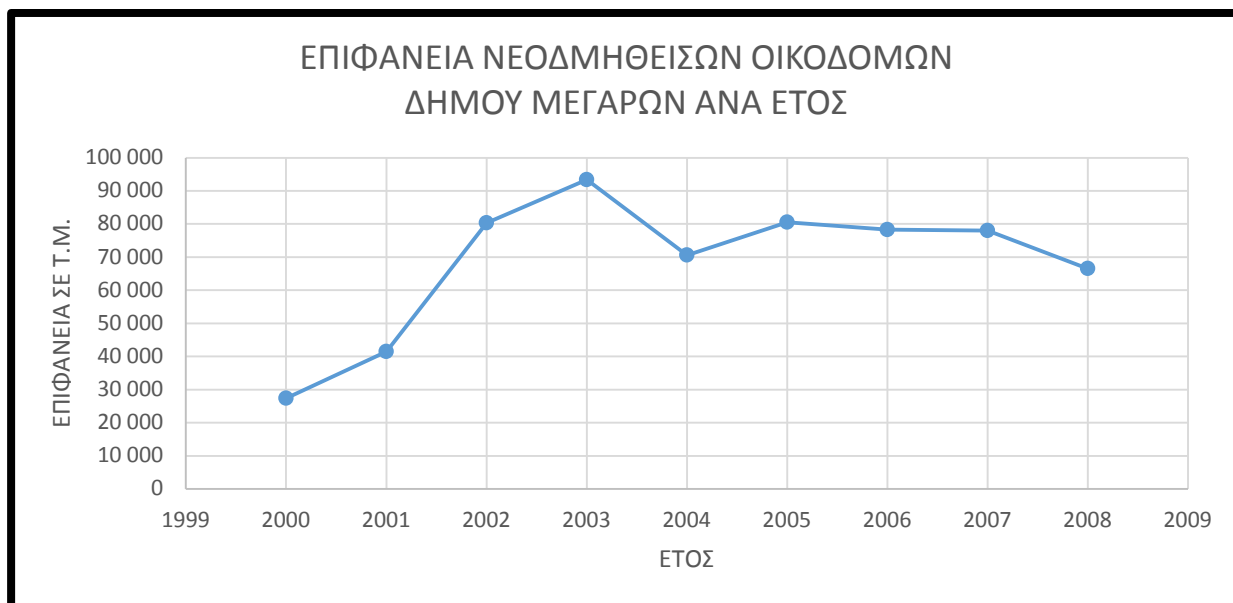
Σύμφωνα με το Ε.Ε.Π. (Επαγγελματικό Επιμελητήριο Πειραιά) για το 2010, ο Δήμος Μεγαρέων αριθμούσε 1993 επιχειρήσεις, εκ των οποίων οι 765 πρόσφεραν υπηρεσίες. Πλέον, οι επιχειρήσεις είναι μόλις 1523, εκ των οποίων οι 613 προσφέρουν υπηρεσίες. Σύμφωνα με τους τοπικούς φορείς άνω του 90% των επιχειρήσεων που δημιουργήθηκαν με επιδοτήσεις του ΟΑΕΔ έκλεισαν ή πρόκειται να κλείσουν. Οι πιθανές αιτίες γι' αυτό, σύμφωνα πάντοτε με τους ίδιους είναι οι παρακάτω:

- Ο σχεδιασμός τους ήταν κεντρικός και όχι με βάση την μελέτη της τοπικής κοινωνίας
- Οι επιχειρηματίες δεν εκτιμούσαν επαρκώς τους κινδύνους, λόγω του ότι τα κεφάλαιά τους προέρχονταν από επιδοτήσεις.

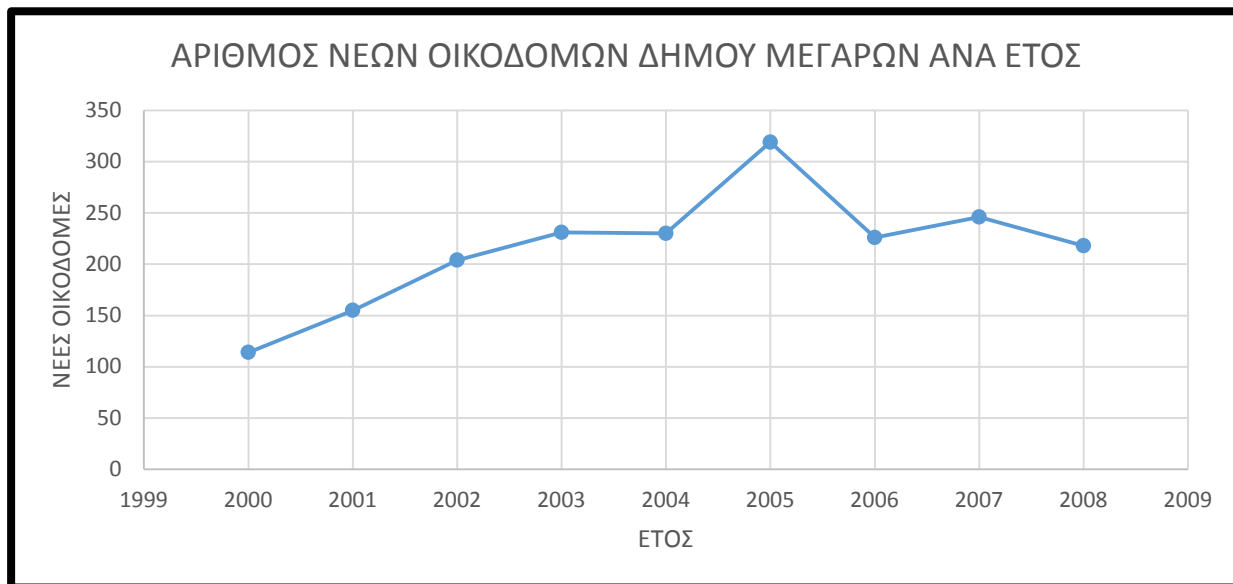
Σημαντικά στοιχεία σχετικά με την οικοδομική δραστηριότητα απεικονίζονται στο παρακάτω πίνακα 14 και στα διαγράμματα 6 και 7:

ΔΗΜΟΣ ΜΕΓΑΡΩΝ 2000 -2008		
ΝΕΕΣ ΟΙΚΟΔΟΜΕΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ		
ΕΤΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
2000	114	27 388
2001	155	41 485
2002	204	80 332
2003	231	93 369
2004	230	70 611
2005	319	80 533
2006	226	78 282
2007	246	78 004
2008	218	66 550
ΣΥΝΟΛΟ	1943	616 554

Πίνακας 14. Διαχρονική εξέλιξη έκδοσης νέων οικοδομικών αδειών στο Δήμο Μεγαρέων για το χρονικό διάστημα 2000 – 2008 (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014. Ιδία επεξεργασία).



Διάγραμμα 6. Διαχρονική εξέλιξη συνολικής επιφάνειας νεοδημηθισών οικοδομών στο Δήμο Μεγαρέων για το χρονικό διάστημα 2000 – 2008 (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014. Ιδία επεξεργασία).



Διάγραμμα 7. Διαχρονική εξέλιξη αριθμού έκδοσης νέων οικοδομικών αδειών στο Δήμο Μεγαρέων για το χρονικό διάστημα 2000 – 2008 (Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014. Ιδία επεξεργασία).

Από τον ανωτέρω πίνακα 14 και τα διαγράμματα 6 και 7 τα οποία απεικονίζουν το ρυθμό της οικοδομικής δραστηριότητας, συνάγεται το συμπέρασμα ότι το χρονικό διάστημα 2000- 2005 υπήρξε μια αυξητική τάση στον αριθμό των νεοδημηθισών οικοδομών, και στη περίοδο 2005 – 2008 υπήρξε μια μικρή πτώση, η οποία όμως στη συνέχεια σταθεροποιήθηκε. Συνολικά κατά τη

περίοδο 2000 -2008, στο Δήμο Μεγάρων χτίστηκαν 1943 οικοδομές, οι οποίες πρόσθεσαν 616.554 τετραγωνικά μέτρα στον αστικό ιστό.

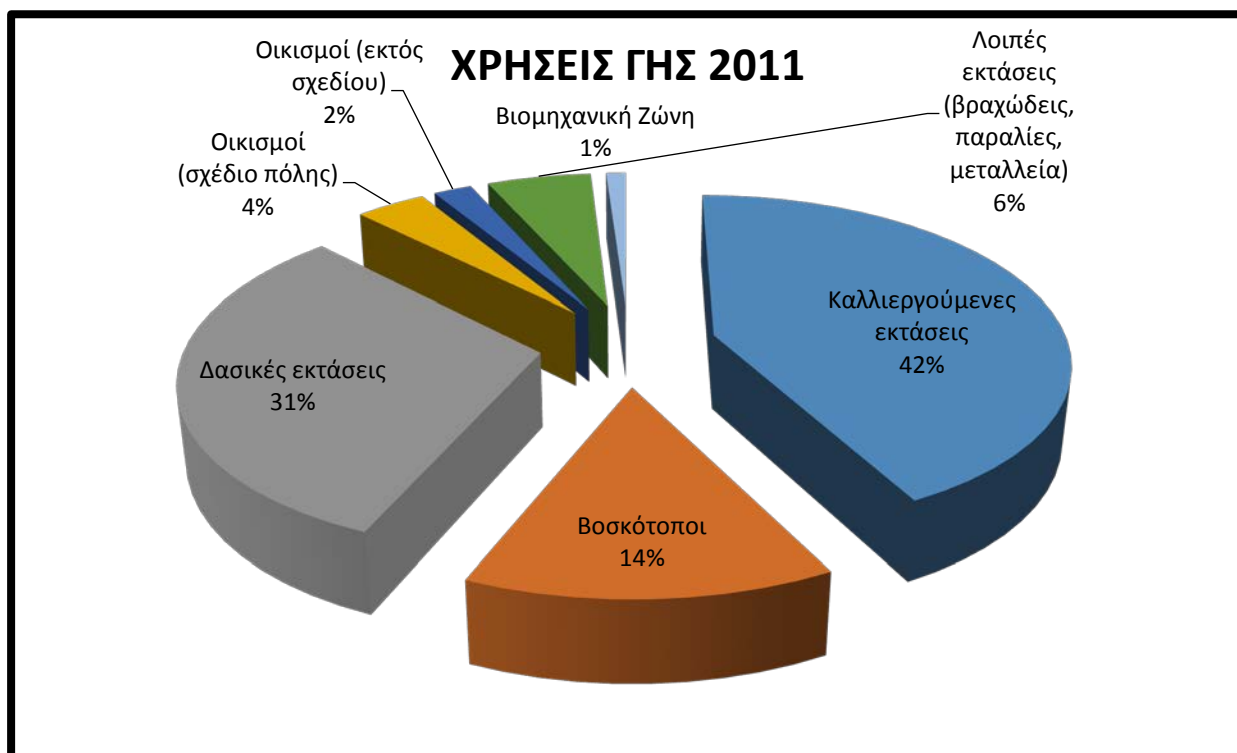
3.2.1.6. Χρήσεις γης.

Η συνολική έκταση του Καλλικρατικού Δήμου Μεγαρέων είναι 330.330 στρέμματα. Η κατανομή των χρήσεων γης, με βάση τα στοιχεία της Τεχνικής Υπηρεσίας του Δήμου, που αφορούν δεδομένα του έτους 2011 είναι η ακόλουθη:

- καλλιεργούμενες εκτάσεις 140 χιλ. στρεμμάτων (42,4%)
- βοσκότοποι (ιδιωτικοί και κοινοτικοί-δημοτικοί) 46 χιλ. στρεμμάτων (13,9%)
- δασικές εκτάσεις 103 χιλ. στρεμμάτων (31,2%)
- οικισμοί 19,3 χιλ. στρεμμάτων (5,84%), εκ των οποίων τα 12,5 χιλ. είναι εντεταγμένα στο σχέδιο πόλης
- λοιπές εκτάσεις (βραχώδεις, παραλίες, μεταλλεία κλπ.) 18,5 χιλ. στρεμμάτων (5,6%)
- 3500 στρέμματα (1%) ανήκουν στη Βιομηχανική Ζώνη (ΒΙΕΠΕ-ΒΤΟΠΑ) (περιοχές Παπά Περιβόλι και Αλμυρός).

ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ 2011	ΕΜΒΑΔΟΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ
Καλλιεργούμενες εκτάσεις	140000000 m2	42,39%
Βοσκότοποι	46000000 m2	13,93%
Δασικές εκτάσεις	103000000m2	31,18%
Οικισμοί (σχέδιο πόλης)	12500000 m2	3,78%
Οικισμοί (χωρίς σχέδιο)	6800000 m2	2,06%
Λοιπές εκτάσεις (βραχώδεις, παραλίες, μεταλλεία)	18500000 m2	5,60%
Βιομηχανική Ζώνη	3500000m2	1,06%
Συνολική έκταση Δήμου	330300000m2	100%

Πίνακας 15. Κατανομή χρήσεων γης Δήμου Μεγαρέων 2011 (Πηγή: Στοιχεία Τεχνικής Υπηρεσίας Δήμου Μεγαρέων)



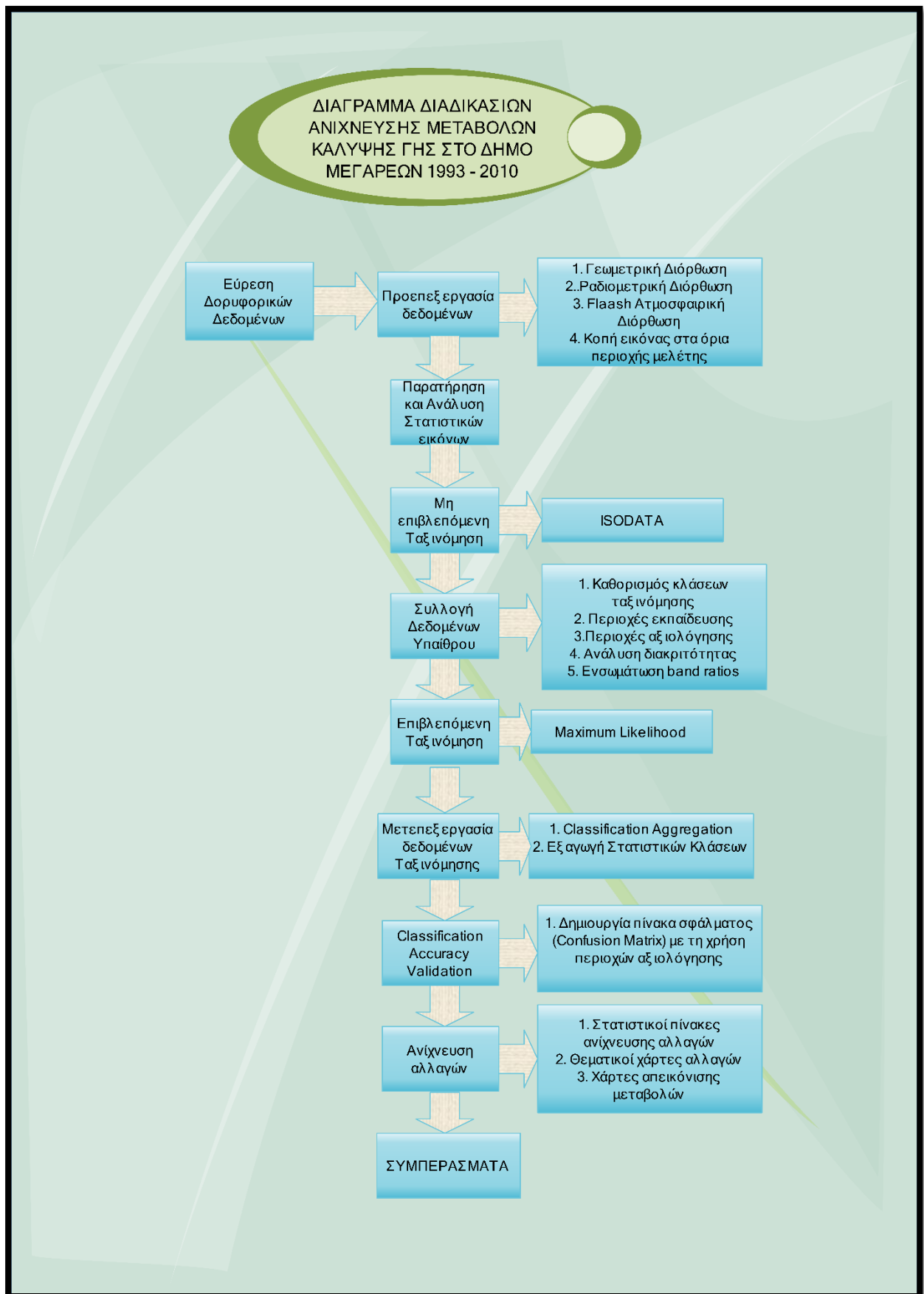
Διάγραμμα 8. Οπτική απεικόνιση σε μορφή «πίτας» των χρήσεων γης της περιοχής μελέτης έτους 2011 (Πηγή: Στοιχεία Τεχνικής Υπηρεσίας Δήμου Μεγαρέων).

Το συνολικό μήκος των ακτών είναι 45 χιλιόμετρα, από τις οποίες τα 25 χιλιόμετρα είναι παραλίες κατάλληλες για κολύμβηση. Περιβόλι και Αλμύρες).

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1. Σκοπός μελέτης

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η δημιουργία ενός μοντέλου ροής εργασιών, με τη χρήση προηγμένων τεχνικών τηλεπισκόπησης, το οποίο θα αποδώσει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή των χρήσεων/κάλυψης γης του Δήμου Μεγάρων για τη χρονική περίοδο 1993 έως 2010, με έμφαση στη διαχρονική εξέλιξη των δασικών οικοσυστημάτων της περιοχής μελέτης. Το μοντέλο ροής εργασιών παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα 9:



Διάγραμμα 9. Μοντέλο ροής διαδικασιών μελέτης.

Η μέθοδος προσέγγισης στηρίζεται στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση διαχρονικής σειράς δορυφορικών εικόνων Landsat, με βάση τις διακρίσεις της δασικής βλάστησης από τη δασική νομοθεσία σε συνδυασμό με τη διάκριση χρήσεων γης που δόθηκαν από το πρόγραμμα Corine Land Cover.

Για την επίτευξη του στόχου της μελέτης και την εκτέλεση του ανωτέρω μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν οι δοκιμαστικές εκδόσεις του λογισμικού επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων ENVI 5.2 του οίκου EXELIS και του λογισμικού Γ.Σ.Π. ArcGIS 10.1 του οίκου ESRI.

Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της μεθόδου είναι:

- Δορυφορικές εικόνες Landsat TM με ημερομηνίες λήψης τον Αύγουστο των ετών 1993, 2001 και 2010.
- Το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (D.E.M.) του δορυφόρου ASTER.
- Οι δορυφορικές εικόνες του Google Earth για τις χρονικές στιγμές 28-7-2010 και 23-8-2002.
- Οι ορθοφωτοχάρτες του Υπουργείου Γεωργίας έτους 1996.
- Οι ορθοφωτοχάρτες της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. έτους 2007.
- Οι αεροφωτογραφίες της περιοχής Μεγάρων 1987, 1995 και 2001 της Δ/νσης Δασών Δυτικής Αττικής
- Τα δεδομένα του ευρωπαϊκού προγράμματος Corine Land Cover έτους 2000.
- Τα δεδομένα πεδίου τα οποία συλλέχθηκαν με τη βοήθεια του προσωπικού του Δασαρχείου Μεγάρων.
- Τα όρια του δήμου Μεγάρων σε διανυσματικό αρχείο (shp) από τον διαδικτυακό χώρο geodata.gov.gr

4.2 Απόκτηση δεδομένων

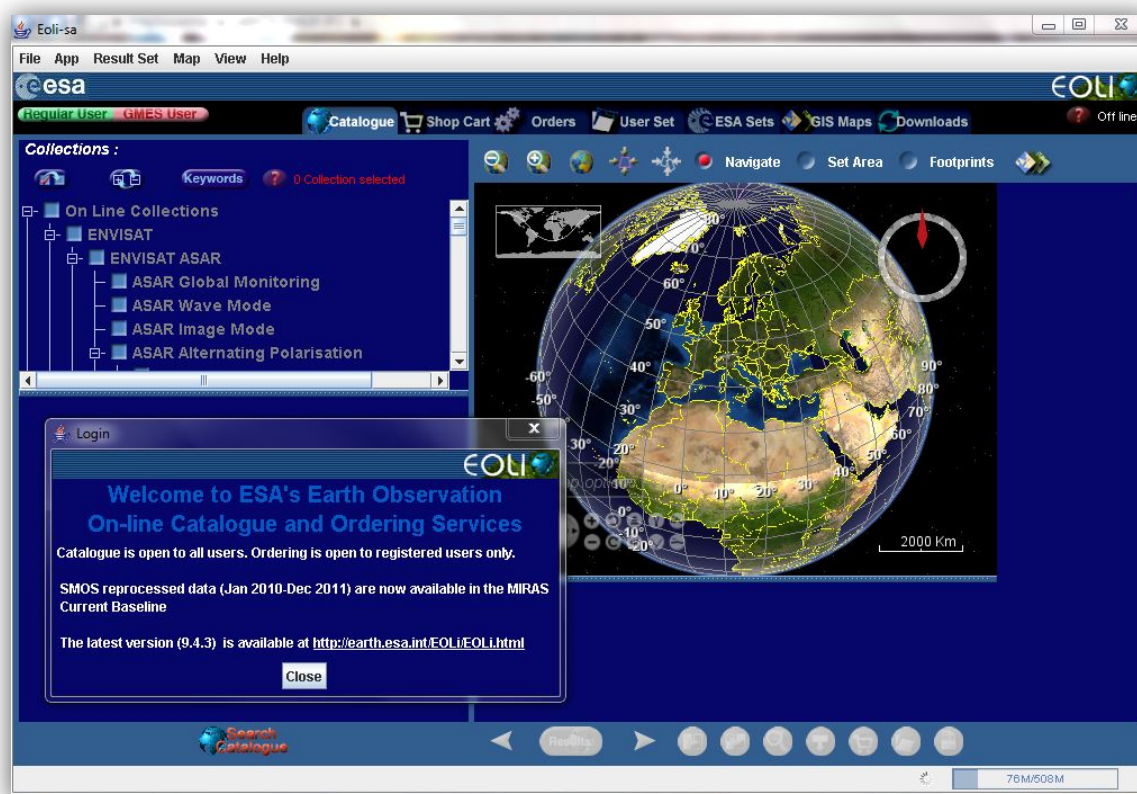
Οι 3 δορυφορικές εικόνες προέρχονται από το θεματικό χαρτογράφο του δορυφόρου Landsat 5 και είναι διαθέσιμες δωρεάν από τον ιστότοπο <http://earthexplorer.usgs.gov/> του Αμερικάνικου Γεωλογικού Ινστιτούτου U.S.G.S. (United States Geological Survey) και από τον ιστότοπο <http://glcf.umiacs.umd.edu/> του Global Land Cover Facility (GLCF) Υποστηρίζεται από το Πανεπιστήμιο του Maryland, τη NASA και το GOFD-GOLD (Global Observation of Forest and LandCover Dynamics). Τέλος οι εικόνες Landsat είναι διαθέσιμες και από τον ιστότοπο της E.S.A. (European Space Agency) <https://earth.esa.int/web/guest/eoli>.

Η εγγραφή γίνεται εύκολα, παραθέτοντας τα ατομικά στοιχεία του μελετητή, το είδος των δορυφορικών δεδομένων και που θα χρησιμοποιηθούν αυτά.

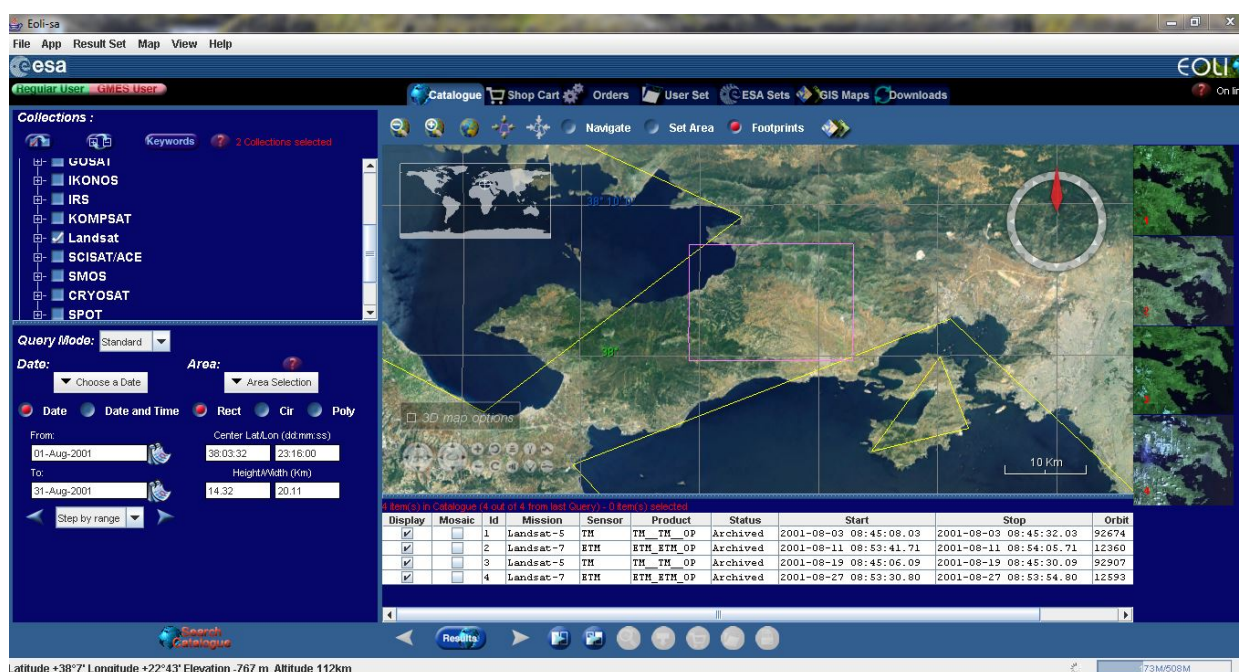
Στη συνέχεια με τους παρεχόμενους κωδικούς εγκαθίσταται το λογισμικό EOLISA (εικόνα 16), όπου γίνεται η περιήγηση στα μεταδεδομένα και στις εικόνες προεπισκόπησης των δεδομένων παρατήρησης της Γης που αποκτήθηκαν από τους δορυφόρους: Envisat, ERS, Landsat, IKONOS, DMC, ΑΛΟΣ, SPOT, Kompsat, Proba, IRS, SCISAT και γίνεται η παραγγελία των εικόνων (εικόνες 17 και 18).



Εικόνα 16. Εγκατάσταση λογισμικού EOLISA.



Εικόνα 17. Οθόνη διεπαφής λογισμικού EOLISA



Εικόνα 18. Προεπισκόπηση διαθέσιμων δορυφορικών εικόνων και παραγγελία.

Η επιλογή των εικόνων έγινε με τα παρακάτω κριτήρια:

- Οι εικόνες έπρεπε να έχουν μεταξύ τους μια χρονική διαφορά τουλάχιστον 5 ετών για να είναι δυνατή η χρονική διαφοροποίηση των χρήσεων γης.

- Οι εικόνες έπρεπε να έχουν ληφθεί από δέκτες ίδιας ή παρόμοιας τεχνολογίας και να περιέχουν κανάλια φασμάτων.
- Η λήψη των εικόνων έπρεπε να είναι ίδια για κάθε έτος ώστε να υπάρχει ταύτιση στην εποχική βλάστηση.
- Οι επιλεγμένες εικόνες θα έπρεπε για τη περιοχή μελέτης να είναι διαυγείς, χωρίς νεφοκάλυψη για να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα στην ψηφιακή ανάλυση.

Το πρωτογενές δορυφορικό υλικό που θα χρησιμοποιηθεί στη παρούσα μελέτη προέρχεται από το θεματικό χαρτογράφο (TM Thematic Mapper) του δορυφόρου Landsat-5 με ημερομηνία δημιουργίας του, τις 29-8-1993, 19-8-2001 και 12-8-2010 κάτι που δείχνει ότι είναι τραβηγμένες την ίδια εποχή. Και στις 3 ημερομηνίες η περιοχή ενδιαφέροντος είναι καθαρή από σύννεφα. Επίσης έχουν επιλεγεί μόνο οι μπάντες 1-5 και η 7 για να χρησιμοποιηθούν στη μελέτη.

Πληροφορίες μεταδεδομένων. Σε κάθε φάκελο των αρχείων του πρωτογενούς υλικού δορυφορικών δεδομένων, υπάρχει ένα αρχείο μεταδεδομένων με κατάληξη MTL. Το αρχείο αυτό περιέχει σημαντικές πληροφορίες και στοιχεία που αφορούν τη λήψη της κάθε εικόνας. Στη παρακάτω εικόνα εμφανίζεται το αρχείο MTL της δορυφορικής εικόνας του 2010.

```

GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
REQUEST_ID = 0001008120000_00000
PRODUCT_CREATION_TIME = 2013-04-09T12:46:57Z
STATION_ID = ""
LANDSAT5_XBAND = "0"
GROUND_STATION = ""
LPS_PROCESSOR_NUMBER = "0"
DATEHOUR_CONTACT_PERIOD = "1000008"
SUBINTERVAL_NUMBER = "00"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
PRODUCT_TYPE = "L1T"
ELEVATION_SOURCE = "SRTM_90"
PROCESSING_SOFTWARE = "ACS_1.8.1"
EPHEMERIS_TYPE = "PREDICTIVE"
SPACECRAFT_ID = "Landsat5"
SENSOR_ID = "TM"
ACQUISITION_DATE = 2010-08-12
WRS_PATH = 183
STARTING_ROW = 000
ENDING_ROW = 000
BAND_COMBINATION = 1234567
PRODUCT_UL_CORNER_LAT = 39.0106506
PRODUCT_UL_CORNER_LON = 22.0394154
PRODUCT_UR_CORNER_LAT = 38.9590225
PRODUCT_UR_CORNER_LON = 24.6222534
PRODUCT_LL_CORNER_LAT = 37.1444931
PRODUCT_LL_CORNER_LON = 22.0133266
PRODUCT_LR_CORNER_LAT = 37.0961952

```

Εικόνα 19. Απεικόνιση αρχείου .MTL δορυφορικής εικόνας Landsat TM στο σημειωματάριο.

Κάποιες πολύ σημαντικές πληροφορίες που μπορεί να εξαχθούν είναι μεταξύ άλλων:

- Ο βαθμός επεξεργασίας της εικόνας “L1T”
- Ο δορυφόρος από τον οποίο έγινε η λήψη “Landsat 5”
- Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε “Thematic Mapper TM”
- Η ημερομηνία λήψης 12/8/2010
- Τα φασματικά κανάλια 1,2,3,4,5,6,7

Σχετικά με το βαθμό επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων Landsat ο τύπος του προϊόντος που αναφέρεται “L1t”σημαίνει Level 1 Terrain corrected. Το συγκεκριμένο πρότυπο διόρθωσης προσφέρει συστηματική ραδιομετρική και γεωμετρική ακρίβεια με την ενσωμάτωση GCPs (Ground Control Points) Σημείων ελέγχου εδάφους, ενώ παράλληλα χρησιμοποιείται ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Digital Elevation Model) για μεγαλύτερη τοπογραφική ακρίβεια. Η γεωδαιτική ακρίβεια του προϊόντος εξαρτάται από την ακρίβεια των Σημείων ελέγχου εδάφους (GCPs) και από την ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM).

Λεπτομέρειες επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Landsat.

Τυπικές παράμετροι: Όλα τα τυπικά προϊόντα δεδομένων Landsat υποβάλλονται σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας το Level 1 Product Generation System (LPGS) με την εφαρμογή των παρακάτω παραμέτρων:

- Μορφότυπος αρχείου εξόδου: GeoTIFF
- Μέθοδος επαναδειγματοληψίας: Cubic Convolution.
- Χωρική διακριτική ικανότητα: 30 μέτρα (TM, ETM+) και 60 μέτρα (MSS)
- Map projection: (UTM) Universal Transverse Mercator
- Datum: Το παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα (WGS84)
- Προσανατολισμός της εικόνας: (North up) Ο Βορράς επάνω.

Γενικά οι κατηγορίες των επιπέδων της επεξεργασίας στο παρελθόν και το παρόν των δορυφορικών εικόνων Landsat αναφέρονται παρακάτω:

- Επίπεδο 0R (ακατέργαστη μη διορθωμένη ETM + και TM). Δεν είναι πλέον διαθέσιμο από την 30η Σεπτεμβρίου του 2008 και τον Δεκέμβριο του 2008, αντίστοιχα
- Επίπεδο 1G (ραδιομετρικά και γεωμετρικά διορθωμένη MSS, TM, και ETM +)
- Επίπεδο 1P (συστηματικά τοπογραφικά διορθωμένη. TM και MSS μόνο. Δεν είναι πλέον διαθέσιμο από το Δεκέμβριο του 2008)
- Επίπεδο 1Gt (συστηματικά τοπογραφικά διορθωμένη. ETM + μόνο)
- Επίπεδο 1T (συστηματικά τοπογραφικά διορθωμένη. MSS, TM, και ETM +)

Παρότι τα περισσότερα δεδομένα Landsat που διατίθενται σήμερα χωρίς καμία χρέωση υποβάλλονται σε επεξεργασία ως το Επίπεδο 1T (τοπογραφικά διορθωμένα), ορισμένες σκηνές δεν έχουν στοιχεία ελέγχου του εδάφους ή υψομετρικές πληροφορίες απαραίτητες για την ακρίβεια ή την τοπογραφική διόρθωση, αντίστοιχα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, θα πρέπει να εφαρμοστεί το καλύτερο επίπεδο διόρθωσης (Επίπεδο 1G-συστηματική ή Επίπεδο 1Gt συστηματική τοπογραφική).

4.3. Γεωαναφορά

Η εργασία της γεωαναφοράς (georeference), αφορά την μετατροπή των εικονοσυντεταγμένων μιας εικόνας σε γεωδαιτικές συντεταγμένες. Οι εικονοσυντεταγμένες της εικόνας είναι η θέση καθενός εικονοστοιχείου σε σχέση με την γραμμή και τη στήλη του πίνακα της εικόνας. Οι γεωδαιτικές συντεταγμένες αφορούν τη γεωγραφική θέση των εικονοστοιχείων σε ένα προκαθορισμένο σύστημα συντεταγμένων, με συγκεκριμένη γεωγραφική προβολή και Datum.

Σήμερα οι χρήστες δορυφορικών δεδομένων τύπου, έχουν την δυνατότητα να προμηθευτούν γεωμετρικά διορθωμένα δεδομένα, σε βαθμό που ποικίλει από απλή γεωμετρική διόρθωση της εικόνας ώστε να απαλειφθούν τα γεωμετρικά σφάλματα που προέρχονται από το όργανο και την καμπυλότητα της γης, έως ορθοαναγωγή ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα γεωμετρικά σφάλματα που προέρχονται από το ανάγλυφο.

Οι δορυφορικές εικόνες Landsat της μελέτης είναι ήδη γεωαναφερόμενες, και κατόπιν ελέγχου στο λογισμικό ENVI η συγκεκριμένη διαδικασία δεν κρίθηκε απαραίτητη.

4.4. Ραδιομετρική – Ατμοσφαιρική Διόρθωση.

Η ραδιομετρική διόρθωση και κανονικοποίηση μιας διαχρονικής σειράς δορυφορικών εικόνων, σε μια περιοχή αποτελεί ένα προαπαιτούμενο βήμα για την ανίχνευση αλλαγών.

Ραδιομετρική διόρθωση ή κανονικοποίηση είναι η διαδικασία εκείνη που ακολουθείται για την απομάκρυνση των ραδιομετρικών διαφορών μεταξύ διαχρονικών εικόνων οι οποίες δεν οφείλονται σε εδαφικούς παράγοντες. Σκοπός της ραδιομετρικής διόρθωσης αποτελεί η δημιουργία μιας ενιαίας φασματικής απόκρισης των εικονοστοιχείων που δεν μεταβάλλονται στη κάλυψη γης, γεγονός απαραίτητο όταν γίνονται ποσοτικές αναλύσεις και εκτιμήσεις των αλλαγών. Με άλλα λόγια, στόχος της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι όλες οι ραδιομετρικά διορθωμένες εικόνες να έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και συνθήκες φωτισμού μιας εικόνας αναφοράς. Αυτός είναι ο μοναδικός τρόπος, ώστε οι διαφορές στις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων να αντιστοιχούν σε πραγματικές μεταβολές στην επιφάνεια και να μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η ποιότητα της εικόνας και η στατιστική αξιοπιστία [Yang & Lo, 2000].

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί η διαφορά μεταξύ της ακτινοβολίας (Radiance) και της ανάκλασης (Reflectance) και να εξηγήσουμε τον όρο ψηφιακή τιμή.

Ψηφιακή τιμή εικονοστοιχείου (Digital Number DN) : η τιμή που καταγράφεται από τον καταγραφέα και αποτυπώνει τη διέγερση του οργάνου από την εισερχόμενη ακτινοβολία, που προέρχεται από το συγκεκριμένο εικονοστοιχείο, ως κβαντοποιημένο ηλεκτρικό σήμα.

Ακτινοβολία (Radiance) είναι η ακτινοβολία που φθάνει σε ένα όργανο φασματικής καταγραφής όπως οι ηλεκτροπτικοί αισθητήρες. Μετράται σε $W/m^2 \cdot sr$ (ισχύς ανά επιφάνεια και στερεοακτίνιο). Υπολογίζεται έμμεσα με τους συντελεστές βαθμονόμησης. Το ENVI για ορισμένους τύπους εικόνων μετατρέπει αυτόματα τα DN σε Radiance (π.χ. ASTER, Landsat).

Ανάκλαση (Reflectance). Είναι το καθαρό ποσό της ακτινοβολίας που αντανακλάται από ένα υλικό. Πιο συγκεκριμένα είναι η αναλογία της ποσότητας του φωτός που διαφεύγει από ένα «στόχο» σε σχέση με την ποσότητα του φωτός που προσκρούει στο στόχο. Δεν έχει μονάδες (παίρνει τιμές από 0 – 1). Αν όλη η ποσότητα του φωτός που αφήνει το στόχο συντελεί στη μέτρηση της ανάκλασης, το αποτέλεσμα ονομάζεται «ημισφαιρική ανάκλαση».

Η μετατροπή από Radiance σε Reflectance, είναι η διαδικασία διόρθωσης της ακτινοβολίας, εισάγοντας πληροφορίες για όλους εκείνους τους παράγοντες που διαμόρφωσαν διαφορετική τιμή εισερχόμενης ακτινοβολίας στον καταγραφέα από αυτή που πραγματικά αντανακλά το υλικό.

Διακρίνονται δύο τύποι ραδιομετρικής διόρθωσης, η απόλυτη και η σχετική:

Στη **σχετική ραδιομετρική διόρθωση** επιδιώκεται η επανάκτηση της φασματικής ανακλαστικότητας (albedo) ή της θερμοκρασίας του εδάφους. Για τη βαθμονόμηση απαιτούνται επιπρόσθετα χαρακτηριστικά τα οποία περιγράφονται στα μεταδεδομένα κάθε εικόνας, όπως χρόνος λήψης των εικόνων, δεδομένα ατμοσφαιρικών συνθηκών, στοιχεία τροχιάς των δορυφόρων κ.λ.π. και σημεία εδάφους ως στόχοι γνωστής ανακλαστικότητας.

Η **απόλυτη διόρθωση** παρουσιάζει στη πράξη μεγάλες δυσκολίες και κρίνεται απαραίτητη μόνο σε περίπτωση που τουλάχιστον 2 εικόνες είναι σε διαφορετικές ραδιομετρικές κλίμακες [Song et al., 2001].

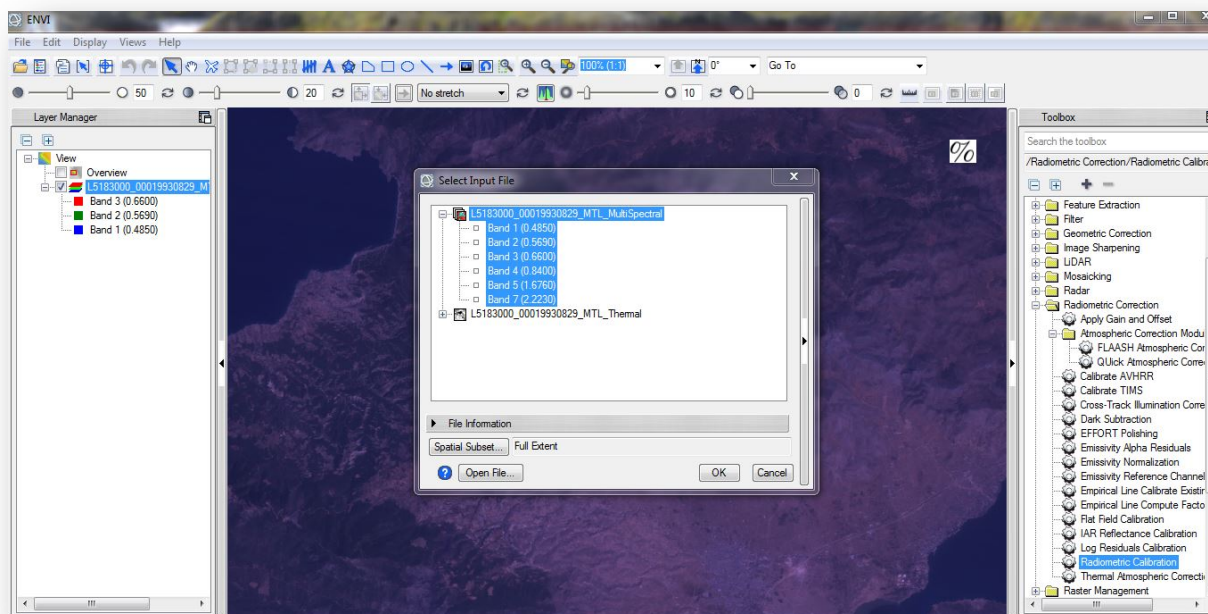
Η σχετική ραδιομετρική διόρθωση περιλαμβάνει διόρθωση εικόνων τη μία με την άλλη χωρίς να ταυτίζονται απαραίτητα σε απόλυτες εδάφους. Η σχετική διόρθωση δεν απαιτεί ατμοσφαιρική διόρθωση, δεδομένα τροχιάς δορυφόρου κ.λ.π., αλλά διορθώνει για τις επιδράσεις της γωνίας του ηλίου, τη διάχυση και την απορρόφηση του φωτός και τη συμπεριφορά των αισθητήρων. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική και στην περίπτωση ανίχνευσης αλλαγών στις εικόνες.

Η ατμοσφαιρική διόρθωση κρίνεται σκόπιμη στις περιπτώσεις που οι διαχρονικές εικόνες δημιουργούν ένα ενιαίο πακέτο δεδομένων με σκοπό την ενιαία επεξεργασία δεδομένων. Επίσης ένας ακόμη σημαντικός λόγος που επιτείνει την εφαρμογή ατμοσφαιρικής διόρθωσης είναι οι περιπτώσεις όπου τα δεδομένα ελέγχου πρέπει να μεταφερθούν από ένα χρονικό σημείο σε κάποιο άλλο ή από μια χωρική θέση σε κάποια άλλη.(Song et al., 2001).

Στην εν λόγω εργασία, επιλέχθηκε η χρήση του λογισμικού ENVI και η μέθοδος Fast Line-of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH). Το ENVI, παρέχει διάφορες μεθόδους για την ατμοσφαιρική διόρθωση με κορυφαία τη μέθοδο FLAASH (Fast Line-of-sight

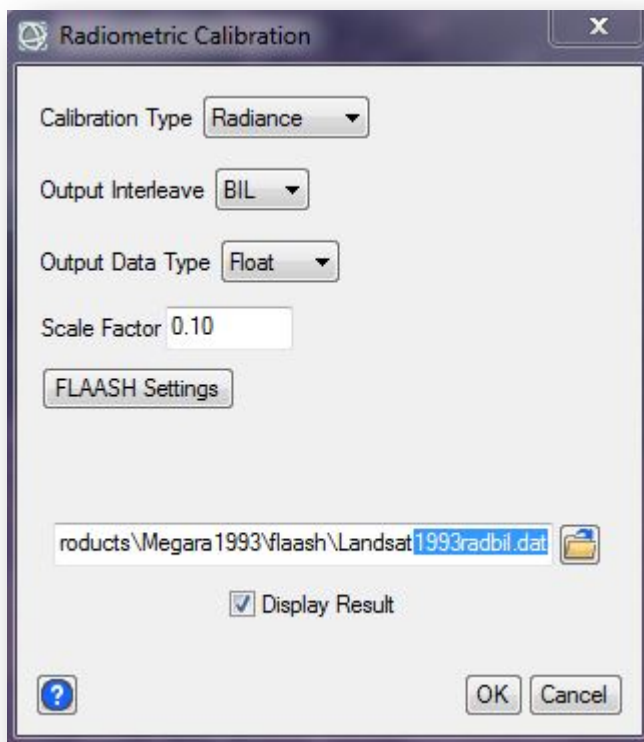
Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) που βασίζεται στον αλγόριθμο MODTRAN4+ για την διόρθωση εικόνων σε σχέση με την απορρόφηση που οφείλεται στο νερό της ατμόσφαιρας, στη οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το όζον, αλλά και σε σχέση με τη μοριακή διάχυση.

Από την αρχική οθόνη του ENVI και την εργαλειοθήκη Toolbox στη δεξιά πλευρά επιλέγεται Radiometric Correction → Radiometric Calibration. Θα πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι έχει εξαιρεθεί η θερμική μπάντα από τη διαδικασία.



Εικόνα 20. Ραδιομετρική διόρθωση εικόνας στο λογισμικό ENVI..

Στη συνέχεια και μέσω της προεπεξεργασίας έγινε μετατροπή των δεδομένων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του λογισμικού της ατμοσφαιρικής διόρθωσης που θα εφαρμοστεί η μέθοδος Flaash. Αρχικές μετατροπές που εφαρμόστηκαν μετά την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό ENVI, ήταν αρχικά η μετατροπή των δεδομένων σε μορφή 'ENVI standard' καθώς και η μετατροπή του format σε "BIL" (band-interleaved-by-line).



Εικόνα 21. Μετατροπή δεδομένων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του λογισμικού της ατμοσφαιρικής διόρθωσης που θα εφαρμοστεί η μέθοδος Flaash.

Εναλλακτικά αν επιλεγεί η ένδειξη Flaash settings, οι παραπάνω επιλογές εισάγονται στα πεδία αυτόματα.

Το εξαγόμενο αρχείο π.χ. Landsat1993radbil.dat στη συνέχεια θα διορθωθεί ατμοσφαιρικά με το εργαλείο του ENVI Flaash. Από την εργαλειοθήκη επιλέγεται διαδοχικά Toolbox → Atmospheric Correction module → Flaash Correction module

Οι παράμετροι εισαγωγής για την εφαρμογή του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH στο λογισμικό ENVI περιλαμβάνουν τα παρακάτω βήματα:

- Εισαγωγή δεδομένων της εικόνας και ρυθμίσεις που αφορούν την προεπιλογή της αποθήκευσης των προϊόντων.
- Εισαγωγή των πληροφοριών που αφορούν τον αισθητήρα και την περιοχή μελέτης. Στο πεδίο Input Radiance Image, εισάγονται τα δεδομένα εικόνας μετά την εφαρμογή των μετατροπών που έχουν προαναφερθεί. Το λογισμικό παρέχει την δυνατότητα επεξεργασίας ολόκληρης της εικόνας μέσω της επιλογής full scene ή ξεχωριστών τμημάτων αυτής μέσω της επιλογής spatial subset. Στο επόμενο πεδίο που ονομάζεται Output Reflectance File γίνεται η ονομασία και ο ορισμός της θέσης αποθήκευσης του παραγόμενου αρχείου εικόνας. Στο πεδίο Output Directory for FLAASH Files γίνεται ο

ορισμός της θέσης αποθήκευσης όλων των υπόλοιπων αρχείων που προκύπτουν από την επεξεργασία της εικόνας με την εφαρμογή του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH (column water vapor, εικόνες cloud map, journal file, template file). Τελικό πεδίο στην εισαγωγή των δεδομένων αποτελεί το Rootname for FLAASH Files το οποίο παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει εφόσον το επιθυμεί κάποιο πρόθεμα το οποίο επισυνάπτεται στην ονομασία όλων των παραγόμενων αρχείων του FLAASH.

- Επιλογή ενός μοντέλου της ατμόσφαιρας και ενός μοντέλου των αερίων της ατμόσφαιρας, καθώς και η ρύθμιση όλων των επιλογών του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Στα επόμενα πεδία απαιτούνται πληροφορίες που αφορούν τον αισθητήρα και παρέχονται στον φάκελο με τα metadata της εικόνας. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν τις συντεταγμένες του κέντρου της εικόνας, το μέσο υψόμετρο της περιοχής μελέτης, τον τύπο του αισθητήρα, το ύψος του δορυφόρου, το μέγεθος του εικονοστοιχείου και τέλος η ημερομηνία και ο χρόνος λήψης της εικόνας. Με την εισαγωγή των παραπάνω στοιχείων δίνεται η δυνατότητα στην εντολή FLAASH να προσδιορίσει την θέση του ήλιου κατά την στιγμή της λήψης της εικόνας, καθώς και την διαδρομή του φωτός μέσα από την ατμόσφαιρα μέχρι το έδαφος και πάλι πίσω μέχρι τον αισθητήρα.
- Επιλογή ενός μοντέλου της ατμόσφαιρας και ενός μοντέλου των αερίων της ατμόσφαιρας, καθώς και η ρύθμιση όλων των επιλογών του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Το πεδίο Atmospheric Model περιέχει τα έξι ατμοσφαιρικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στο MODTRAN. Η επιλογή του μοντέλου μπορεί να γίνει βάση της περιεκτικότητας των υδρατμών της ατμόσφαιρας, ή βάση της αναμενόμενης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας κοντά στην γήινη επιφάνεια. Τα έξι ατμοσφαιρικά μοντέλα MODTRAN, καθώς και η περιεκτικότητα υδρατμών και η θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο κάθε μοντέλο, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. (ENVI User guide).

Model Atmosphere	Water Vapor (std atm-cm)	Water Vapor (g/cm ²)	Surface Air Temperature
Sub-Arctic Winter (SAW)	518	0.42	-16° C (3° F)
Mid-Latitude Winter (MLW)	1060	0.85	-1° C (30° F)
U.S. Standard (US)	1762	1.42	15° C (59° F)
Sub-Arctic Summer (SAS)	2589	2.08	14° C (57° F)
Mid-Latitude Summer (MLS)	3636	2.92	21° C (70° F)
Tropical (T)	5119	4.11	27° C (80° F)

Πίνακας 16. Περιεκτικότητα υδρατμών της ατμόσφαιρας και θερμοκρασία στην γήινη επιφάνεια για τα διάφορα MODTRAN ατμοσφαιρικά μοντέλα (ENVI User guide).

Για να επιλυθούν οι εξισώσεις του προσδιορισμού της ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας από το έδαφος, είναι απαραίτητος ο ορισμός της μάζας των υδρατμών που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, για κάθε εικονοστοιχείο. Το λογισμικό FLAASH περιλαμβάνει μια μέθοδο υπολογισμού αυτής της ποσότητας ξεχωριστά για κάθε εικονοστοιχείο και η μέθοδος αυτή δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα στην διόρθωση, από την χρήση μιας ενιαίας σταθερής τιμής υγρασίας για όλη την εικόνα .

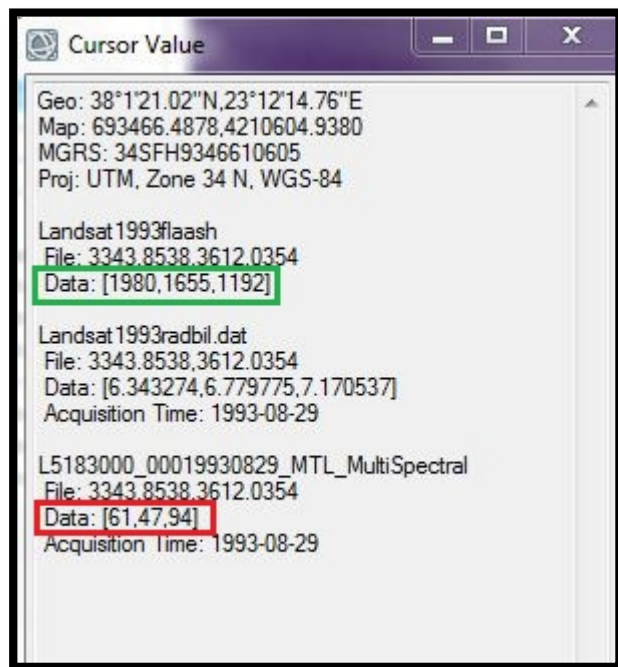
Για την χρήση αυτής της μεθόδου Water Retrieval είναι αναγκαίο η εικόνα να έχει διαύλους που εκτείνονται σε ένα τουλάχιστον από τα παρακάτω φασματικά διαστήματα, με φασματική ανάλυση 15nm ή καλύτερη. Στους περισσότερους πολυφασματικούς αισθητήρες, η επιλογή σε αυτό το πεδίο είναι NO, επειδή οι αισθητήρες αυτοί δεν έχουν τους κατάλληλους διαύλους. Το NO είναι η επιλογή που σημειώνεται στις εικόνες Landsat TM.

Με βάση τα ανωτέρω οι επιλογές για την Flaash ατμοσφαιρική διόρθωση διαμορφώνονται σύμφωνα με τη παρακάτω εικόνα 22.

Εικόνα 22. Ρυθμίσεις Ατμοσφαιρικής Διόρθωσης με τη μέθοδο Flaash.

Στο τέλος αυτής της διαδικασίας οι ψηφιακές τιμές (Digital numbers DN) που κατεγράφησαν από τα κανάλια του αισθητήρα του Θεματικού Χαρτογράφου (Thematic Mapper TM) του δορυφόρου Landsat αφού πρώτα μετασχηματίστηκαν σε τιμές ακτινοβολίας (Radiance) στη συνέχεια μετατρέπονται σε τιμές ανάκλασης (Reflectance). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να

σημειωθεί ότι στην εικόνα που θα προκύψει από την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης με FLAASH πολλαπλασιάζονται οι τιμές ανακλαστικότητας επί 10.000. Ο λόγος για την κλιμάκωση αυτή είναι η μετατροπή των δεδομένων ανάκλασης σε ακέραιους, η οποία καταλαμβάνει λιγότερο χώρο στο δίσκο από τα δεδομένα κινητής υποδιαστολής.



Εικόνα 23. Δεδομένα ατμοσφαιρικά διορθωμένης, με Flaash, εικόνας Landsat TM 1993.

Στην ανωτέρω εικόνα 23 σε κόκκινο ορθογώνιο πλαίσιο εμφανίζεται η ψηφιακή τιμή ενός τυχαίου εικονοστοιχείου και σε πράσινο η αντίστοιχη τιμή του ίδιου εικονοστοιχείου στη διορθωμένη εικόνα, όπου διακρίνεται το ποσοστό ανακλαστικότητας στην ατμόσφαιρα (TOA Top Of the Atmosphere) πολλαπλασιασμένο με τον αριθμό 10.000.

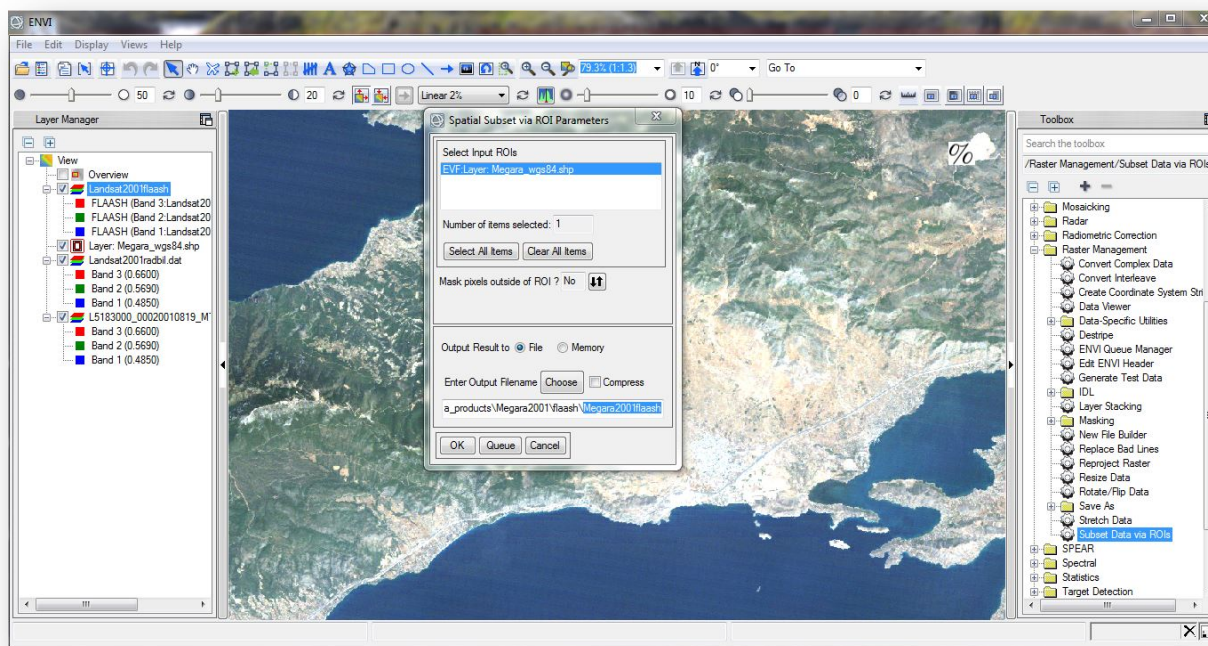
4.5. Αποκοπή δορυφορικών εικόνων στα όρια της περιοχής μελέτης.

Από το διαδικτυακό τόπο <http://geodata.gov.gr/geodata/>, χρησιμοποιήθηκε το shapefile των ορίων των Δήμων του Καλλικράτη.

Με τη βοήθεια του λογισμικού ArcMap 10.1 και την εντολή Select by Attributes, επιλέγεται και δημιουργείται το shapefile των ορίων του Καλλικρατικού Δήμου των Μεγάρων. Στη συνέχεια με το ίδιο λογισμικό επιλέγεται μετατροπή του Συστήματος συντεταγμένων από το Ελληνικό σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87 στο WGS 84 34N, ώστε οι δορυφορικές εικόνες και το shapefile που θα χρησιμοποιηθεί για την αποκοπή των εικόνων να βρίσκονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς.

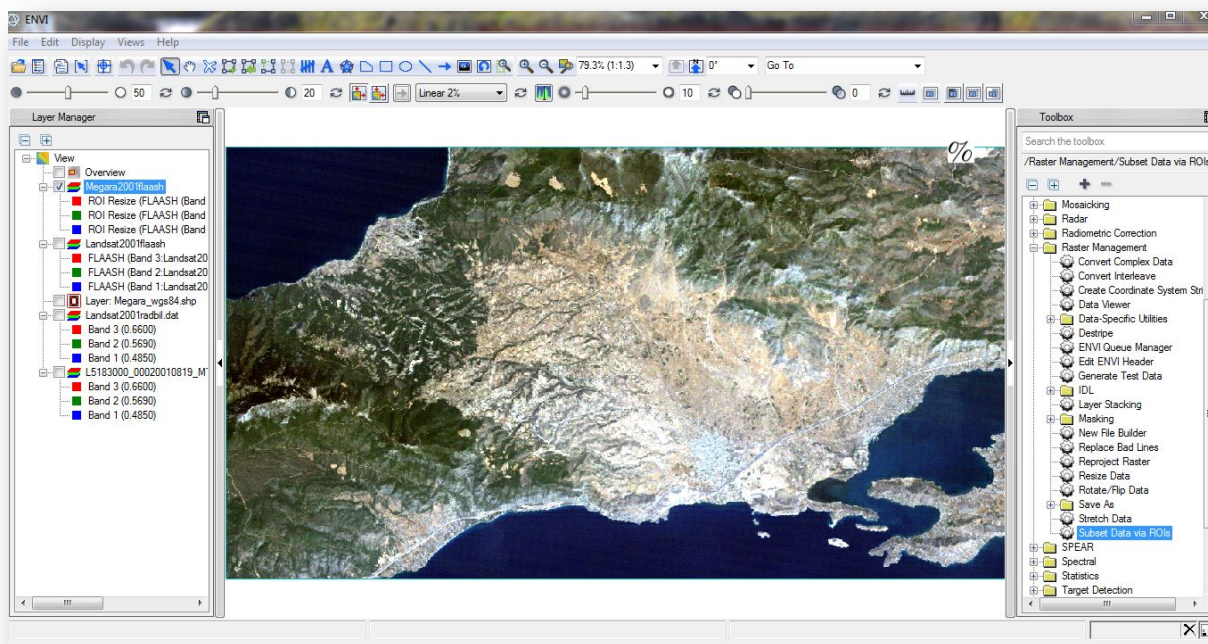
Με τη χρήση του λογισμικού ENVI επιλέγονται διαδοχικά τα αρχεία .MTL των δορυφορικών εικόνων Landsat ετών 1993, 2000 και 2010 και με το εργαλείο Subset Data via ROIs

αποκόπτονται οι περιοχές ενδιαφέροντος στα όρια του Δήμου της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 24. Διαδικασία αποκοπής δορυφορικών εικόνων στα όρια του Δήμου Μεγάρων. (Subset Data via ROIs).

Μετά από το στάδιο αυτό η διαδικασία συνεχίζεται με πολύ μικρότερα αρχεία, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη ταχύτητα και απλοποίηση της ροής εργασίας.



Εικόνα 25. Δορυφορική εικόνα Landsat έτους 1993 κομμένη* στα όρια της περιοχής μελέτης.

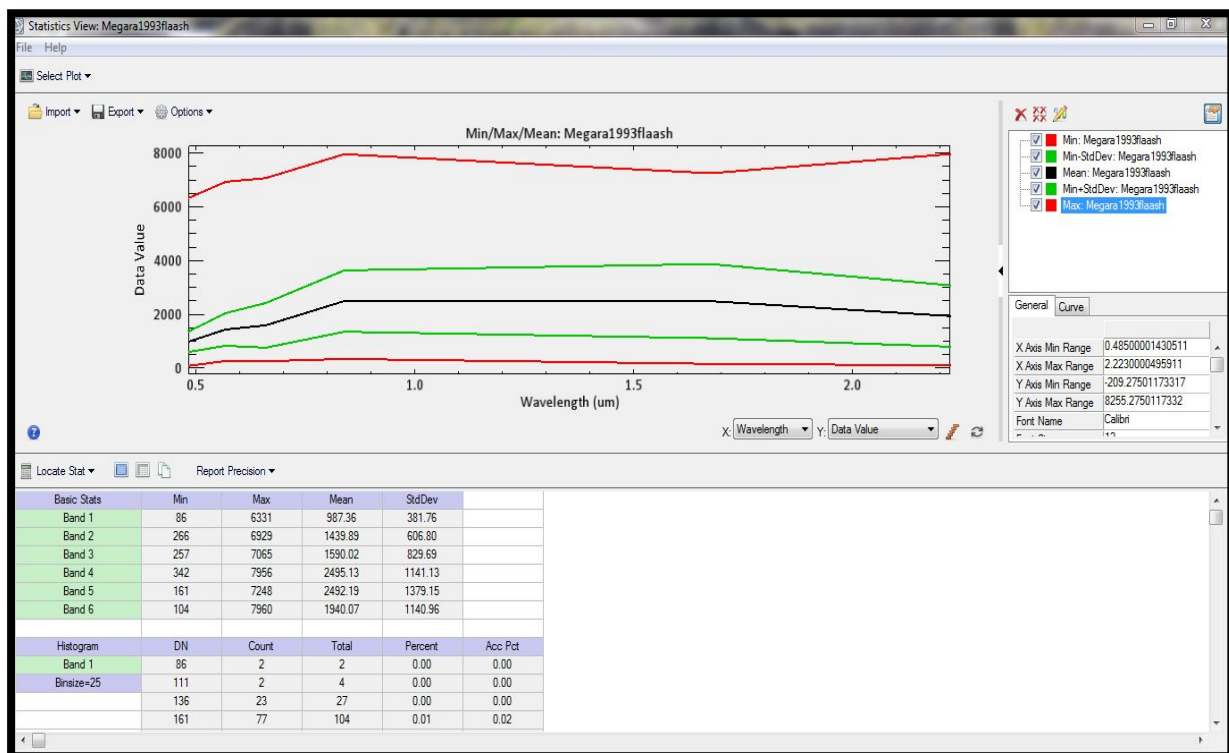
* Χαρακτηριστικό της αποκοπής της εικόνας στο λογισμικό ENVI, είναι ότι η εικόνα κόβεται πάντα στο μικρότερο δυνατό ορθογώνιο στο οποίο είναι εγγεγραμμένο το διανυσματικό αρχείο που χρησιμοποιήθηκε για την αποκοπή.

4.6. Στατιστικά εικόνων.

Πριν από τη διαδικασία της ταξινόμησης, κρίνεται χρήσιμο να εξετασθούν τα στατιστικά στοιχεία των 3 εικόνων της περιοχής μελέτης, που θα ταξινομηθούν. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η μελέτη της κατανομής των ψηφιακών τιμών των εικονοστοιχείων (DN) σε κάθε κανάλι, τα μέγιστα και ελάχιστα, η εξέταση του ιστογράμματος κάθε καναλιού και τέλος η μελέτη της παραλλακτικότητας των τιμών με τη βοήθεια της συσχέτισης και της συνδιακύμανσης. Σε αρκετές περιπτώσεις πολυφασματικών εικόνων, και για γειτονικά φασματικά κανάλια περιέχεται σχεδόν η ίδια πληροφορία. Αντίθετα κατά την ταξινόμηση της εικόνας επιθυμούμε να συμπεριλάβουμε εκείνα τα κανάλια που θα μας δώσουν τη μέγιστη διαχωριστική ικανότητα, δηλαδή εκείνα που εμφανίζουν τη μικρότερη συσχέτιση.

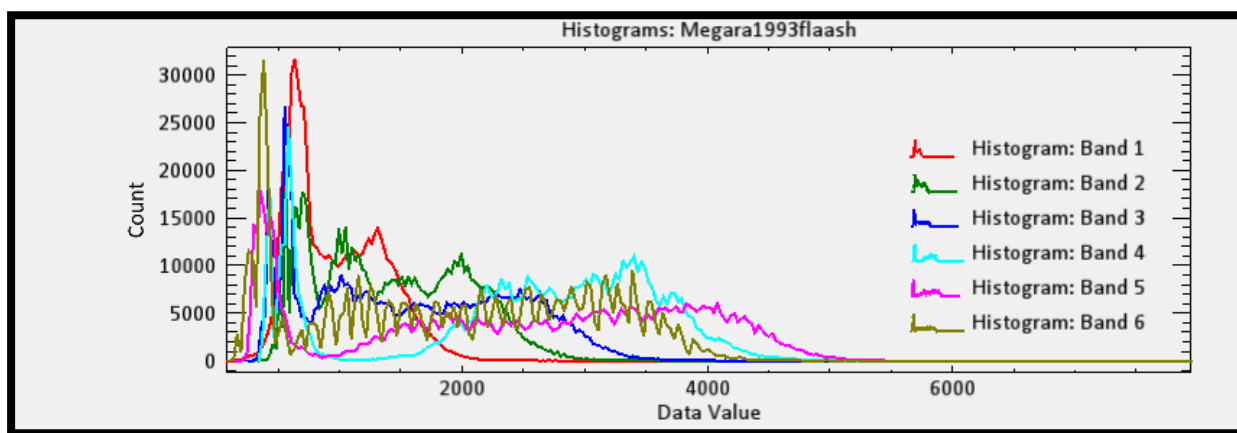
Τα στατιστικά μπορεί ο μελετητής να τα ζητήσει με 2 τρόπους:

Με τα γρήγορα στατιστικά: Επιλογή αρχείου εικόνας και δεξί κλικ. Από το μενού που θα εμφανισθεί, επιλογή Quick Stats. Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο Statistics Results : όνομα αρχείου. Στο παράθυρο διακρίνονται κάποια βασικά στατιστικά της εικόνας. Διαιρείται σε δύο τμήματα. Το γραφικό (Plot) και το στατιστικό (Stat). Η πρώτη οθόνη γραφικού αναφέρει μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή, μέση τιμή και τυπική απόκλιση. Οι παραπάνω τιμές αναφέρονται σε όλα τα κανάλια της εικόνας. Στον άξονα X φαίνεται το μήκος κύματος (Προϋπόθεση το Header File του αρχείου να περιέχει την πληροφορία μήκους κύματος ανά κανάλι) και στον άξονα Y οι αντίστοιχες τιμές.



Εικόνα 26. Quick stats δορυφορικής εικόνας Landsat έτους 1993 της περιοχής μελέτης.

Από την επιλογή Select Plot μπορεί ο μελετητής να επιλέξει να εμφανίσει το ιστόγραμμα κάποιας από τις μπάντες, ενώ σαν επιλογή μπορεί να εμφανίσει όλες τις μπάντες με διαφορετικό χρώμα την κάθε μία (εικόνα 10)



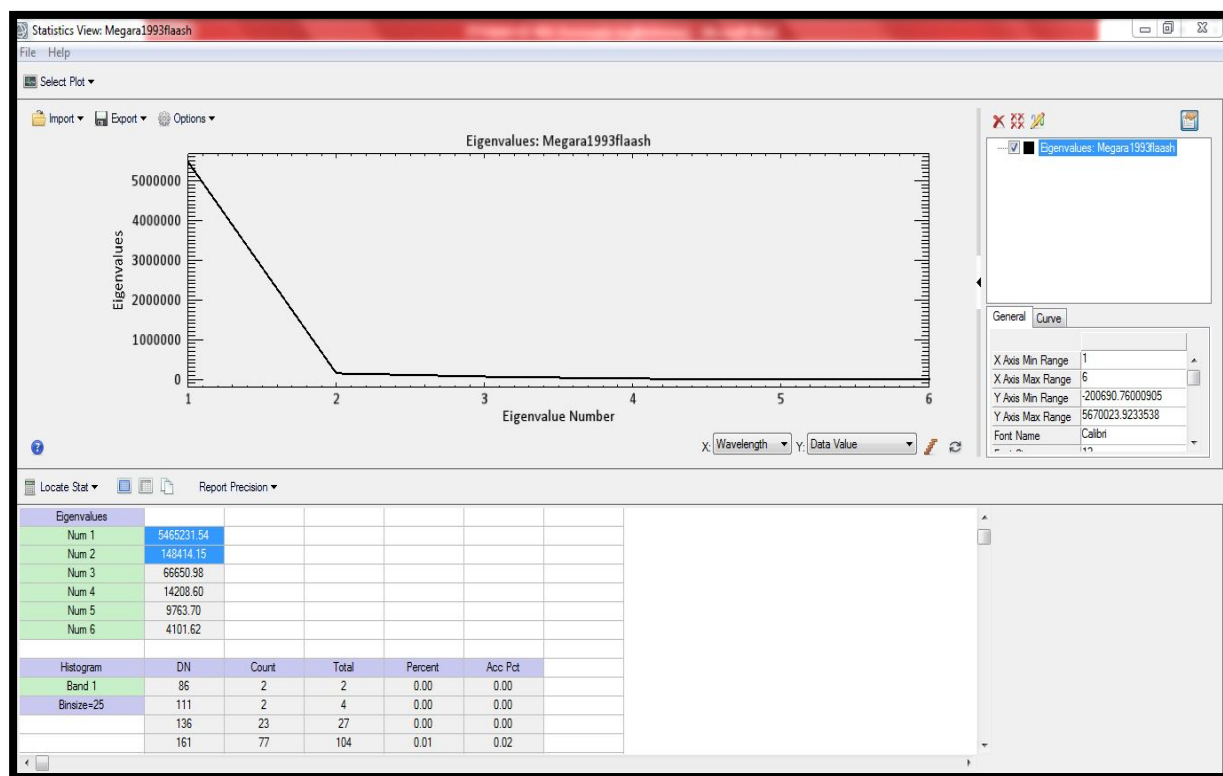
Διάγραμμα 10. Ιστόγραμμα όλων των φασματικών καναλιών που συνθέτουν την δορυφορική εικόνα Landsat του έτους 1993 της περιοχής μελέτης.

Σε γενικές γραμμές, το εργαλείο Quick Stats δίνει τη δυνατότητα για μια σύντομη στατιστική περιγραφή της εικόνας χωρίς να εγγραφεί καμία πληροφορία στο δίσκο, δίνει δηλαδή τη δυνατότητα για on the fly υπολογισμό των στατιστικών μιας εικόνας. Δεν δίνει τη δυνατότητα για υπολογισμό συνδιακύμανσης και συσχέτισης.

Με τα πλήρη στατιστικά ο αναλυτής εμφανίζει μια ολοκληρωμένη στατιστική ανάλυση της εικόνας. Από την εργαλειοθήκη (Toolbox) στο δεξί μέρος της οθόνης του ENVI διαδοχικά επιλέγεται Statistics > Compute Statistics. Θα εμφανισθεί το παράθυρο Compute Statistics Parameters. Ενεργοποίηση των πεδίων Histograms και Covariance, ενεργοποίηση το Output to a Statistics File και ορισμός της διαδρομής και του ονόματος του αρχείου που θα περιέχει τα στατιστικά (το αρχείο που θα δημιουργηθεί θα έχει κατάληξη .sta).

Το νέο παράθυρο αποτελεσμάτων Statistics Results που εμφανίζεται, είναι παρόμοιο με αυτό του Quick Stats αλλά περιέχει επιπρόσθετες πληροφορίες.

Στο Select Plots επιλέγεται Eigenvalues (ιδιοτιμές). Το είδος της πληροφορίας εδώ αφορά τα κανάλια που μετά από ανάλυση κυρίων συνιστωσών θα περιέχουν την περισσότερη πληροφορία από όλα τα αρχικά κανάλια. Στη περίπτωση των εικόνων της μελέτης πρόκειται για τα 2 πρώτα κανάλια ης PCA.



Διάγραμμα 11. Ιστόγραμμα ιδιοτιμών (Eigenvalues).

Με την επιλογή Select Stat > Correlation θα εμφανισθεί ο πίνακας συσχέτισης των καναλιών όπου αποτυπώνεται το μέγεθος συµµεταβολής των τιμών ενός καναλιού σε σχέση με τα άλλα κανάλια της εικόνας. Όσο πιο κοντά στην μονάδα είναι η συσχέτιση μεταξύ των καναλιών τόσο περισσότερο συσχετισµένες είναι οι τιμές τους, δηλαδή περιέχουν την ίδια περίπου πληροφορία. Το επιδιωκόμενο στην διαδικασία της ταξινόμησης είναι η μεταξύ τους συσχέτιση να είναι η

μικρότερη δυνατή δηλαδή λίγα κανάλια με μικρή συσχέτιση (μεγάλη παραλλακτικότητα) και όχι πολλά κανάλια με περιττή πληροφορία.

Correlation	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1.00	0.95	0.92	0.76	0.84	0.87
Band 2	0.95	1.00	0.99	0.90	0.93	0.95
Band 3	0.92	0.99	1.00	0.91	0.95	0.97
Band 4	0.76	0.90	0.91	1.00	0.95	0.92
Band 5	0.84	0.93	0.95	0.95	1.00	0.99
Band 6	0.87	0.95	0.97	0.92	0.99	1.00

Πίνακας 17. Πίνακας συσχέτισης (correlation) καναλιών.

4.7. Μη Εποπτευόμενη Ταξινόμηση.

Πριν από τη διαδικασία της εποπτευόμενης ταξινόμησης, υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής της μη εποπτευόμενης ταξινόμησης, η οποία δίνει στο μελετητή μια αρχική εκτίμηση της ύπαρξης διαχρονικών αλλαγών στη κάλυψη γης στη περιοχή μελέτης και η οποία βοηθά στο διαχωρισμό και τη δημιουργία των κλάσεων ταξινόμησης στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση που ακολουθεί. Το ENVI καθώς και τα άλλα λογισμικά επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων δίνουν τη δυνατότητα της εφαρμογής μιας σύντομης μορφής ταξινόμησης, ταχύτατης στην επεξεργασία, χωρίς εισαγωγή δεδομένων, χωρίς εκπαίδευση του λογισμικού και χωρίς να απαιτούνται γνώσεις της περιοχής μελέτης, αλλά δεν είναι σε θέση να δώσει πληροφορίες σχετικά με το είδος χρήσης γης. Η εφαρμογή αυτή βασίζεται στην εφαρμογή ενός μαθηματικού προγραμματιστικού αλγόριθμου. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης που συνήθως χρησιμοποιούνται στη τηλεπισκόπηση είναι δύο: ο K – Means και ο αλγόριθμος ομαδοποίησης ISODATA. Στη παρούσα μελέτη εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος ISODATA.

Από το μενού της εργαλειοθήκης επιλέχθηκε Classification > Unsupervised > IsoData. Στη συνέχεια εισήχθησαν διαδοχικά οι 3 εικόνες για την εφαρμογή του αλγορίθμου.

Η μέθοδος αυτή υπολογίζει ομάδες κλάσεων, ομαλά κατανεμημένες στο χώρο των δεδομένων (clusters), με μια διαδικασία που περιλαμβάνει υπολογισμό κλάσης, συγκέντρωση εναπομεινάντων εικονοστοιχείων (pixels), επαναπροσδιορισμό κλάσεων κ.ο.κ χρησιμοποιώντας την τεχνική των ελαχίστων αποστάσεων. Σε κάθε επανάληψη επαναυπολογίζεται ο μέσος, και επαναταξινομούνται τα pixels σε σχέση με τους νέους μέσους. Η επαναλαμβανόμενη διαίρεση, συγχώνευση και διαγραφή των κλάσεων γίνεται με βάση τα όρια εμπιστοσύνης που θέτει ο μελετητής. Όλα τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται στην κοντινότερη προς το καθένα κλάση, εκτός και εάν έχει καθορισθεί κάποια τιμή τυπικής απόκλισης ή όριο απόστασης, οπότε κάποια

εικονοστοιχεία θα μείνουν αταξινομήτα εάν δεν πληρούν τα προκαθορισμένα κριτήρια.(Του J. T et al., 1974).

Στο παράθυρο του εργαλείου ταξινόμησης ISODATA Parameters του λογισμικού ENVI, εισάγουμε τα παρακάτω στοιχεία (εικόνα 27):

Number of Classes: Min 7 Max 10

Maximum Iterations 10

Change Threshold % (0-100) 5.00

Minimum # Pixel in Class 10

Maximum Class Stdv 1.000

Minimum Class Distance 5.000

Maximum # Merge Pairs 2

Maximum Stdev From Mean

Maximum Distance Error

Output Result to ☒ File ☐ Memory

Enter Output Filename Choose

\\Final classification\\1993\\Isodata93\\Meg93\\Isodata

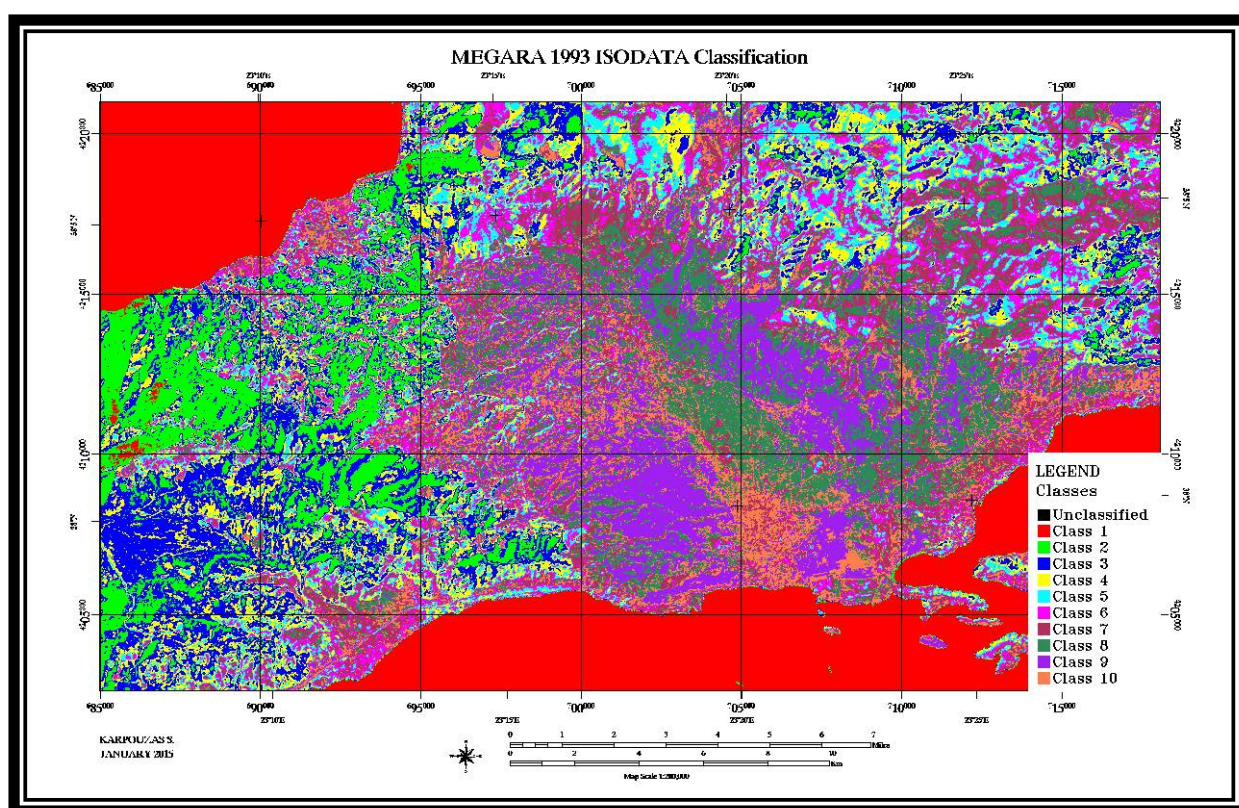
OK Cancel Help

Εικόνα 27. Παράθυρο ταξινόμησης ISODATA.

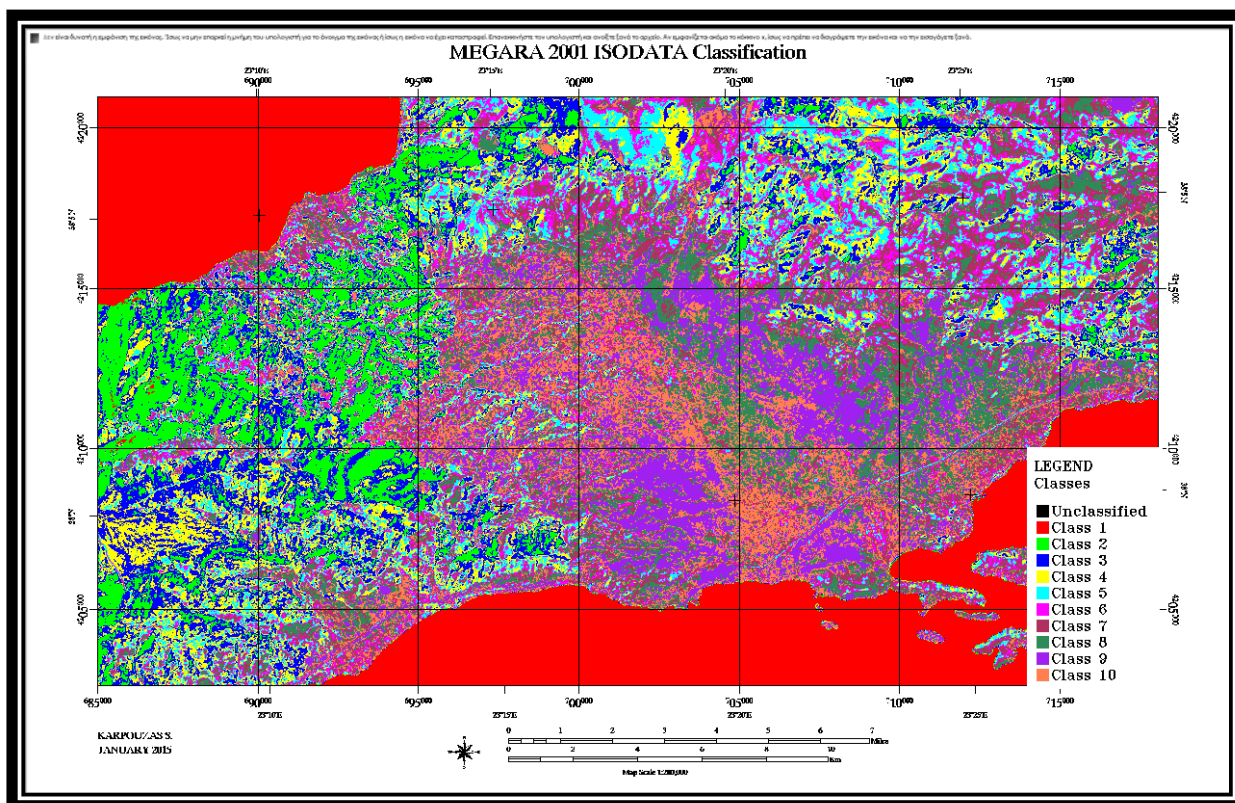
1. **Number of Classes Min Max.** Ο ελάχιστος και μέγιστος αριθμός των κλάσεων που θα δημιουργηθούν. Η μέθοδος IsoData διαιρεί και συγχωνεύει κλάσεις μέχρι να καταλήξει στην άριστη λύση, βάση των ορίων εμπιστοσύνης που καθορίζονται από τον ερευνητή. Η παρούσα επιλογή είναι 7 κλάσεις min και 10 κλάσεις max.
2. **Maximum Iterations.** Ο μέγιστος αριθμός των επαναλήψεων. Η παρούσα επιλογή είναι 10 επαναλήψεις.
3. **Change Threshold.** Ο βαθμός εμπιστοσύνης για την ταξινόμηση ή μη ενός εικονοστοιχείου σε μια κλάση.
4. **Minimum # Pixels in Classes.** Ο ελάχιστος αριθμός των εικονοστοιχείων που μπορούν να αποτελούν μια κλάση. Όταν το πλήθος των pixel μιας κλάσης είναι μικρότερο από αυτό το όριο, τότε η κλάση διαγράφεται και τα pixel ταξινομούνται στις εγγύτερες κλάσεις. Η παρούσα επιλογή είναι 10 εικονοστοιχεία.
5. **Minimum Class Distance.** Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των μέσων των κλάσεων (τιμές DN). Εάν η τιμή ξεπεραστεί τότε η κλάση συγχωνεύεται με άλλη. Η παρούσα επιλογή είναι 5.

6. **Minimum # Merge Pairs.** Ο ελάχιστος αριθμός ζευγών κλάσεων που συγχωνεύονται. Η παρούσα επιλογή είναι 2 ζεύγη κλάσεων.
7. **Maximum Stdev From Mean.** Η μέγιστη τυπική απόκλιση (τιμές DN). Όταν η τυπική απόκλιση μιας κλάσης είναι μεγαλύτερη από αυτή την τιμή τότε η κλάση διαιρείται (προαιρετικό).
8. **Maximum Distance Error** (προαιρετικό).
9. **Output Filename.** Το παραγόμενο αρχείο – η ταξινομημένη εικόνα.

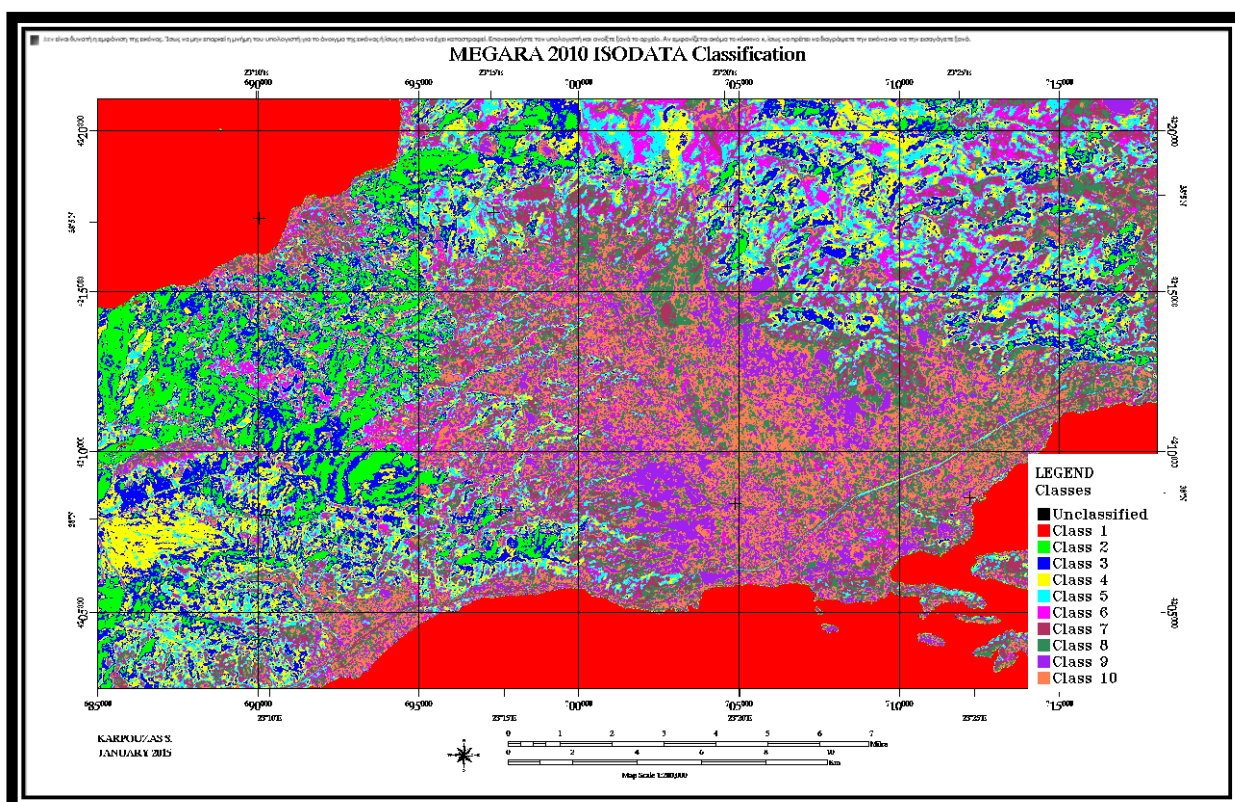
Εξαγόμενο της προαναφερόμενης διαδικασίας είναι οι 3 ψευδέγχρωμοι χάρτες με τις διαφορετικές κλάσεις που υπολόγισε ο αλγόριθμος ISODATA, για κάθε εικόνα της περιοχής μελέτης.



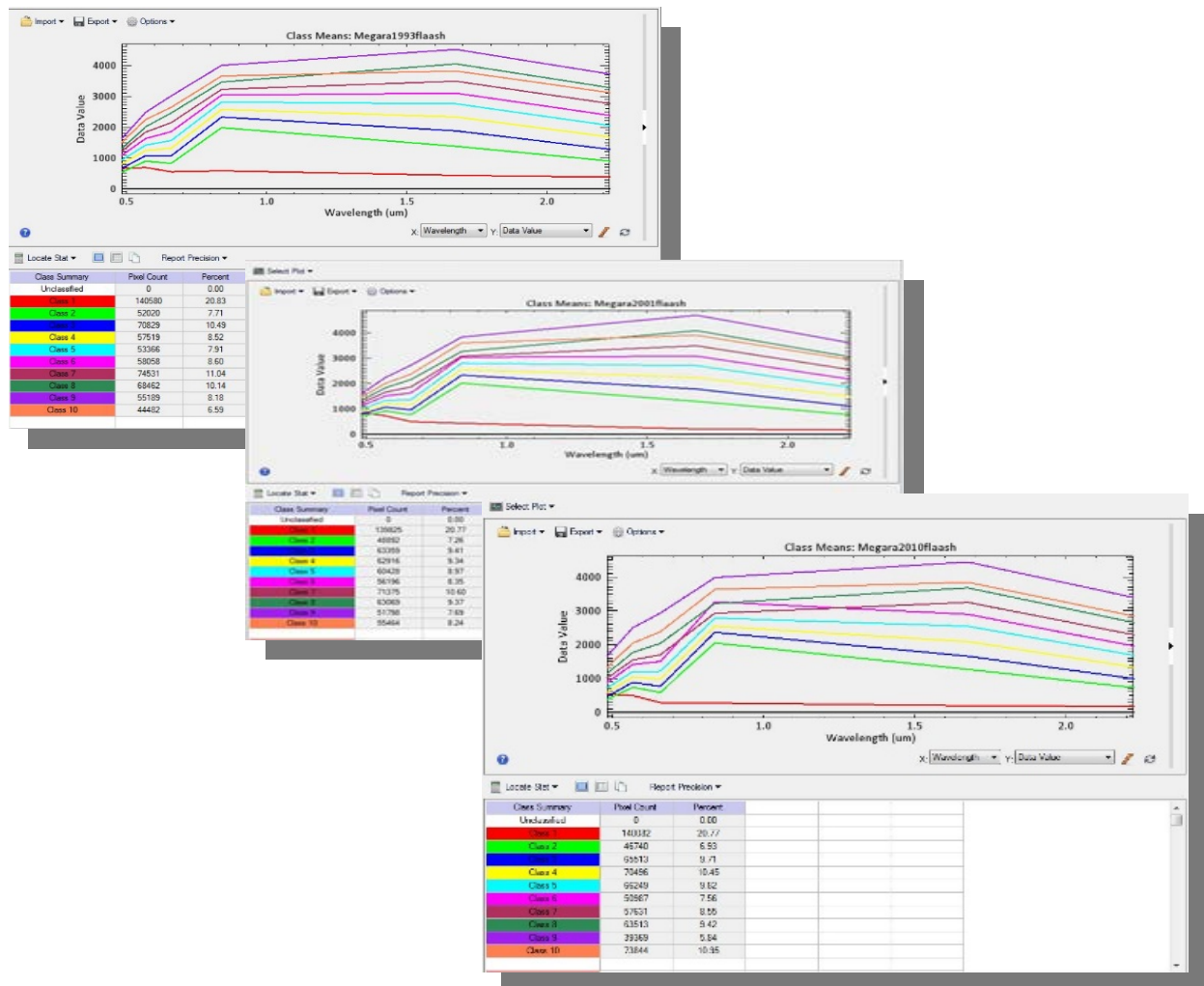
Χάρτης 3. Χάρτης μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA Αύγουστος 1993. (Λογισμικό ENVI 5.2)



Χάρτης 4. Χάρτης μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA Αύγουστος 2001. (Λογισμικό ENVI 5.2)



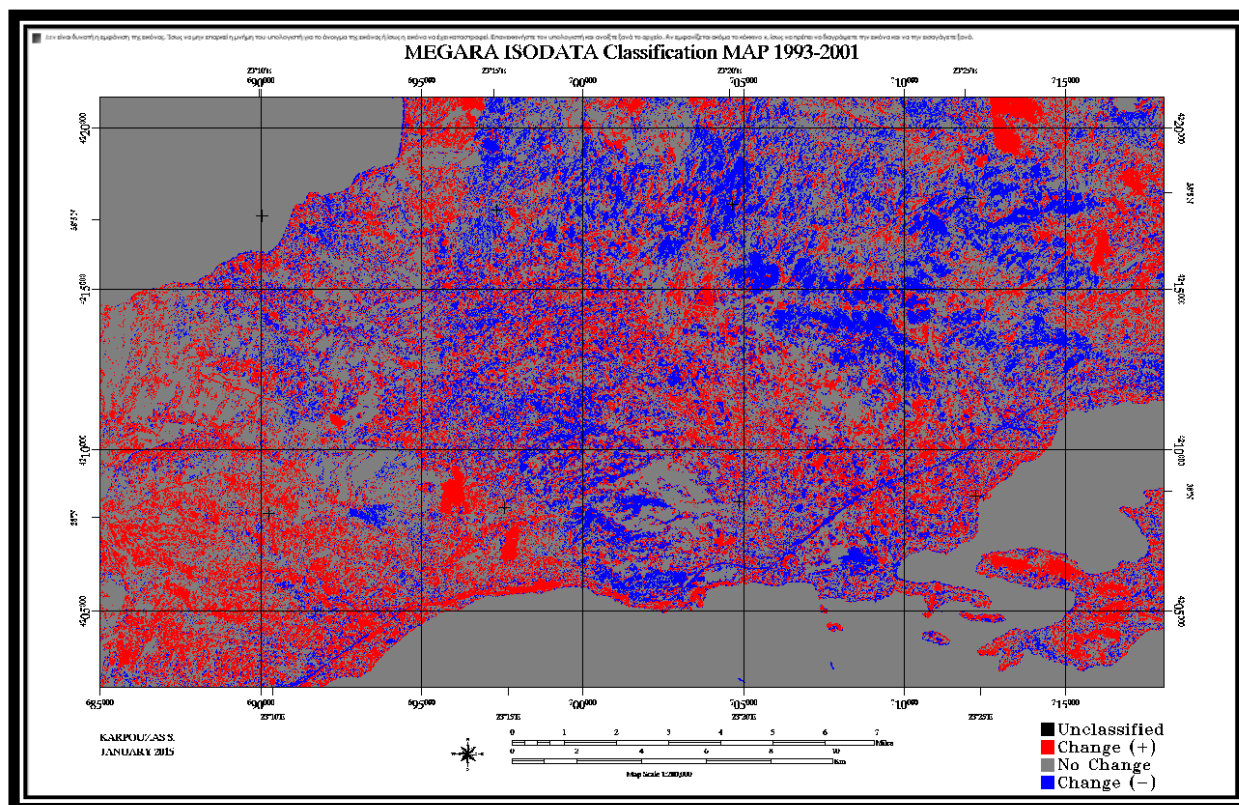
Χάρτης 5. Χάρτης μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA Αύγουστος 2010. (Λογισμικό ENVI 5.2).



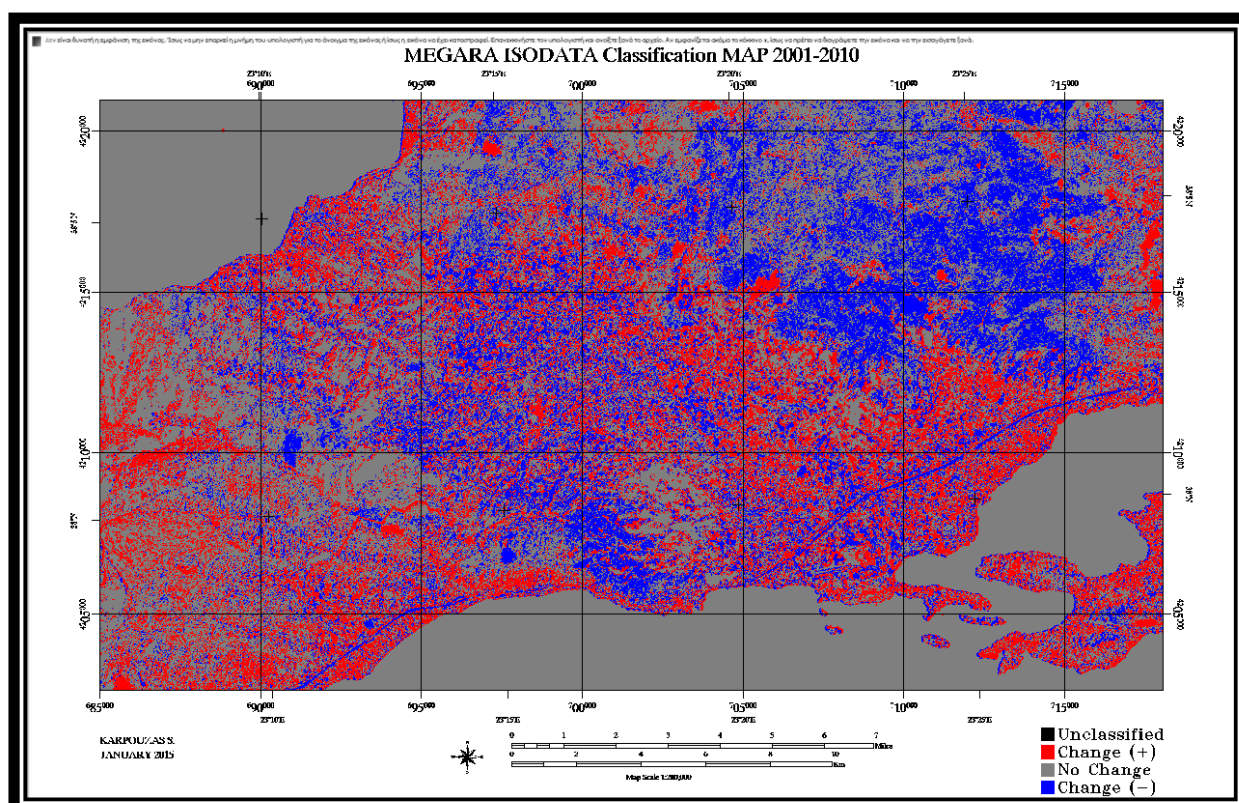
Διάγραμμα 12. Στατιστικά στοιχεία ISODATA ταξινομημένων εικόνων 1993,2001 και 2010.

Από τη σύγκριση των στοιχείων στους στατιστικούς πίνακες και ιστογράμματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχουν αλλαγές στις 10 κλάσεις που δημιούργησε ο αλγόριθμος ISODATA.

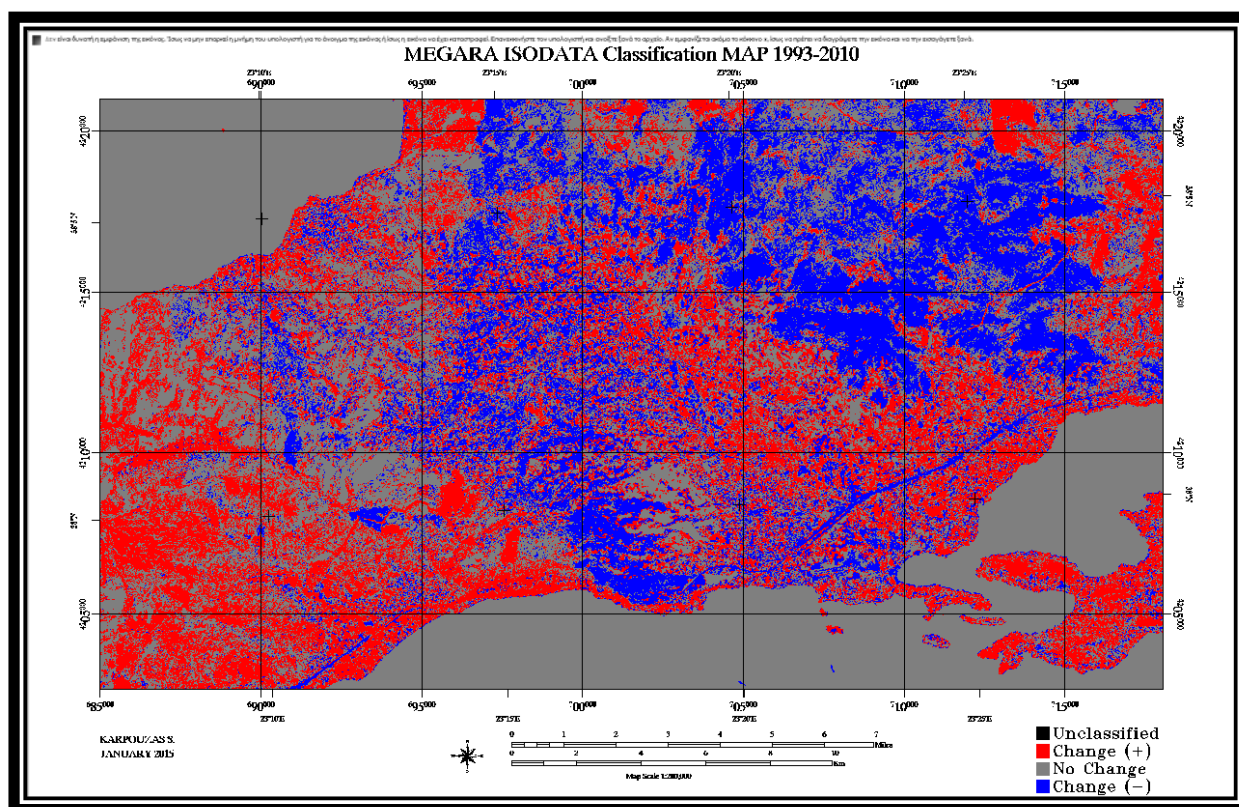
Ακολούθως, με βάση τους 3 παραπάνω χάρτες μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA (3,4 και 5), αναπαραστάθηκαν σε 3 νέους χάρτες οι αλλαγές κάλυψης γης ανάμεσα στις 3 δεδομένες χρονικές περιόδους.



Χάρτης 6. Χάρτης αλλαγών κάλυψης γης (ISODATA) Μεγάρων 1993 – 2001. (Λογισμικό ENVI 5.2).



Χάρτης 7. Χάρτης αλλαγών κάλυψης γης (ISODATA) Μεγάρων 2001 – 2010. (Λογισμικό ENVI 5.2).



Χάρτης 8. Χάρτης αλλαγών κάλυψης γης (ISODATA) Μεγάρων 1993 – 2010. (Λογισμικό ENVI 5.2).

Όλα τα παραπάνω στοιχεία τα οποία προέκυψαν από την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (ISODATA), οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στη περιοχή μελέτης (Μέγαρα) για τις χρονικές μελέτες που έχουν καθοριστεί, υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στη κάλυψη γης, αλλά δεν μπορούν να δημιουργηθούν συγκεκριμένες κλάσεις χρήσης/κάλυψης γης και να εξαχθούν συμπεράσματα ως προς τη κατεύθυνση των αλλαγών. Τις λεπτομέρειες αυτές και τον αριθμό και το είδος των συγκεκριμένων κλάσεων ταξινόμησης θα τις καθορίσει η επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

4.8. Δεδομένα Υπαίθρου.

Πριν από την εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, πραγματοποιήθηκε επιτόπια αυτοψία στη μελετώμενη περιοχή. Σκοπός της αυτοψίας ήταν η οπτική παρατήρηση και η φωτογράφιση των περιοχών χρήσης/κάλυψης γης, όμοιων με τις οριζόμενες κλάσεις. Παράλληλα με τη φωτογράφιση, σημειώθηκαν και οι συντεταγμένες κατά ΕΓΣΑ 87 οι οποίες στη συνέχεια μετετράπησαν στο WGS84. Να σημειωθεί ότι η αυτοψία πραγματοποιήθηκε με τη παρουσία του έμπειρου και παλιού δασοφύλακα της περιοχής, ο οποίος επιβεβαίωσε τη διαχρονική ή μη σταθερότητα της κάλυψης γης των περιοχών που φωτογραφήθηκαν και μετρήθηκαν.

Τα σημεία που φωτογραφήθηκαν και μετρήθηκαν οι συντεταγμένες τους παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα:

ΘΕΣΗ	ΚΛΑΣΗ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ
ΡΕΜΑ ΚΑΜΑΡΑΣ	Crops	441780, 4208845	
ΠΑΝΕΪΚΑ	Pine forest	442914, 4212636	
ΠΑΝΕΪΚΑ	Brush lands	442719, 4212515	
ΚΑΝΤΗΛΙ	Pine forest	446035, 4211509	

ΠΑΝΑΧΡΑΝΤΟΥ	Crops	442816, 4210374	
ΠΕΔΙΟ ΒΟΛΗΣ ΝΕΑ ΔΑΦΝΗ	Meadows	440616, 4211871	
ΠΕΔΙΟ ΒΟΛΗΣ ΝΕΑ ΔΑΦΝΗ	Brush lands	439588, 4212090	
ΠΕΔΙΟ ΒΟΛΗΣ ΝΕΑ ΔΑΦΝΗ	Brush lands	439568, 4212074	
ΧΑΝΙ	Crops	430578, 4208560	

ΧΑΝΙ	Pine forest	429105, 4207701	
ΑΕΡΑΣ	Pine forest	427218, 4207489	
ΕΛΑΤΟΔΑΣΟΣ ΓΕΡΑΝΕΙΩΝ	Fir forest	424932, 4208577	
ΒΕΡΟΡΙ	Pine forest	422793, 4205059	
ΚΙΑΦΑ	Crops	428645, 4203378	

ΣΤΙΚΑ	Bare lands	440153, 4203276	
ΜΕΓΑΡΑ	Urban	442514, 4205234	
ΚΙΝΕΤΤΑ	Water	431334, 4202349	

Πίνακας 18. Δεδομένα πεδίου που συλλέχθηκαν κατόπιν αυτοψίας στη περιοχή μελέτης.

4.9. Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση.

Η επιβλεπόμενη (ή καθοδηγούμενη) ταξινόμηση της εικόνας, γίνεται χρησιμοποιώντας πληροφορίες από περιοχές για τις οποίες γνωρίζουμε τη φύση των υλικών στην επιφάνεια της γης. Χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες πραγματοποιούμε μια γενίκευση για ολόκληρη την εικόνα ώστε να αναγνωρίσουμε σε αυτή, παρόμοια υλικά. Η ταξινόμηση της εικόνας αφορά τον καθορισμό ορίων στο n – διάστατο χώρο (όπου n ο αριθμός των καναλιών που συμμετέχουν στην ταξινόμηση).

4.9.1. Καθορισμός κλάσεων ταξινόμησης (χρήσης/κάλυψης γης)

Το πρώτο βήμα για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι η τροφοδότηση του ταξινομητή με δεδομένα από τα οποία θα εξαχθούν οι αναγκαίες στατιστικές πληροφορίες που θα συνδυασθούν με ολόκληρη την εικόνα για να ταξινομηθεί κάθε εικονοστοιχείο της σε μια κλάση. Το πιο

σημαντικό και θεσμικό τμήμα της όλης διαδικασίας είναι ο σαφής καθορισμός κλάσεων ταξινόμησης (χρήσης/κάλυψης γης).

Σύμφωνα με τον Campbell (2002), το σύστημα ταξινόμησης που πρέπει να ακολουθείται σε κάθε μελέτη, οφείλει να είναι συμβατό με αυτά που χρησιμοποιούνται από άλλους χρήστες και σε παλαιότερες εφαρμογές.

Για να ορισθούν οι τάξεις χρήσης/κάλυψης γης, στις οποίες θα ταξινομηθούν τα εικονοστοιχεία των δεδομένων της παρούσας μελέτης, συνδυάστηκε η μεθοδολογία Corine Land Cover 2000 (CLC2000), η δασική νομοθεσία και το σύστημα του Anderson et al. (1976). Για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος στην Ευρωπαϊκή Ένωση, στις 17 Ιούνη του 1985 υιοθετήθηκε απόφαση για την εκπόνηση του περιβαλλοντικού προγράμματος CORINE (COoRdination of INformation on the Environment). Το πρόγραμμα αυτό αφορά στη συλλογή, συντονισμό και συνοχή των πληροφοριών σε σχέση με το περιβάλλον και τα φυσικά διαθέσιμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Βασίζεται σε οπτική φωτοερμηνεία εικόνων LANDSAT 7 ETM+ (η έκδοση 2000) από εθνικές ομάδες εργασίας. Συνολικά 26 εικόνες απαιτούνται για την κάλυψη της Ελλάδος.

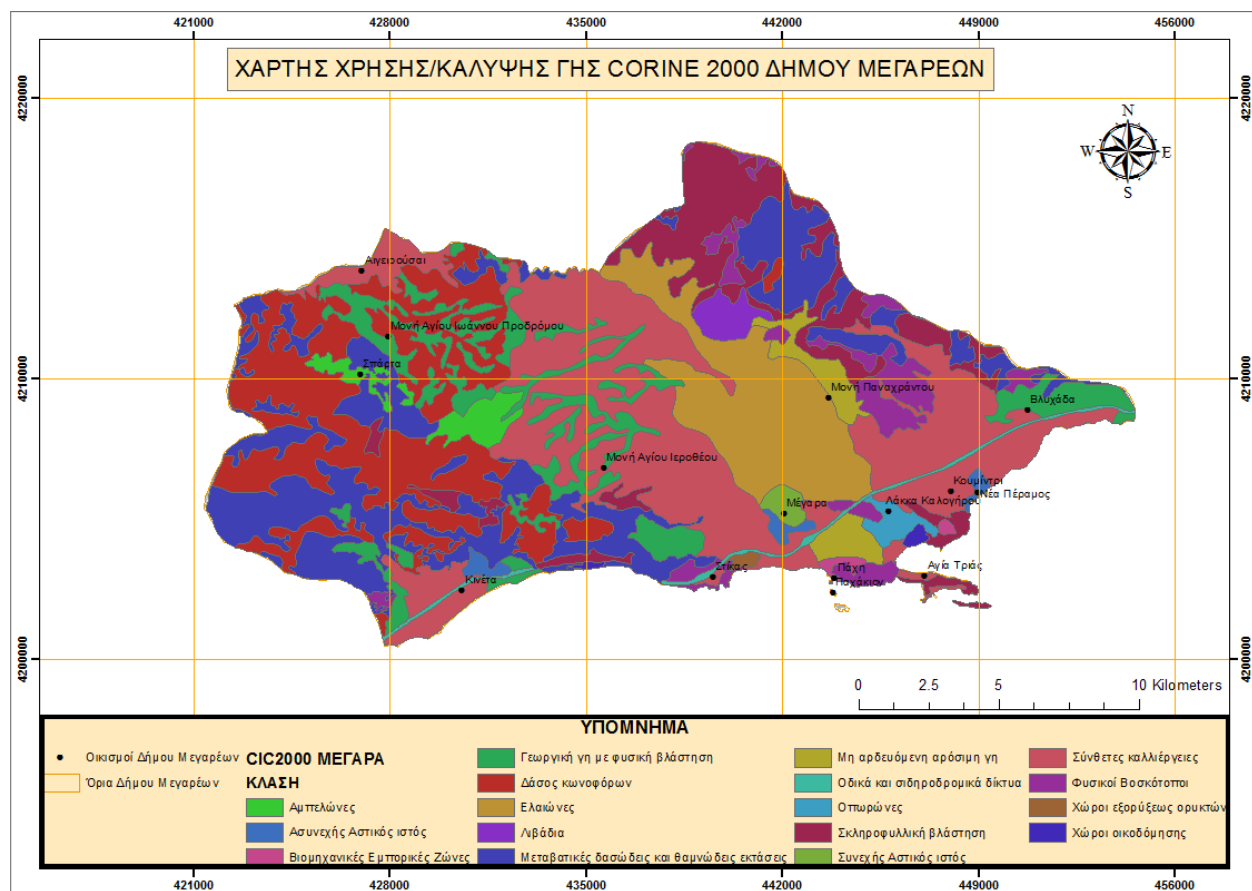
Στο σύστημα (**CLC2000**) δημιουργήθηκαν τρία ιεραρχικά επίπεδα όπου περιγράφεται η κάλυψη και, σε ορισμένες περιπτώσεις, η χρήση γης τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- Επίπεδο 1: περιλαμβάνει 5 κατηγορίες κάλυψης γης, οι οποίες αντιστοιχούν στις ανώτατες και κύριες κατηγορίες κάλυψης γης του πλανήτη. Αυτές οι κατηγορίες μπορεί να θεωρηθούν αφηρημένες σε κάποιο βαθμό, διότι προκύπτουν από μεγάλο βαθμό γενίκευσης και αφαιρετικότητας.
- Επίπεδο 2: αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει 15 κατηγορίες κάλυψης γης και καλύπτει φυσικές και φυσιολογικές οντότητες σε μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας από το επίπεδο 1. Οι κλίμακες που χρησιμοποιούνται για αυτό το επίπεδο είναι από 1:500000 έως 1:1 000 000.
- Επίπεδο 3: περιλαμβάνει 44 κατηγορίες κάλυψης γης και απευθύνεται στην κλίμακα 1:100.000

Πρώτο επίπεδο	Δεύτερο επίπεδο	Τρίτο επίπεδο
1. Τεχνητές επιφάνειες	1. Αστικός ιστός 1	1. Συνεχής αστικός ιστός 2. Ασυνεχής αστικός ιστός
	1.2 Βιομηχανικές-εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών	1. Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες 2. Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα 3. Ζώνες λιμένων 4. Αεροδρόμια
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1. Χώροι εξορύξεως ορυκτών 2. Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων 3. Χώροι οικοδόμησης
	1.4 Τεχνητές μη γεωργικές ζώνες πράσινου	1. Περιοχές αστικού πρασίνου 2. Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. Γεωργικές περιοχές	2. Αρόσιμη γη 1	1. Μη αρδεύομενη γη αρόσιμη 2. Μόνιμα αρδεύομενη γη 3. Ορυζώνες
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	1. Αμπελώνες 2. Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς 3. Ελαιώνες
	2.3 Λιβάδια	2.3.1 Λιβάδια
	2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	1. Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες 2. Σύνθετες καλλιέργειες 3. Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης 4. Γεωργο-δασικές περιοχές
3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	3. Δάση 1	1. Δάσος πλατύφυλλων 2. Δάσος κωνοφόρων 3. Μικτό δάσος
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης	1. Φυτικοί βοσκότοποι 2. Θάμνοι και χερσότοποι 3. Σκληροφυλλική βλάστηση 4. Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	1. Παραλίες, αμμόλοφοι, Αμμουδιές 2. Απογυμνωμένοι βράχοι 3. Εκτάσεις με αραιή βλάστηση 4. Αποτεφρωμένες εκτάσεις 5. Παγετώνες και αέριο χιόνι
4. Υγρότοποι	4.1 Υγρότοποι ενδοχώρας	1. Βάλτοι στην ενδοχώρα 2. Τυφώνες
	4.2 Παραθαλάσσιοι υγρότοποι	1. Παραθαλάσσιοι βάλτοι 2. Αλυκές 3. Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
5. Υδάτινες επιφάνειες	5. Χερσαία ύδατα 1	1. Υδατορρεύματα 2. Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
	5. Θαλάσσια ύδατα 2	1. Παράκτιες λιμνοθάλασσες 2. Εκβολές ποταμών 3. Θάλασσες και ωκεανοί

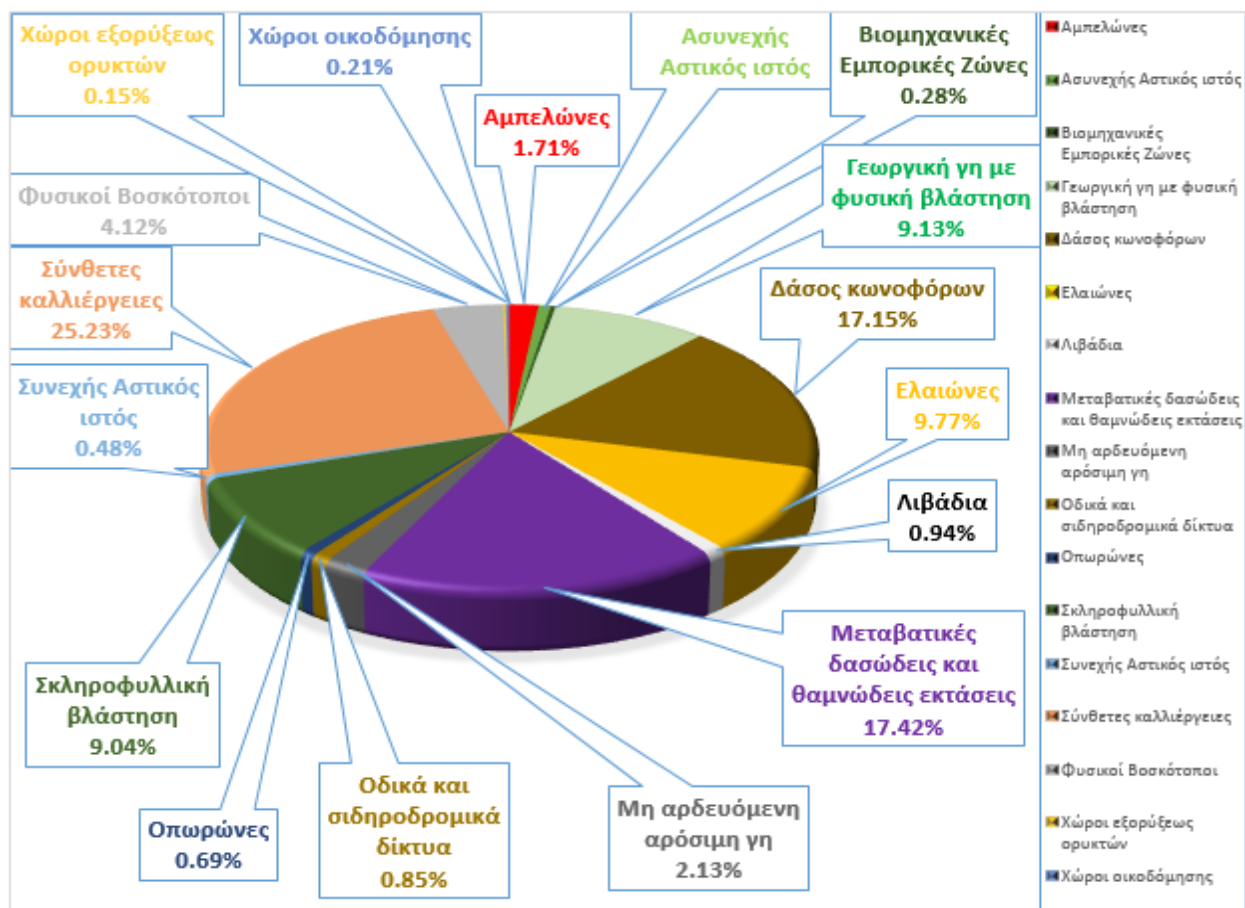
Πίνακας 19. Ελληνική ονοματολογία CORINE LAND COVER 2000. (Πηγή: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος).

Με βάση το τρίτο επίπεδο ταξινόμησης του συστήματος Corine Land Cover 2000, για τη περιοχή του Δήμου Μεγάρων, οι χρήσεις γης που προκύπτουν, απεικονίζονται στο παρακάτω χάρτη



Χάρτης 9. Χάρτης Χρήσης/Κάλυψης γης CORINE 2000 Δήμου Μεγαρέων.

Και αντίστοιχα τα ποσοστά κάλυψης γης στην περιοχή μελέτης με βάση τα στοιχεία του CLC 2000 απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 13. Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων/κάλυψης γης του Corine Land Cover 2000 για το Δήμο Μεγαρέων.

Ένα από τα πιο γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα ταξινόμησης χρήσεων και κάλυψης γης είναι το σύστημα του Anderson et al. (1976) που ταξινομεί σε 9 βασικές κατηγορίες σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα:

	Επίπεδο 1		Επίπεδο 2
1	Αστικές ή δομημένες περιοχές	11	Κατοικημένες
		12	Εμπορικές και υπηρεσίες
		13	Βιομηχανικές
		14	Μεταφορές, επικοινωνίες & κοινωφελείς υπηρεσίες
		15	Βιομηχανικά & εμπορικά συμπλέγματα
		16	Μικτές αστικές ή δομημένες
		17	Άλλες αστικές ή δομημένες
2	Αγροτική περιοχή	21	Καλλιέργειες και βοσκότοποι
		22	Δενδρόκηποι, αλεύλλιο, αμπέλια, φυτώρια, διακοσμητικές κηπευτικές περιοχές
		23	Επιχειρήσεις περιορισμένης τροφοδότησης
		24	Άλλες αγροτικές περιοχές
3	Βοσκότοπος μεγάλης έκτασης	31	Ποώδης βοσκότοπος
		32	Θαμνώδης βοσκότοπος
		33	Μικτός βοσκότοπος
4	Δασική περιοχή	41	Φυλλοβόλα δάση
		42	Αειθαλή δάση
		43	Μικτή δασική περιοχή
5	Υδάτινη επιφάνεια	51	Χείμαρροι και κανάλια
		52	Λίμνες
		53	Υδροφορείς
		54	Όρμοι και Δέλτα ποταμών
6	Υγροβιότοπος	61	Δασικοί υγροβιότοποι
		62	Μη δασικοί υγροβιότοποι
7	Άγονο έδαφος	71	Ξηρή, αλμυρή πεδινή περιοχή
		72	Ακτές
		73	Αμμώδη εδάφη εκτός ακτών
		74	Γυμνό εκτεθειμένο έδαφος
		75	Ορυχεία, λατομεία, εκσκαφές
		76	Μεταβατικές περιοχές
		77	Μικτό άγονο έδαφος
8	Τούντρα	81	Θαμνώδης τούντρα
		82	Ποώδης τούντρα
		83	Γυμνό έδαφος τούντρας
		84	Υγρή τούντρα
		85	Μικτή τούντρα
9	Αιώνιοι πάγοι και χιόνια	91	Αιώνιες χιονοσκεπείς εκτάσεις
		92	Παγετώνες

Πίνακας 20. Σύστημα ταξινόμησης χρήσεων και κάλυψης γης του Anderson et al. (1976).

Το επίπεδο 1 προορίζεται για εφαρμογή σε εικόνες μεγάλης χωρικής κλίμακας και μικρής χωρικής κλίμακας, όπως είναι στη παρούσα μελέτη οι εικόνες Landsat. Το επίπεδο 2 αποτελείται

από πιο λεπτομερείς οι οποίες μπορούν να εντοπισθούν σε εικόνες με μικρή χωρική κλίμακα και μεγάλη χωρική ανάλυση (π.χ. IKONOS, Worldview κ.α.).

Οι κλάσεις που ορίστηκαν στη παρούσα μελέτη ήταν συνολικά εννιά. Επελέγησαν με βάση τα 2 προαναφερόμενα συστήματα ταξινόμησης, ενώ στην όλη διαδικασία ελήφθη υπόψη και η δασική νομοθεσία καθώς και οικολογικά κριτήρια. Στο πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι κλάσεις:

A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ
1	Υδατα (Water)	Θάλασσες – λίμνες – ποτάμια
2	Αστικές εκτάσεις (Urban)	Κτήρια, δρόμοι, βιομηχανικές κατασκευές, θερμοκήπια
3	Γυμνό έδαφος (Bare lands)	Έδαφος γυμνό ανεκμετάλλευτο, φυσικά βράχια, παλιά λατομεία.
4	Δάση Χαλεπίου πεύκης (Pine forests)	Δάση Χαλεπίου πεύκης σε αμιγή ή μικτή μορφή με θαμνώνες αειφύλλων πλατυφύλλων
5	Δάσος ελάτης (Fir forests)	Δάσος ελάτης σε μικτή μορφή με μαύρη πεύκη
6	Δασικές εκτάσεις (Brush lands)	Εκτάσεις με αραιή δασική βλάστηση, φρυγανώνες και θαμνώνες.
7	Λιβάδια (Meadows)	Εκτάσεις με ποώδη βλάστηση, εγκαταλελειμμένοι αγροί με χορτολιβαδική βλάστηση.
8	Καμένες εκτάσεις (Burnt areas)*	Δασικές και γεωργικές εκτάσεις πρόσφατα καμένες
9	Καλλιέργειες (Crops)	Αροτραίες – Δενδρώδεις καλλιεργήσιμες εκτάσεις

Πίνακας 21. Κλάσεις ταξινόμησης μελέτης.

Με βάση τις ανωτέρω κλάσεις ταξινομήθηκαν όλες οι εκτάσεις στη περιοχή των Μεγάρων.

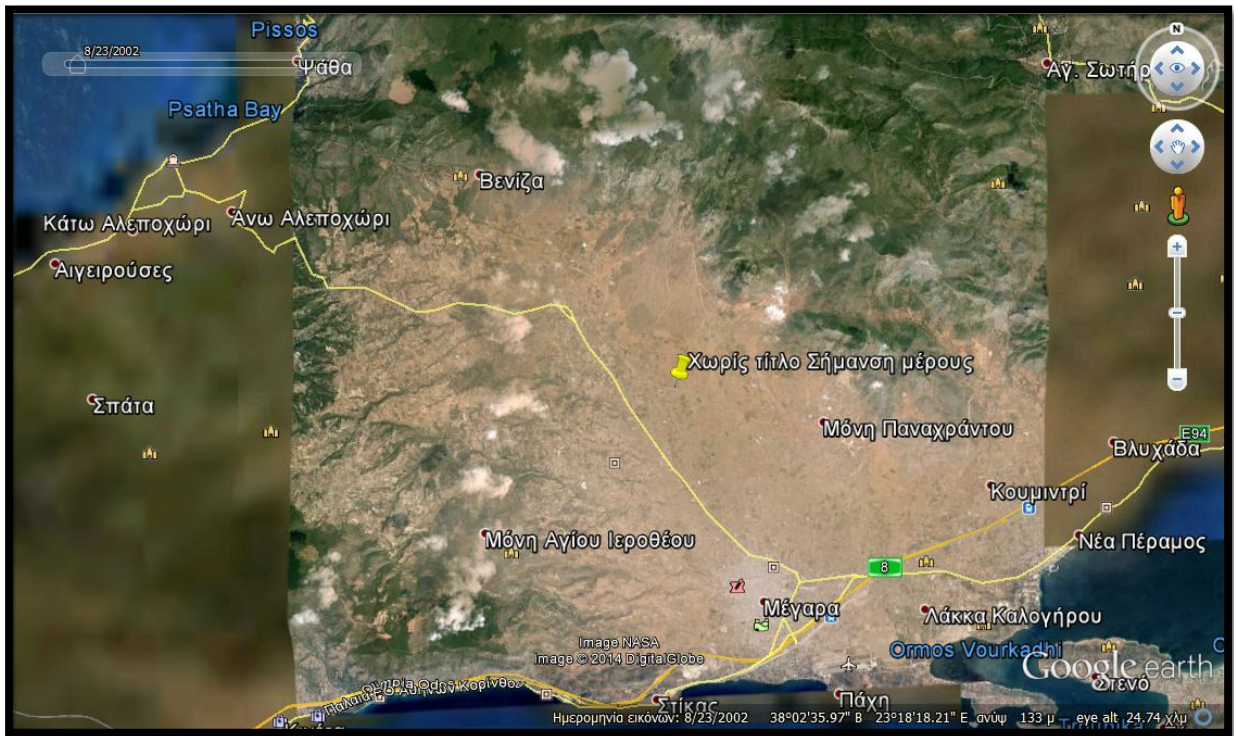
* Να σημειωθεί ότι, όπως διαπιστώθηκε και από το αρχείο των πυρκαγιών της Διεύθυνσης Δασών Δυτικής Αττικής, κατά το έτος 2010 δεν υπήρξαν δασικές πυρκαγιές οι οποίες να ξεπερνούν σε έκταση το μισό στρέμμα. Ως εκ τούτου η συγκεκριμένη κλάση εμφανίζεται μόνο στα έτη 1993 και 2001.

4.9.2. Εκπαίδευση περιοχών

Στο στάδιο της εκπαίδευσης που ακολουθεί, επιλέγονται περιοχές σε κάθε μια από τις 3 εικόνες της περιοχής μελέτης, οι οποίες ανήκουν αποδεδειγμένα σε κάποια από τις εννιά οριζόμενες κλάσεις ταξινόμησης και απομονώνονται σε ένα πολύγωνο στην οθόνη το οποίο καλείται εκπαιδευτικό πεδίο (training site) ή περιοχή ενδιαφέροντος (region of interest ROI).

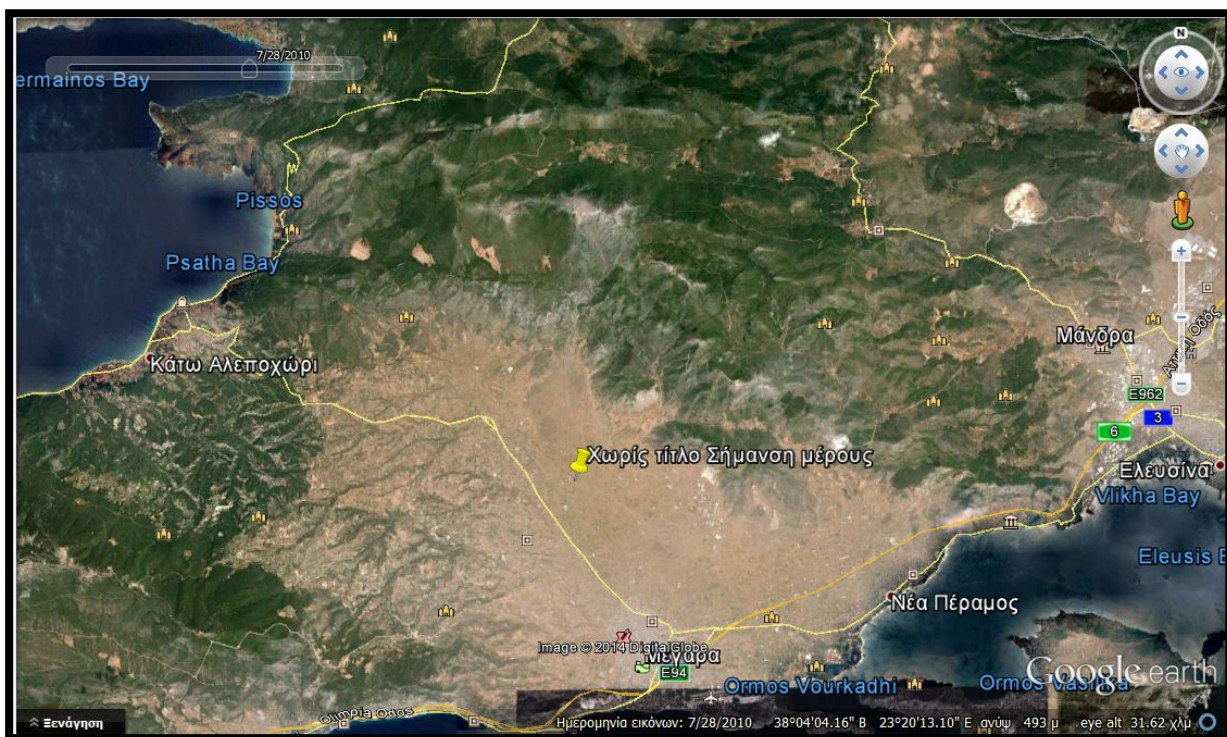
Για τον καθορισμό των εκπαιδευτικών πεδίων στις 3 διαθέσιμες εικόνες Landsat χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα:

- Για την εικόνα του 1993, χρησιμοποιήθηκαν οι ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες του Υπουργείου Γεωργίας έτους 1996 και οι αναλογικές αεροφωτογραφίες της περιοχής Μεγάρων 1987 και 1995 του αρχείου Δ/σης Δασών Δυτικής Αττικής.
- Για την εικόνα του 2001, χρησιμοποιήθηκαν οι αναλογικές αεροφωτογραφίες της περιοχής Μεγάρων του έτους 2001 από το αρχείο της Δ/σης Δασών Δυτικής Αττικής και η εικόνα 28 του Google Earth για τη χρονική στιγμή 23-8-2002.



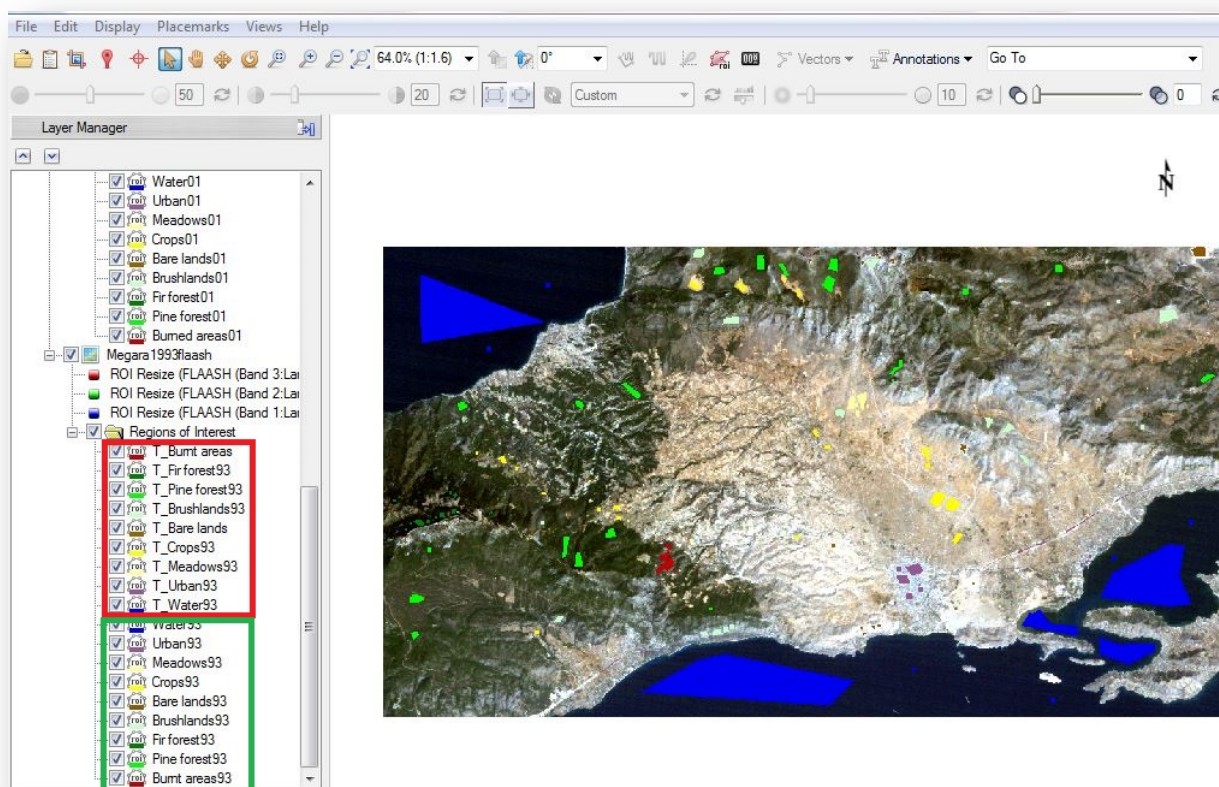
Εικόνα 28. Εικόνα Google Earth ημερομηνίας λήψης 23-8-2002.

- Για την εικόνα του 2010, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα υπαίθρου από την επιτόπια αυτοψία στη περιοχή μελέτης, οι ορθοφωτοχάρτες της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. έτους 2007 και η εικόνα 29 του Google Earth για τη χρονική στιγμή 28-7-2010.



Εικόνα 29. Εικόνα Google Earth ημερομηνίας λήψης 28-7-2010.

Στο στάδιο αυτό, κατά την επιλογή των περιοχών εκπαίδευσης (ROIs), θα πρέπει ταυτόχρονα και με τον ίδιο τρόπο, να επιλεγούν παρόμοια πολύγωνα, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ακρίβειας της ταξινόμησης (δείγματα ελέγχου). Τα δείγματα ελέγχου πρέπει να λαμβάνονται κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης, με τη διαφορά ότι δεν θα χρησιμοποιηθούν σαν περιοχές εκπαίδευσης. Με τη παρακάτω μέθοδο δημιουργήθηκε η εικόνα με τα πολύγωνα των περιοχών ενδιαφέροντος για το 1993.



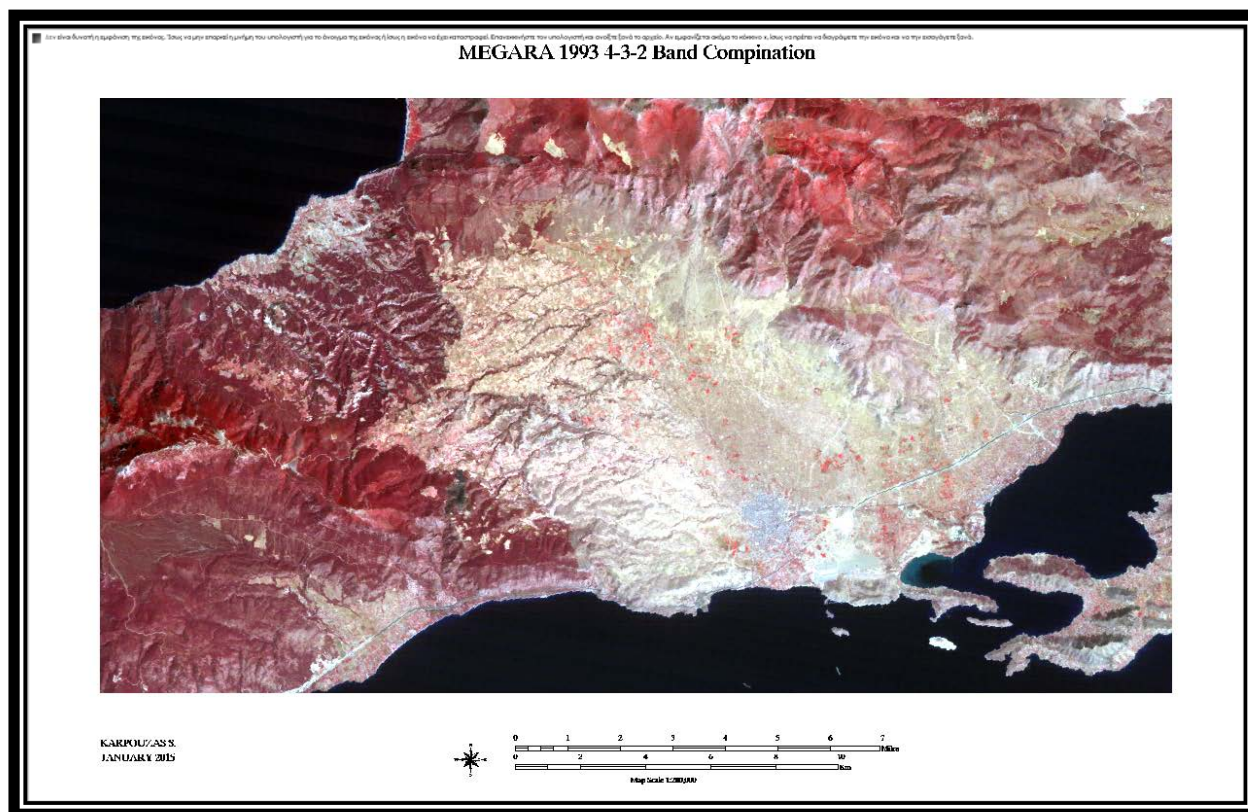
Εικόνα 30. Δημιουργία περιοχών εκπαίδευσης και δειγμάτων ελέγχου της ταξινόμησης.

Μπορεί κάποιος εύκολα να παρατηρήσει στο αριστερό μέρος της οθόνης του λογισμικού ENVI 5.2 στην εικόνα 30, σε κόκκινο πλαίσιο τις περιοχές αξιολόγησης της ακρίβειας της ταξινόμησης και σε πράσινο πλαίσιο τις περιοχές εκπαίδευσης.

4.9.3. Σύνθεση συνδυασμού φασματικών καναλιών

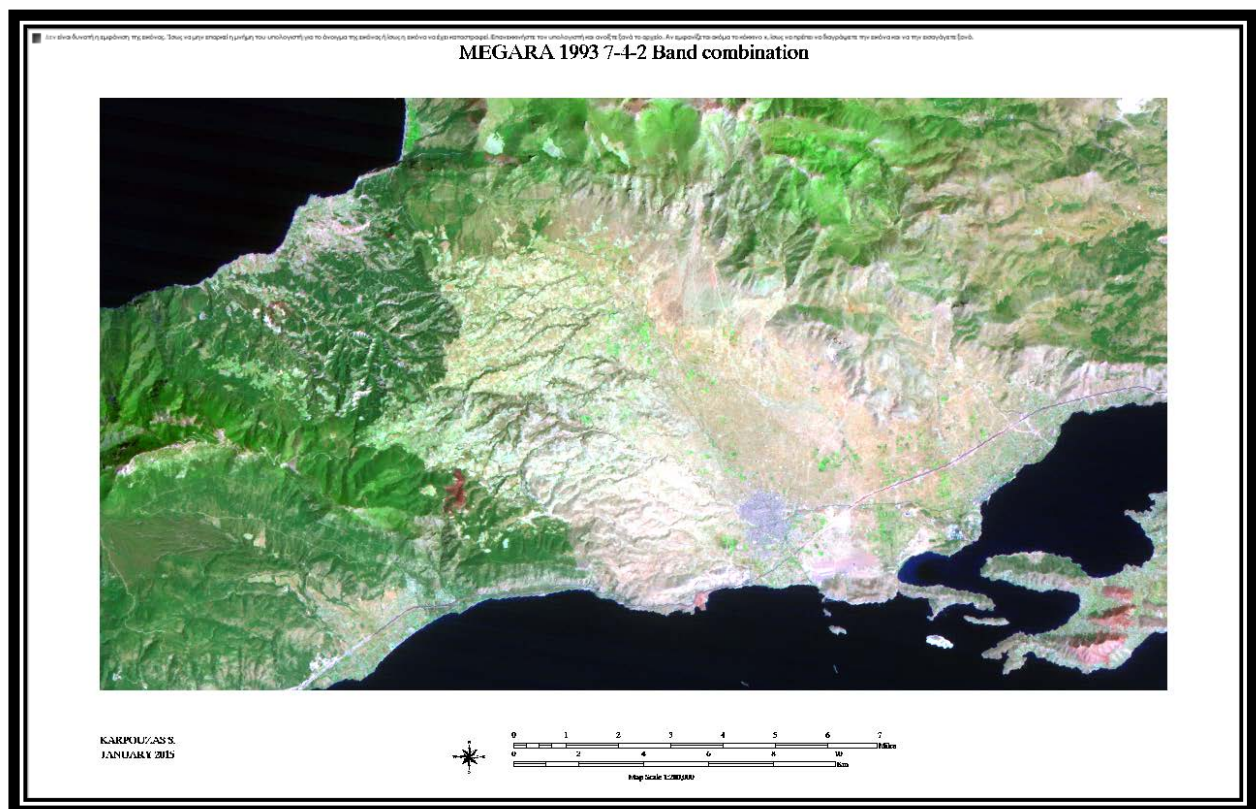
Στην αναγνώριση και το διαχωρισμό των διαφορετικών κλάσεων ταξινόμησης, συνεισέφερε σημαντικά και η επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού φασματικών καναλιών. Μετά από διαδοχικές δοκιμές και συγκρίσεις οι συνδυασμοί που επιλέχθηκαν ήταν:

- Ο συνδυασμός RGB 4,3,2 στον οποίο η βλάστηση εμφανίζεται σε αποχρώσεις του κόκκινου, οι αστικές περιοχές είναι κυανό μπλε, και τα εδάφη ποικίλουν, από το σκοτεινό προς το φωτεινό καφέ. Στη περιοχή μελέτης βοηθά στο διαχωρισμό των δασών Χαλεπίου πεύκης και ελάτης. Σε γενικές γραμμές, βαθυκόκκινες αποχρώσεις σημαίνουν ευρεία φύλλα ή και υγιέστερη βλάστηση, ενώ ελαφρύτερα κόκκινες σημαίνουν λιβάδια ή αραιή βλάστηση. Οι πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές φαίνονται γαλάζιες.



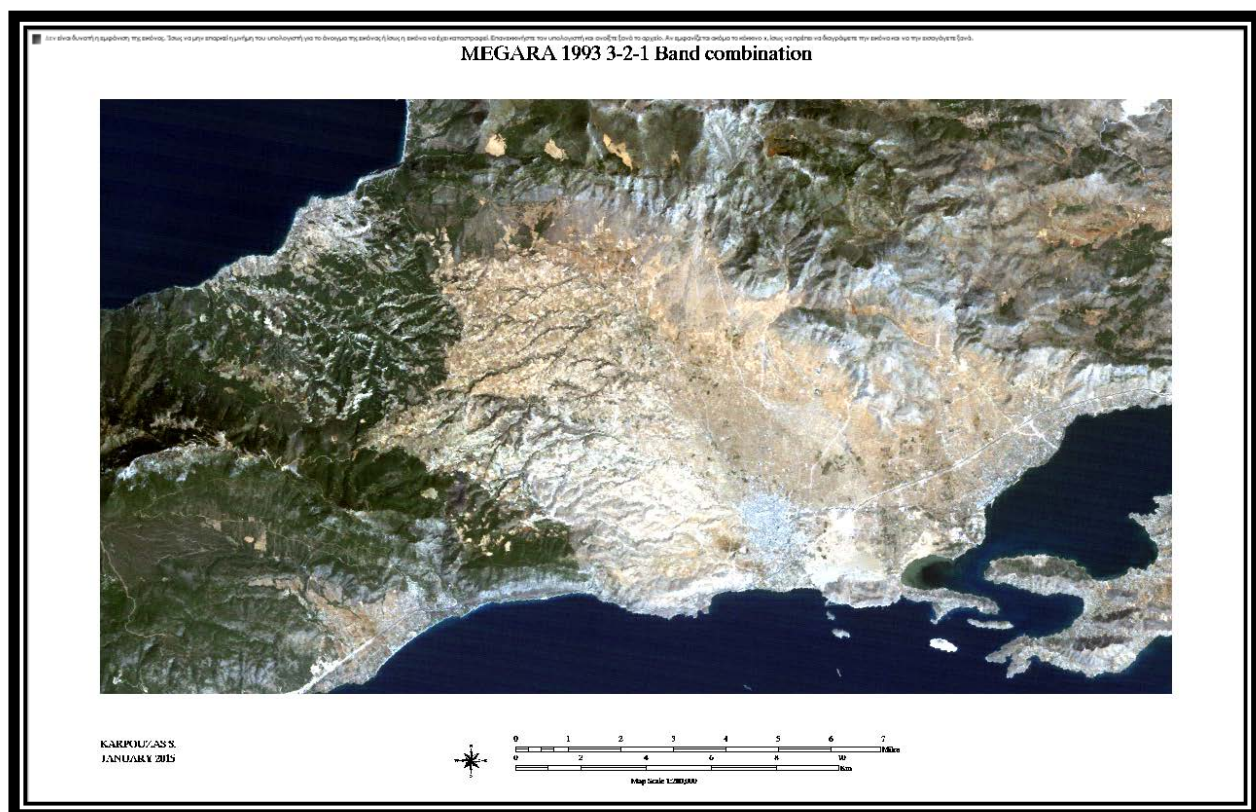
Χάρτης 10. Ψευδέγχρωμη εικόνα περιοχής μελέτης έτους 1993. Σύνθεση RGB 4,3,2.

- Ο συνδυασμός RGB 7,4,2 εμφανίζει την υγιή βλάστηση με ένα φωτεινό πράσινο χρώμα, τα λιβάδια εμφανίζονται πράσινα, ενώ οι ροζ περιοχές αντιπροσωπεύουν το άγονο γυμνό έδαφος και οι περιοχές με αραιά βλάστηση εμφανίζονται με πορτοκαλί και καφέ χρώμα. Οι πρόσφατα καμένες εκτάσεις εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα (περιοχή ΒΑ της Κινέττας), οι αστικές περιοχές εμφανίζονται σε αποχρώσεις του magenda.



Χάρτης 11. Ψευδέγχρωμη εικόνα περιοχής μελέτης έτους 1993. Σύνθεση RGB 7,4,2.

- Τέλος ο συνδυασμός RGB 3,2,1 (True color), ο οποίος αποδίδει το φυσικό χρώμα στην εικόνα.



Χάρτης 12. Εικόνα True color περιοχής μελέτης έτους 1993. Σύνθεση RGB 3,2,1.

4.9.4. Ανάλυση διακριτότητας (Separability) των περιοχών εκπαίδευσης.

Η διακριτότητα των φασματικών υπογραφών αποτελεί ένα στατιστικό μέτρο της απόστασης αυτών των δυο υπογραφών στο φασματικό χώρο. Η διακριτότητα υπολογίζεται για κάθε δυνατό συνδυασμό των περιοχών εκπαίδευσης ανά ζεύγη που χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση και δίνει τη δυνατότητα να εντοπίσουμε τα ζεύγη εκείνα που δεν είναι διακριτά μεταξύ τους στην ταξινόμηση.

Για την αξιολόγηση των υπογραφών υπολογίζεται η φασματική απόσταση μεταξύ των κέντρων κάθε δυνατού ζεύγους υπογραφών. Εάν η φασματική απόσταση μεταξύ δυο υπογραφών δεν είναι στατιστικά σημαντική σε κανένα δισδιάστατο φασματικό χώρο, τότε οι δυο αυτές υπογραφές δεν είναι αρκετά διακριτές μεταξύ τους και θα πρέπει να συγχωνευτούν. (Καρτάλης Κ. κ.α., 2006).

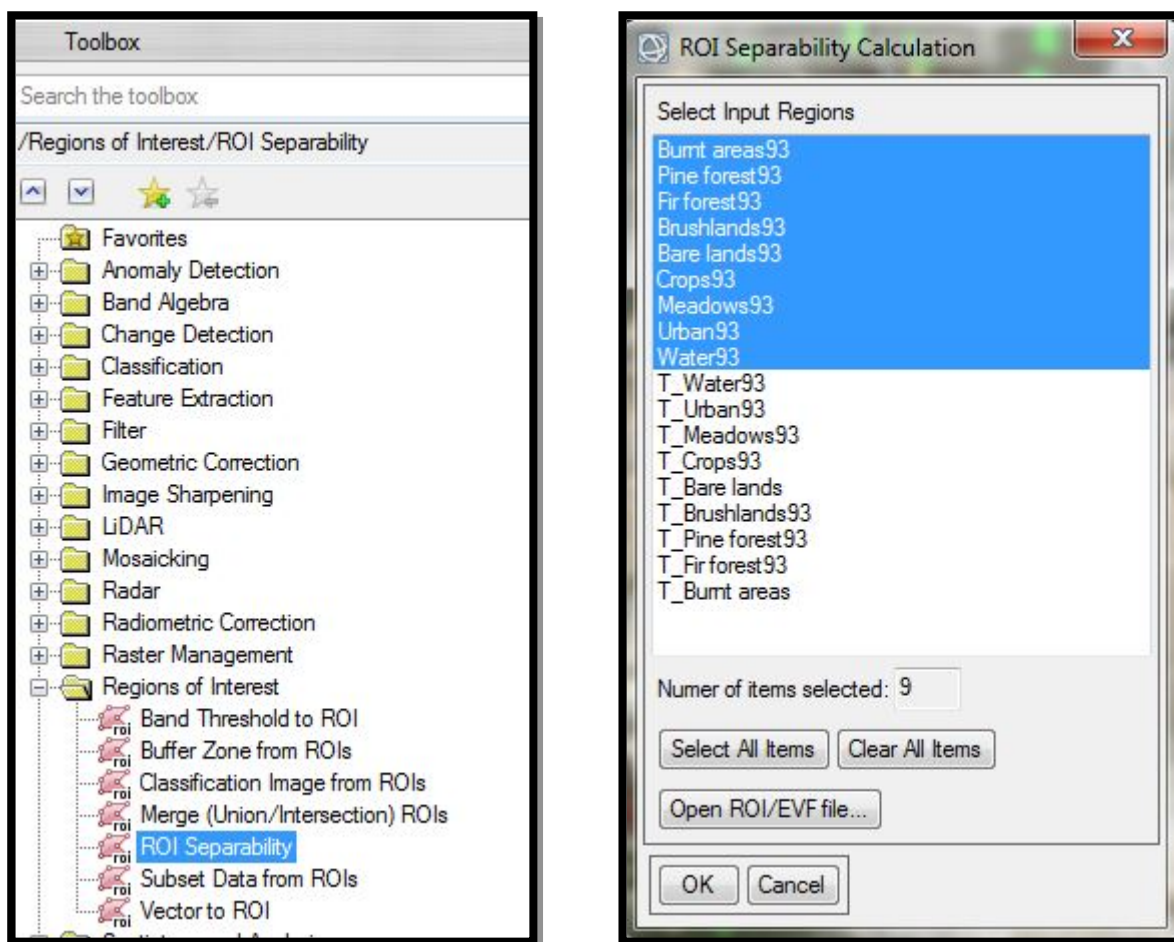
Το λογισμικό ENVI δίνει αυτή τη δυνατότητα με τη χρησιμοποίηση του εργαλείου διακριτότητας περιοχών ενδιαφέροντος (ROI Separability Tool) με το οποίο υπολογίζεται η φασματική διαχωριστικότητα μεταξύ επιλεγμένων ζευγών ROIs για ένα συγκεκριμένο αρχείο εισόδου. Οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 2.0 και δείχνουν πόσο καλά τα επιλεγμένα ζεύγη ROIs είναι στατιστικά διακριτά. Τιμές μεγαλύτερες από 1.9 δείχνουν ότι τα ζευγάρια έχουν καλή απόδοση διακριτότητας. Για ζευγάρια ROIs με χαμηλότερες τιμές διαχωριστικότητας, θα πρέπει να βελτιωθεί η διακριτότητα με την επεξεργασία των ROIs ή με την επιλογή νέων ROIs. Για ζευγάρια ROIs με πολύ χαμηλές τιμές διαχωριστικότητας (μικρότερη από 1), πρέπει να συγχωνευθούν σε μία νέα ενιαία ROI. (J.A. Richards, 1999).

Ένας άλλος τρόπος βελτίωσης της φασματικής διακριτότητας, προέκυψε από την έρευνα της βιβλιογραφίας. Αναφέρεται κυρίως στη χρήση δεικτών (indices) και αναλογιών των φασματικών καναλιών (band ratios) που όταν συμμετέχουν στην σύνθεση της προς ταξινόμηση εικόνας ενισχύουν σημαντικά τη φασματική διακριτότητα των ζευγών των επιλεγμένων ROIs. (Inzana J. Et al 2003, Krishna Bahadur K.C. 2009, Κούτσιας Ν κ.α. 2002).

Ο υπολογισμός της διακριτότητας των περιοχών ενδιαφέροντος πραγματοποιήθηκε με την επιλογή από το ENVI Toolbox → Region of Interest → ROI Separability. (Εικόνα 31 αριστερά).

Στη συνέχεια από το παράθυρο του ROI Separability calculation (Εικόνα 31 δεξιά) επελέγησαν μόνο οι περιοχές εκπαίδευσης, ενώ οι υπόλοιπες περιοχές με το πρόθεμα (T_) θα χρησιμοποιηθούν

για την αξιολόγηση της ακρίβειας της ταξινόμησης.



Εικόνα 31. Οθόνη λογισμικού ENVI 5.2. Αριστερά το εργαλείο Separability tool και δεξιά το παράθυρο ROI Separability calculation.

Εξαγόμενο της ανωτέρω διαδικασίας είναι μια αναφορά της εκτίμησης των δεικτών διακριτότητας Transformed Divergence και Jefferies-Matusita. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας και για τις τρεις εικόνες εμφανίζονται στη παρακάτω εικόνα 32:

Pair Separation (least to most):

```
Brushlands93 and Crops93 - 1.46989112
Bare lands93 and Crops93 - 1.61102636
Brushlands93 and Bare lands93 - 1.69747189
Crops93 and Meadows93 - 1.76462602
Bare lands93 and Urban93 - 1.76847815
Pine forest93 and Fir forest93 - 1.87935831
Pine forest93 and Brushlands93 - 1.90610081
Brushlands93 and Urban93 - 1.91492223
Brushlands93 and Meadows93 - 1.91494140
Burnt areas93 and Pine forest93 - 1.9187561
Bare lands93 and Meadows93 - 1.93803160
Pine forest93 and Crops93 - 1.94541132
Crops93 and Urban93 - 1.95045209
Burnt areas93 and Urban93 - 1.96391754
Burnt areas93 and Bare lands93 - 1.97480544
Burnt areas93 and Brushlands93 - 1.97951097
Pine forest93 and Bare lands93 - 1.98560144
Burnt areas93 and Crops93 - 1.99605932
Pine forest93 and Water93 - 1.99937255
Fir forest93 and Bare lands93 - 1.99957352
Pine forest93 and Urban93 - 1.99965954
Meadows93 and Urban93 - 1.99974675
Burnt areas93 and Fir forest93 - 1.99979907
Fir forest93 and Crops93 - 1.99994147
Fir forest93 and Brushlands93 - 1.99998191
Burnt areas93 and Water93 - 1.99999365
Bare lands93 and Water93 - 1.99999742
Burnt areas93 and Meadows93 - 1.99999814
Fir forest93 and Urban93 - 2.00000000
Pine forest93 and Meadows93 - 2.00000000
Urban93 and Water93 - 2.00000000
Fir forest93 and Water93 - 2.00000000
Brushlands93 and Water93 - 2.00000000
Crops93 and Water93 - 2.00000000
Fir forest93 and Meadows93 - 2.00000000
Meadows93 and Water93 - 2.00000000
```

Pair Separation (least to most):

```
Brushlands01 and Crops01 - 1.33029988
Bare lands01 and Crops01 - 1.53306572
Crops01 and Meadows01 - 1.54245223
Brushlands01 and Bare lands01 - 1.68145181
Bare lands01 and Urban01 - 1.68958950
Burned areas01 and Brushlands01 - 1.80985583
Bare lands01 and Meadows01 - 1.86774043
Pine forest01 and Fir forest01 - 1.89297105
Brushlands01 and Urban01 - 1.92234474
Brushlands01 and Meadows01 - 1.92728382
Pine forest01 and Brushlands01 - 1.93781925
Burned areas01 and Bare lands01 - 1.96031002
Crops01 and Urban01 - 1.96082057
Burned areas01 and Crops01 - 1.97334080
Pine forest01 and Crops01 - 1.98092743
Burned areas01 and Urban01 - 1.98840387
Pine forest01 and Bare lands01 - 1.98995585
Meadows01 and Urban01 - 1.99474305
Burned areas01 and Pine forest01 - 1.99788788
Pine forest01 and Urban01 - 1.99912052
Fir forest01 and Bare lands01 - 1.99938236
Pine forest01 and Water01 - 1.99964561
Burned areas01 and Meadows01 - 1.99994293
Fir forest01 and Brushlands01 - 1.99998925
Urban01 and Water01 - 1.99999573
Fir forest01 and Crops01 - 1.99999834
Fir forest01 and Urban01 - 1.99999883
Bare lands01 and Water01 - 1.99999992
Fir forest01 and Water01 - 1.99999998
Pine forest01 and Meadows01 - 2.00000000
Burned areas01 and Fir forest01 - 2.00000000
Brushlands01 and Water01 - 2.00000000
Fir forest01 and Meadows01 - 2.00000000
Burned areas01 and Water01 - 2.00000000
Crops01 and Water01 - 2.00000000
Meadows01 and Water01 - 2.00000000
```

Pair Separation (least to most):

```
Bare lands10 and Urban10 - 1.58162089
Bare lands10 and Crops10 - 1.59763125
Brushlands10 and Crops10 - 1.63208273
Crops10 and Meadows10 - 1.66866310
Brushlands10 and Bare lands10 - 1.75338206
Pine forest10 and Fir forest10 - 1.77809421
Brushlands10 and Meadows10 - 1.82960992
Bare lands10 and Meadows10 - 1.84341888
Crops10 and Urban10 - 1.87207866
Brushlands10 and Urban10 - 1.94225106
Pine forest10 and Brushlands10 - 1.95180289
Pine forest10 and Crops10 - 1.95532490
Pine forest10 and Urban10 - 1.99585837
Meadows10 and Urban10 - 1.99726246
Pine forest10 and Bare lands10 - 1.99776235
Pine forest10 and Water10 - 1.99948358
Fir forest10 and Urban10 - 1.99979922
Fir forest10 and Brushlands10 - 1.99992394
Fir forest10 and Bare lands10 - 1.99997582
Fir forest10 and Crops10 - 1.99998856
Urban10 and Water10 - 1.99999049
Pine forest10 and Meadows10 - 1.99999787
Fir forest10 and Water10 - 2.00000000
Bare lands10 and Water10 - 2.00000000
Fir forest10 and Meadows10 - 2.00000000
Brushlands10 and Water10 - 2.00000000
Crops10 and Water10 - 2.00000000
Meadows10 and Water10 - 2.00000000
```

Εικόνα 32. Αρχικές αναφορές ανάλυσης διακριτότητας για τα τρία έτη αναφοράς (ROI Separability reports).

Από τα αποτελέσματα του δείκτη διακριτότητας συνάγεται το συμπέρασμα ότι και στις 3 εικόνες εμφανίζονται σε κάποια ζεύγη χαμηλές τιμές διακριτότητας οι οποίες σε αρκετές περιπτώσεις είναι μικρότερες του 1.8 και πλησιάζουν το 1.3. Τα προβλήματα εντοπίζονται κυρίως στις κλάσεις των δασικών εκτάσεων (Brush lands) και των Γυμνών εδαφών (Bare lands), τα οποία είναι φασματικά δυσδιάκριτα με τα Αστικά (Urban) και με τα Χορτολίβαδα (Meadows).

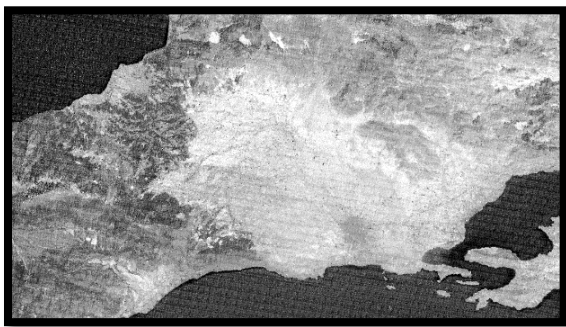
4.9.5. Λόγοι φασματικών καναλιών (Band Ratios).

Για να ενισχυθεί η φασματική διακριτότητα σε ικανοποιητικά επίπεδα και να διαχωρισθούν με μεγαλύτερη σαφήνεια οι περιοχές εκπαίδευσης, θα χρησιμοποιηθούν οι λόγοι φασματικών καναλιών (Band ratios).

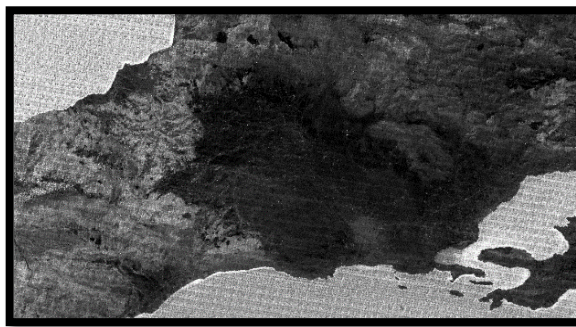
Αναλυτικότερα θα δημιουργηθούν με τη βοήθεια του εργαλείου του λογισμικού ENVI Layer Stacking 3 νέες ψευδέγχρωμες εικόνες, οι οποίες εκτός από τα αρχικά 6 επιλεγόμενα κανάλια της εικόνας, θα έχουν και πρόσθετα layers που θα προκύψουν από κάποιες αναλογίες

φασματικών καναλιών, οι οποίες θα διαχωρίζουν σαφέστερα τις περιοχές εκπαίδευσης. Κατόπιν διαδοχικών επαναλήψεων και δοκιμών προέκυψαν οι παρακάτω Λόγοι καναλιών:

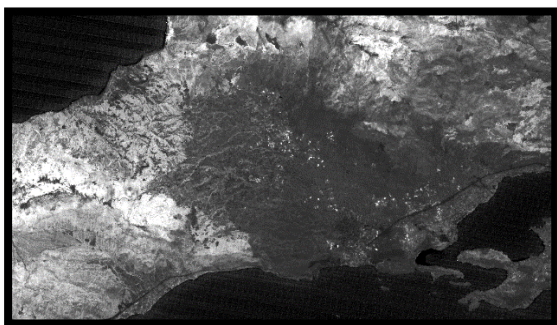
- **TM3/TM2:** Η αναλογία αυτή διαχωρίζει δάση και καλλιέργειες. Επειδή η μπάντα 3 (0.63-0.69μm) είναι η κόκκινη ζώνη απορρόφησης της χλωροφύλλης της υγιούς πράσινης βλάστησης και η ζώνη 2 (0.52-0.69μm) είναι η ζώνη ανάκλασης από την επιφάνεια των φύλλων, αναλογία αυτή μπορεί να είναι χρήσιμη για τη διάκριση ευρέων κατηγοριών της βλάστησης. Οι Καλλιέργειες εμφανίζονται με ελαφρύτερο (φωτεινό) τόνο και τα δάση με σκοτεινό τόνο.
- **TM2/TM3:** Η αναλογία αυτή διακρίνει αισθητά τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις με την άγονη γη. Αλλά δεν μπορεί να διαχωρίσει τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις, τα δάση και το σώμα του νερού. Τα δάση και το σώμα του νερού εμφανίζονται με ανοιχτότερο τόνο και η άγονη γη με σκούρο τόνο. Δεν ενισχύει τη διάκριση της αστικής περιοχής. Η χλωροφύλλη έχει ισχυρή ανάκλαση στη ζώνη 2 (0,52 -0.60μm) και ισχυρή απορρόφηση στη ζώνη 3 (0,63 -0.69μm), η βλάστηση εμφανίζεται σε πιο φωτεινό τόνο.
- **TM4/TM3:** Ο λόγος αυτός διακρίνει τη βλάστηση, το νερό και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Ενισχύει τα δάση και την άγονη γη. Επειδή στα δάση η βλάστηση εμφανίζει υψηλότερη ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο IR (0,76 -0.90μm) και ισχυρή απορρόφηση στην κόκκινη περιοχή (0.63-0.69μm), η αναλογία αυτή καθορίζει μοναδικά την κατανομή της βλάστησης. Όσο πιο φωτεινός ο τόνος, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα της παρούσας βλάστησης.
- **TM3/TM4:** Η αναλογία αυτή καθορίζει με σαφήνεια τα άγονα γυμνά εδάφη και την αστική περιοχή. Αλλά δεν μπορεί να καθορίσει τα υδάτινα σώματα, τα δάση και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις.
- **TM7/TM2:** Η αναλογία αυτή έχει διαχωρίζει με ασφάλεια τα δάση και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Αλλά δεν μπορεί να διαχωριστεί τα ύδατα από τα δάση αφού και οι δύο αυτές οντότητες εμφανίζονται με σκούρο τόνο. Ενισχύει τους αυτοκινητόδρομους, τις αστικές και κατοικημένες περιοχές και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις και τα εμφανίζει όλα με ανοιχτότερο τόνο.
- **TM3/TM5:** Η αναλογία αυτή ενισχύει την άγονη γη, τους αυτοκινητόδρομους, τα δρομάκια εντός των αστικών περιοχών και γενικά τις ανθρωπογενείς αδιαπέρατες επιφάνειες. Η αναλογία αυτή είναι χρήσιμη για την παρατήρηση διαφορών στην θολότητα του νερού. Άγονη γη, αυτοκινητόδρομοι, αστικές και κατοικημένες περιοχές εμφανίζονται με ανοιχτότερο τόνο και τα δάση, τα υδάτινα σώματα και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις εμφανίζονται με σκοτεινό τόνο.



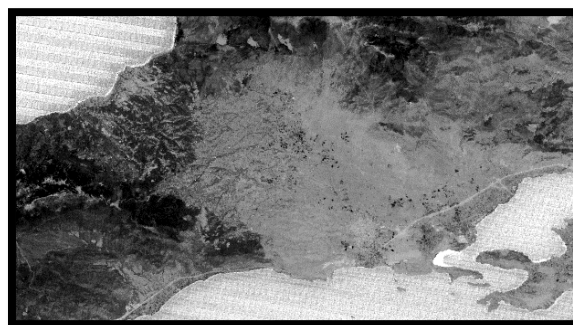
Λόγος καναλιών TM3/TM2



Λόγος καναλιών TM2/TM3



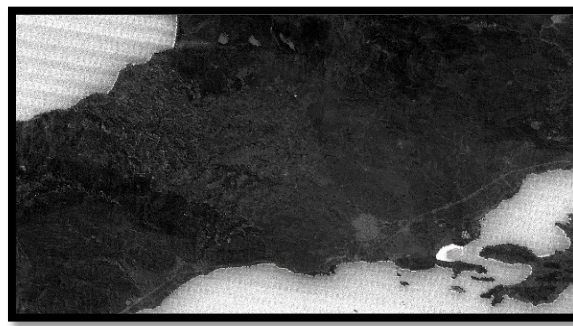
Λόγος καναλιών TM4/TM3



Λόγος καναλιών TM3/TM4



Λόγος καναλιών TM7/TM2

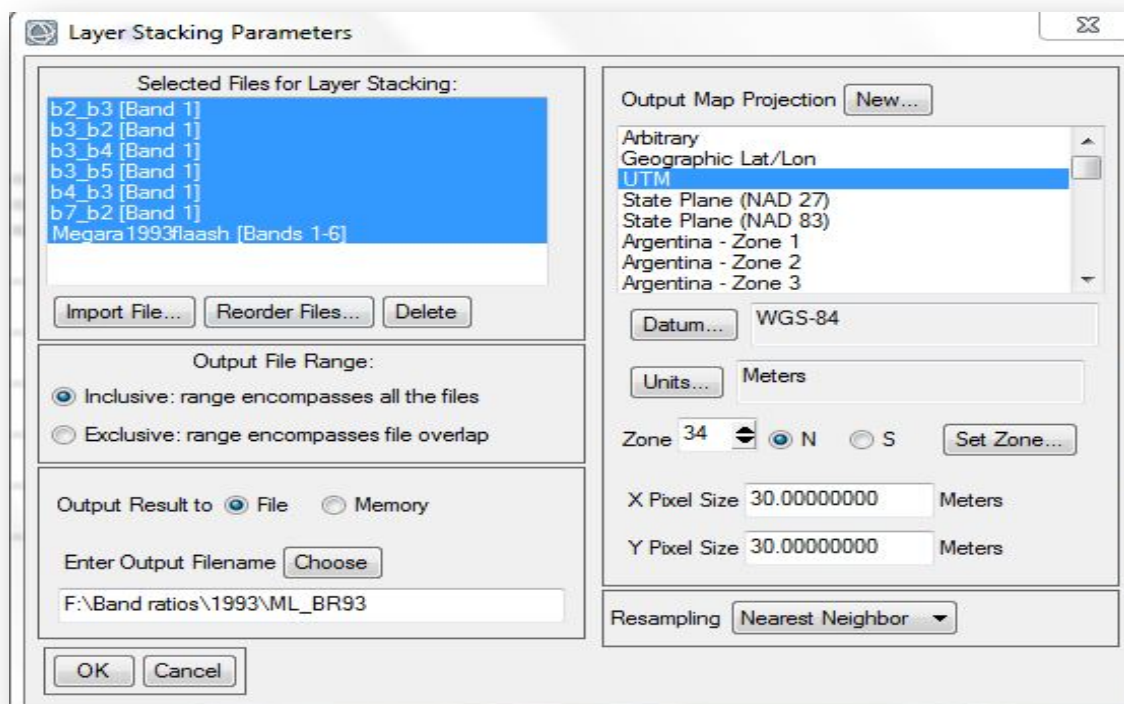


Λόγος καναλιών TM3/TM5

Οι παραπάνω λόγοι καναλιών επελέγησαν κατόπιν πολλών δοκιμών και καλύπτουν το σύνολο των διαφορετικών περιοχών εκπαίδευσης. Δοκιμές έγιναν και με την ενσωμάτωση δεικτών βλάστησης, αλλά τα καλύτερα αποτελέσματα στο διαχωρισμό των περιοχών εκπαίδευσης προέκυψαν από τους συγκεκριμένους 6 λόγους.

4.9.6. Δημιουργία τελικών ψευδέγχρωμων εικόνων.

Με τη χρήση του εργαλείου Layer Stacking και από το ENVI Toolbox → Raster Management → Layer Stacking προέκυψε η σύνθεση των τριών τελικών ψευδέγχρωμων εικόνων με ενισχυμένη διακριτικότητα των περιοχών εκπαίδευσης στις οποίες θα τρέξει η εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Οι τελικές αυτές εικόνες πέρα από τα αρχικά κανάλια 1,2,3,4,5 και 7 θα περιλαμβάνουν και τους 6 παραπάνω λόγους καναλιών. (Εικόνα 33)



Εικόνα 33. Παράθυρο παραμέτρων Layer stacking.

Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την ανωτέρω διαδικασία απεικονίζονται στη παρακάτω εικόνα 34 και ενισχύουν σημαντικά τη φασματική διακριτικότητα των ζευγών των επιλεγμένων ROIs

Pair Separation (least to most):

```
Brushlands93 and Crops93 - 1.93794736
Bare lands93 and Crops93 - 1.98349264
Bare lands93 and Urban93 - 1.98881136
Brushlands93 and Bare lands93 - 1.99695733
Brushlands93 and Urban93 - 1.99759586
Crops93 and Urban93 - 1.99770210
Pine forest93 and Fir forest93 - 1.99864310
Burnt areas93 and Pine forest93 - 1.99868055
Pine forest93 and Crops93 - 1.99905751
Pine forest93 and Brushlands93 - 1.99907662
Burnt areas93 and Brushlands93 - 1.99947198
Burnt areas93 and Urban93 - 1.99963800
Crops93 and Meadows93 - 1.99969808
Brushlands93 and Meadows93 - 1.99982968
Burnt areas93 and Crops93 - 1.99991678
Bare lands93 and Meadows93 - 1.99997611
Burnt areas93 and Bare lands93 - 1.99998420
Meadows93 and Urban93 - 1.99999972
Pine forest93 and Bare lands93 - 1.99999986
Pine forest93 and Urban93 - 1.99999998
Burnt areas93 and Fir forest93 - 2.00000000
Fir forest93 and Crops93 - 2.00000000
Burnt areas93 and Meadows93 - 2.00000000
Fir forest93 and Brushlands93 - 2.00000000
Pine forest93 and Water93 - 2.00000000
Burnt areas93 and Water93 - 2.00000000
Fir forest93 and Meadows93 - 2.00000000
Meadows93 and Water93 - 2.00000000
Pine forest93 and Meadows93 - 2.00000000
Crops93 and Water93 - 2.00000000
Fir forest93 and Urban93 - 2.00000000
Fir forest93 and Bare lands93 - 2.00000000
Brushlands93 and Water93 - 2.00000000
Fir forest93 and Water93 - 2.00000000
Urban93 and Water93 - 2.00000000
Bare lands93 and Water93 - 2.00000000
```

Pair Separation (least to most):

```
Brushlands01 and Crops01 - 1.86482641
Bare lands01 and Crops01 - 1.96869261
Bare lands01 and Urban01 - 1.97944815
Brushlands01 and Bare lands01 - 1.99380804
Pine forest01 and Fir forest01 - 1.99739761
Crops01 and Meadows01 - 1.99759132
Brushlands01 and Urban01 - 1.99803647
Burned areas01 and Brushlands01 - 1.99812394
Crops01 and Urban01 - 1.99821484
Pine forest01 and Brushlands01 - 1.99951034
Bare lands01 and Meadows01 - 1.99988069
Brushlands01 and Meadows01 - 1.99991001
Burned areas01 and Crops01 - 1.99991252
Pine forest01 and Crops01 - 1.99993627
Burned areas01 and Bare lands01 - 1.99999634
Meadows01 and Urban01 - 1.99999639
Burned areas01 and Urban01 - 1.99999852
Pine forest01 and Urban01 - 1.99999942
Pine forest01 and Bare lands01 - 1.99999968
Bare lands01 and Meadows01 - 1.99999996
Burned areas01 and Pine forest01 - 2.00000000
Fir forest01 and Brushlands01 - 2.00000000
Fir forest01 and Urban01 - 2.00000000
Crops01 and Water01 - 2.00000000
Fir forest01 and Meadows01 - 2.00000000
Fir forest01 and Crops01 - 2.00000000
Fir forest01 and Bare lands01 - 2.00000000
Burned areas01 and Fir forest01 - 2.00000000
Meadows01 and Water01 - 2.00000000
Pine forest01 and Meadows01 - 2.00000000
Brushlands01 and Water01 - 2.00000000
Fir forest01 and Water01 - 2.00000000
Bare lands01 and Water01 - 2.00000000
Pine forest01 and Water01 - 2.00000000
Urban01 and Water01 - 2.00000000
Burned areas01 and Water01 - 2.00000000
```

Pair Separation (least to most):

```
Bare lands10 and Urban10 - 1.93729751
Brushlands10 and Crops10 - 1.97664150
Bare lands10 and Crops10 - 1.97983153
Crops10 and Urban10 - 1.99149571
Pine forest10 and Fir forest10 - 1.99399908
Brushlands10 and Meadows10 - 1.99857537
Brushlands10 and Bare lands10 - 1.99857644
Pine forest10 and Crops10 - 1.99875506
Brushlands10 and Urban10 - 1.99931344
Crops10 and Meadows10 - 1.99932462
Bare lands10 and Meadows10 - 1.99955254
Pine forest10 and Brushlands10 - 1.99970117
Meadows10 and Urban10 - 1.99999529
Pine forest10 and Urban10 - 1.99999986
Pine forest10 and Bare lands10 - 1.99999998
Fir forest10 and Brushlands10 - 2.00000000
Fir forest10 and Crops10 - 2.00000000
Pine forest10 and Water10 - 2.00000000
Urban10 and Water10 - 2.00000000
Bare lands10 and Water10 - 2.00000000
Meadows10 and Water10 - 2.00000000
Pine forest10 and Meadows10 - 2.00000000
Fir forest10 and Urban10 - 2.00000000
Fir forest10 and Water10 - 2.00000000
Fir forest10 and Bare lands10 - 2.00000000
Fir forest10 and Meadows10 - 2.00000000
Crops10 and Water10 - 2.00000000
Brushlands10 and Water10 - 2.00000000
```

Εικόνα 34. Τελικές αναφορές ανάλυσης διακριτότητας για τα τρία έτη αναφοράς (ROI Separability reports).

Από τα στοιχεία της εικόνας 34 προκύπτει ότι η χαμηλότερη τιμή διακριτότητας είναι στο ζεύγος Brush lands και Crops του έτους 2001. Όλες οι υπόλοιπες τιμές διακριτότητας των ζευγών και για τις 3 εικόνες, εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες από 1.9 γεγονός που σημαίνει ότι έχουν καλή απόδοση διακριτότητας και μπορεί να ακολουθηθεί το στάδιο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

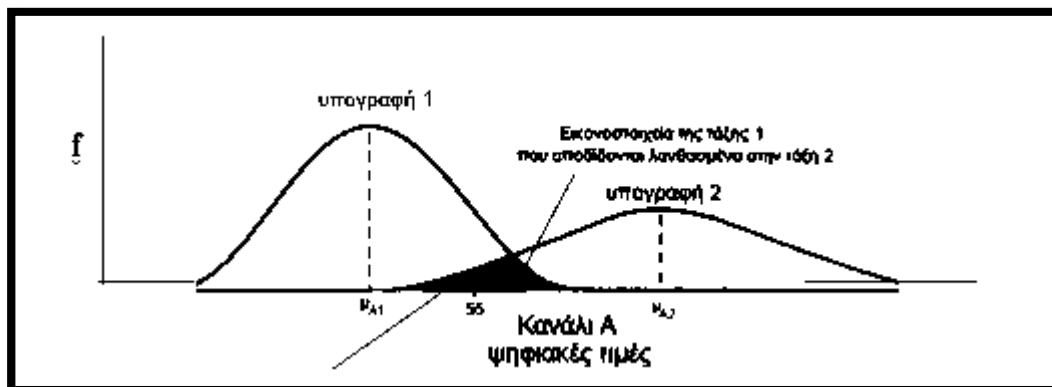
4.9.7. Επιλογή μεθόδου επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Η μέθοδος που επιλέχτηκε για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι αυτή της **Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)**, διότι αντιπροσωπεύει ακριβώς τον τρόπο εκπαίδευσης που εφαρμόστηκε στην εν λόγω μελέτη, γεγονός το οποίο συνάγεται και από τη βιβλιογραφία. (Mohd Hasmadi et al., 2009, Vorovencii I. et al., 2013, Al-Ahmadi F. S. et al., 2013).

Ο κανόνας της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood decision rule) βασίζεται στην πιθανότητα να ανήκει ένα εικονοστοιχείο σε μια συγκεκριμένη τάξη. Η εξίσωση που

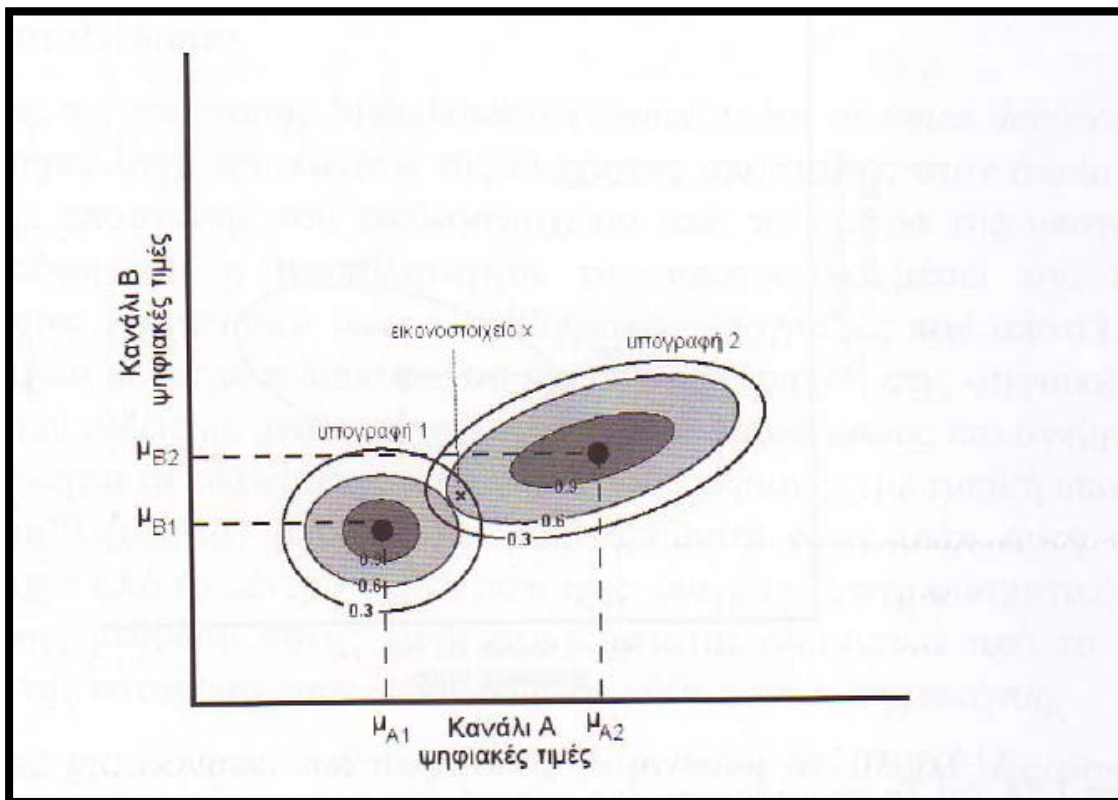
χρησιμοποιεί, θεωρεί ότι οι πιθανότητες αυτές είναι ίσες για όλες τις τάξεις και ότι τα κανάλια που χρησιμοποιούνται έχουν κανονική κατανομή.

Η μέθοδος αυτή προσπαθεί να επιλύσει το πρόβλημα της αλληλοεπικάλυψης των υπογραφών στο φασματικό χώρο (Εικόνα 35)



Εικόνα 35. Εικονοστοιχεία της τάξης 2 που ταξινομούνται λανθασμένα στην τάξη 1. (Πηγή: Καρτάλης Κ. κ.α., 2006).

Όταν δυο υπογραφές επικαλύπτονται σε μια περιοχή του φασματικού χώρου, τότε τα εικονοστοιχεία της εικόνας που θα βρεθούν στην κοινή περιοχή αλληλοεπικάλυψης μπορούν να αποδοθούν σε λάθος τάξη. Έτσι, το εικονοστοιχείο με ψηφιακή τιμή 55 στο κανάλι Α (εικόνα 35) μπορεί να ταξινομηθεί λανθασμένα στην τάξη 2, ανάλογα με τον κανόνα ταξινόμησης που εφαρμόζεται. Το πρόβλημα αυτό είναι δυνατόν να επιλυθεί με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, αποδίδοντας σε κάθε εικονοστοιχείο μια πιθανότητα να ανήκει σε μια από τις δυο τάξεις. Η πιθανότητα αυτή υπολογίζεται με βάση τα στατιστικά χαρακτηριστικά της κάθε υπογραφής (μέση τιμή και πίνακας συμμεταβλητότητας) και λαμβάνει υπόψη τη μεταβλητότητα της κάθε υπογραφής. Κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας αποδίδεται στην τάξη στην οποία η πιθανότητα να ανήκει είναι η μέγιστη δυνατή (Εικόνα 36).

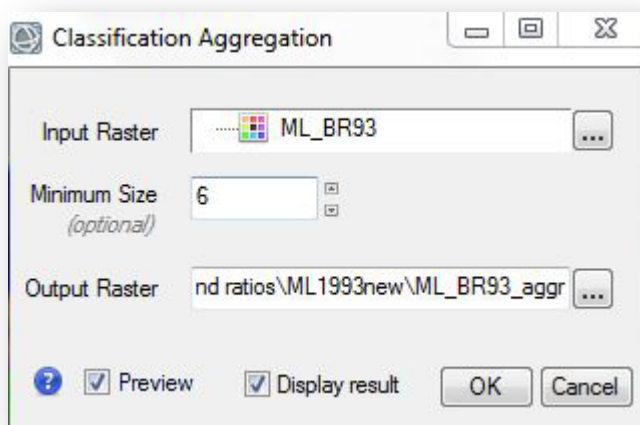


Εικόνα 36. Ο δισδιάστατος φασματικός χώρος στον οποίο έχουν χαραχθεί οι καμπύλες ίσης πιθανότητας για να ανήκει ένα εικονοστοιχείο σε μια τάξη. Σύμφωνα με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, το εικονοστοιχείο χ θα αποδοθεί στην τάξη 2 καθώς η πιθανότητα ($p = 0.7$) να ανήκει σε αυτή είναι μεγαλύτερη από την πιθανότητα ($p = 0.4$) να ανήκει στην τάξη 1. (Πηγή: Καρτάλης Κ. κ.α. 2006.)

Ο κανόνας της μέγιστης πιθανοφάνειας αποτελεί την πιο ακριβή μέθοδο ταξινόμησης, με την προϋπόθεση ότι οι υπογραφές που χρησιμοποιούνται έχουν οριστεί σωστά, είναι αντιπροσωπευτικές των αντίστοιχων τάξεων και έχουν κανονική κατανομή, καθώς λαμβάνει υπόψη πολλές στατιστικές παραμέτρους και ιδιαίτερα την ομοιογένεια των υπογραφών. (Καρτάλης Κ. κ.α. 2006).

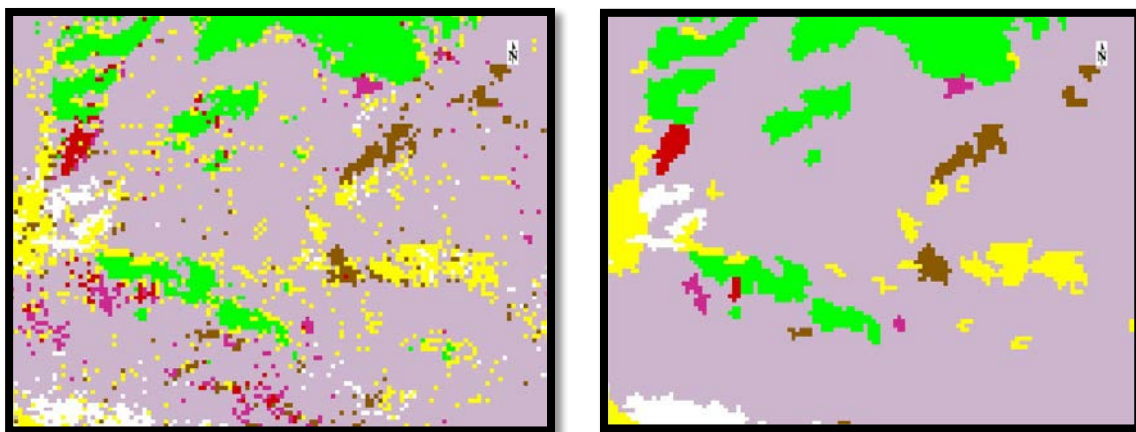
4.9.8. Μετεπεξεργασία ταξινομημένων εικόνων.

Στις παραγόμενες ταξινομημένες εικόνες θα πρέπει να εφαρμοσθεί μια μέθοδος εκκαθάρισης των απομονωμένων εικονοστοιχείων και συσσωμάτωσης των μικρών, σε έκταση και αριθμό εικονοστοιχείων, περιοχών σε ευρύτερες γειτονικές περιοχές (Classification Aggregation). Η συσσωμάτωση είναι μια χρήσιμη διαδικασία εκκαθάρισης (cleanup) μετά την ταξινόμηση όταν το παραγόμενο προϊόν της ταξινόμησης περιλαμβάνει πολλές μικρές περιοχές. Το εργαλείο αυτό υπάρχει στην έκδοση 5.2 του λογισμικού ENVI και εκτελείται από το Toolbox → Post Classification → Classification Aggregation. Στο παράθυρο διαλόγου (εικόνα 37) επιλέγεται η εικόνα η οποία θα υποστεί την επεξεργασία, τον ελάχιστο αριθμό των εικονοστοιχείων κάτω από τον οποίο οι υποπεριοχές θα συσσωματώνονται στις γειτονικές ευρύτερες περιοχές και το όνομα του νέου αρχείου που θα προκύψει.



Εικόνα 37. Παράθυρο διαλόγου Classification Aggregation.

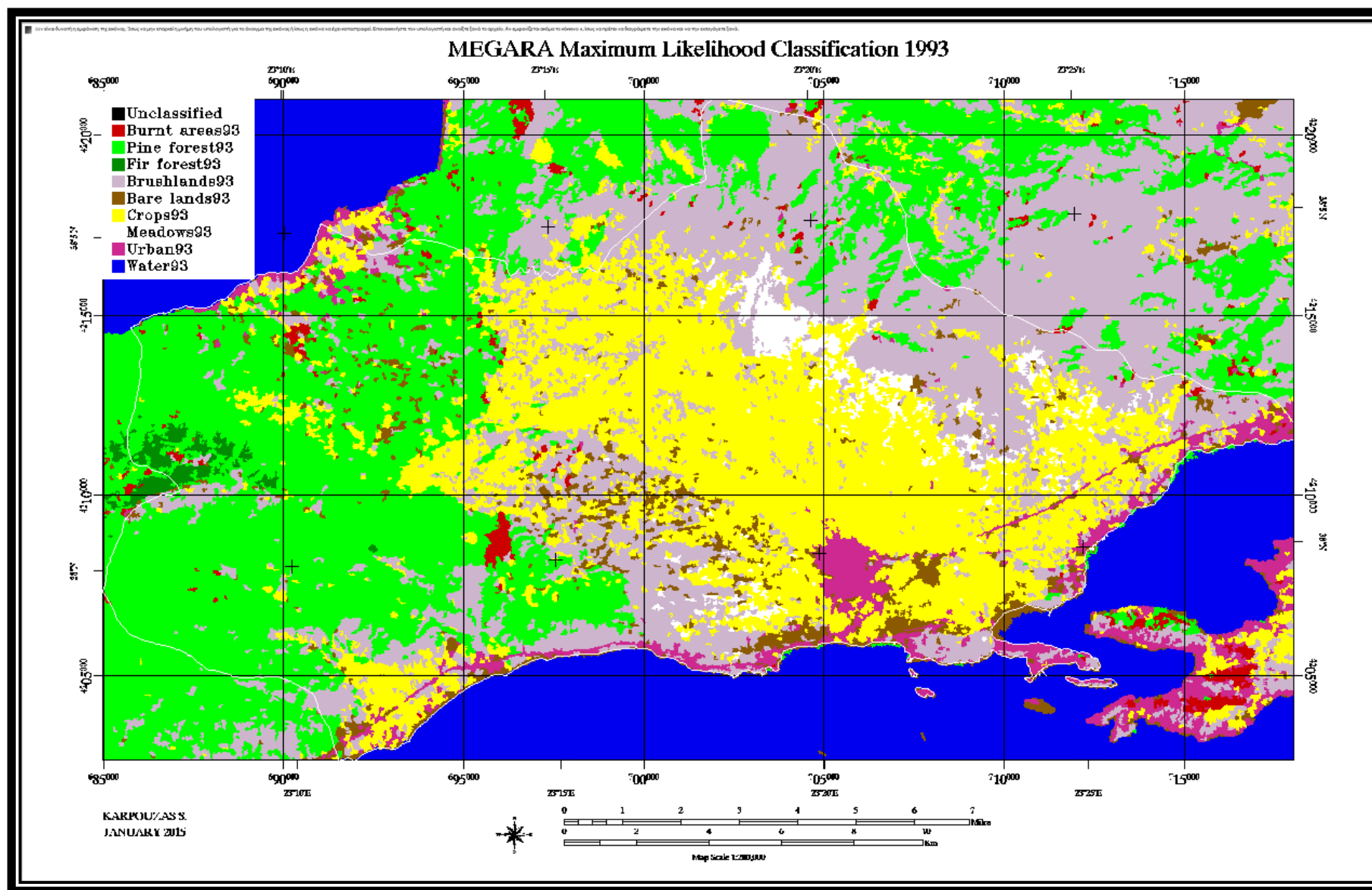
Στη παρακάτω εικόνα 38 παρατηρείται εύκολα το αποτέλεσμα της επεξεργασίας με το εργαλείο Classification Aggregation σε τμήμα της ταξινομημένης εικόνας του 1993 της περιοχής μελέτης.



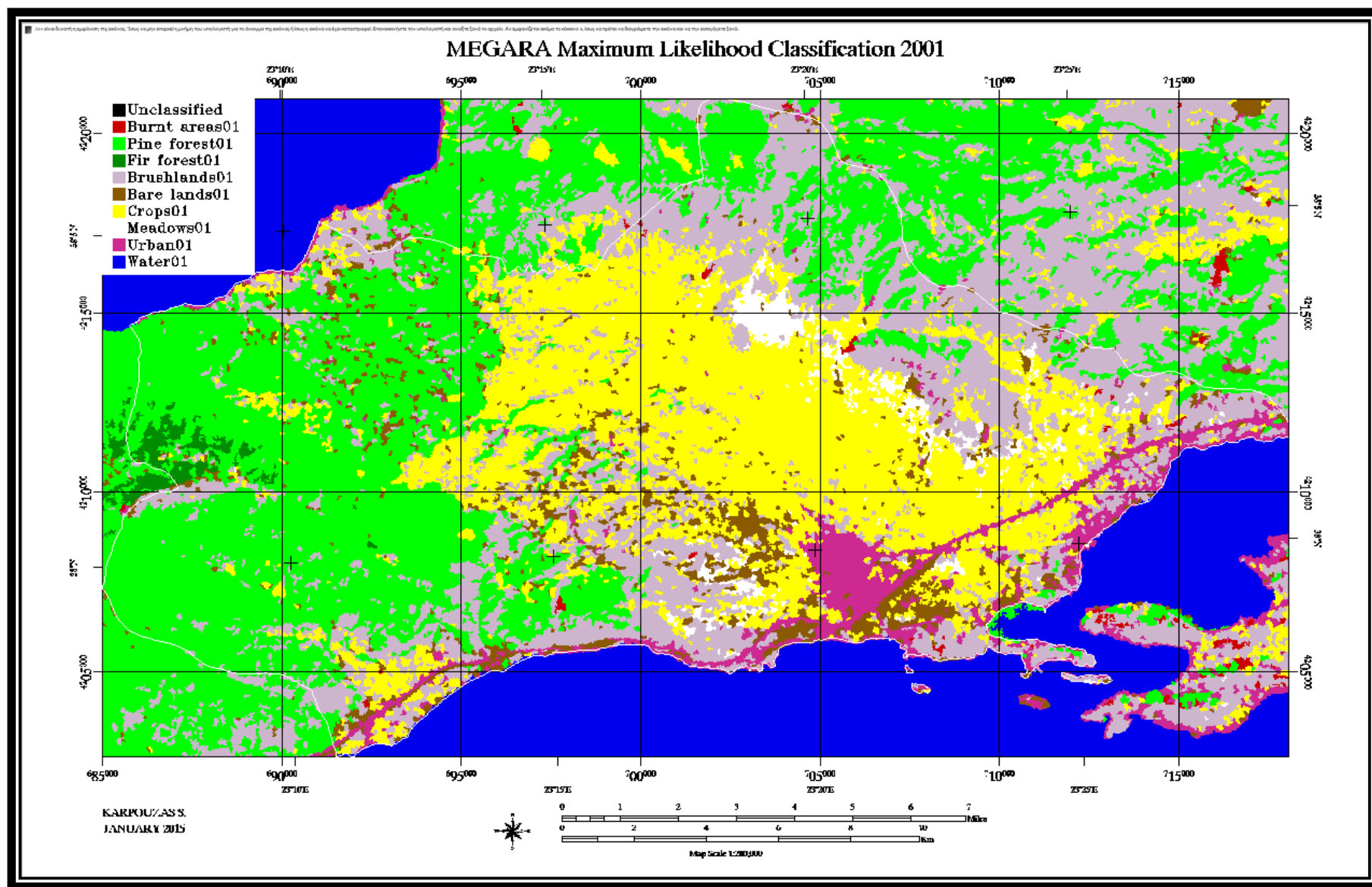
Εικόνα 38. Η αρχική εικόνα αριστερά. Η επεξεργασμένη με Classification Aggregation εικόνα δεξιά.

4.9.9. Δημιουργία θεματικών χαρτών ταξινόμησης.

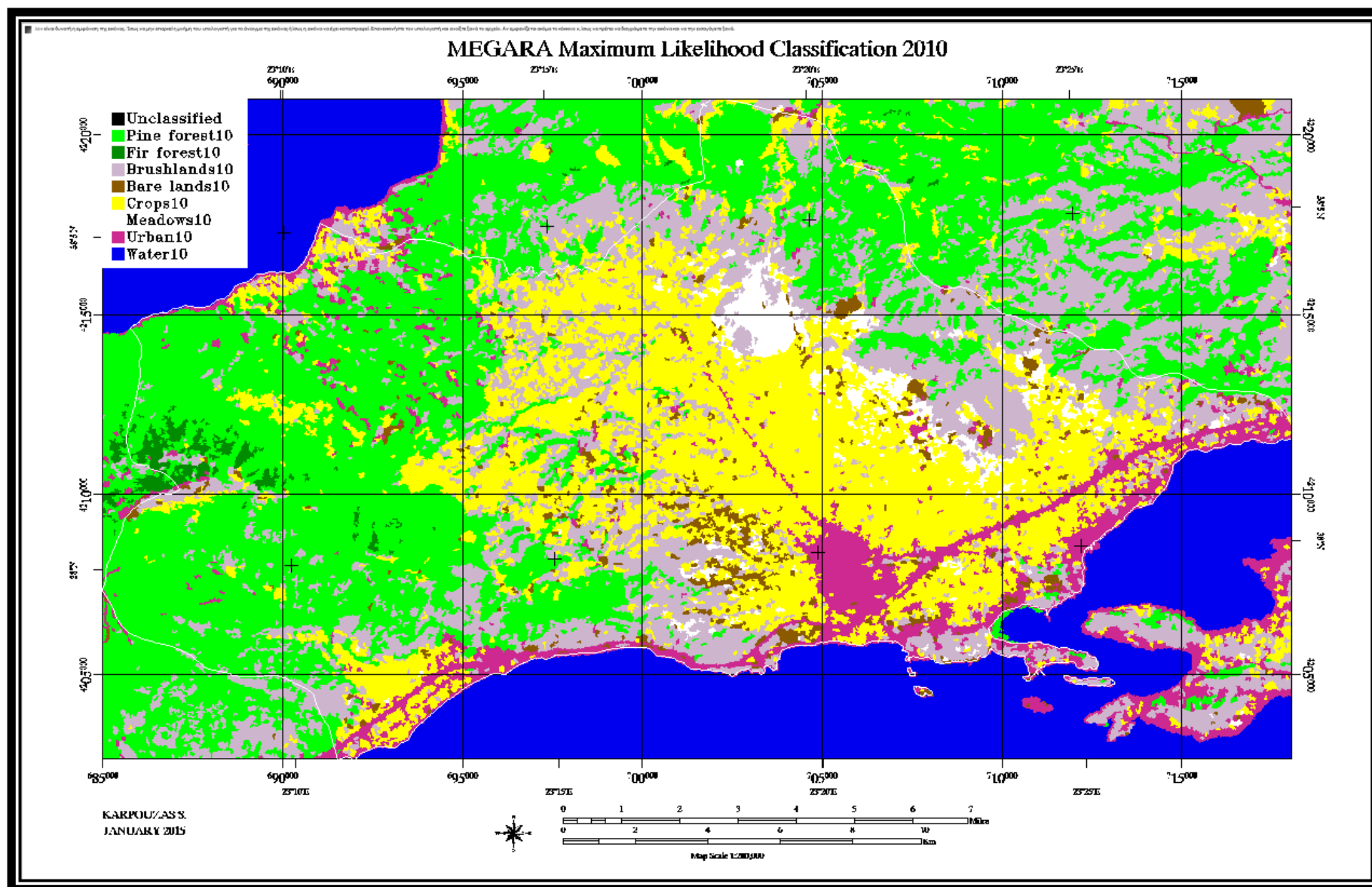
Μετά το τέλος της μετεπεξεργασίας των ταξινομημένων εικόνων, δημιουργήθηκαν οι τρεις χάρτες ταξινόμησης για τις 3 χρονικές στιγμές της περιοχής μελέτης.



Χάρτης 13. Χάρτης επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας Μεγάρων 1993. (Λογισμικό ENVI 5.2).



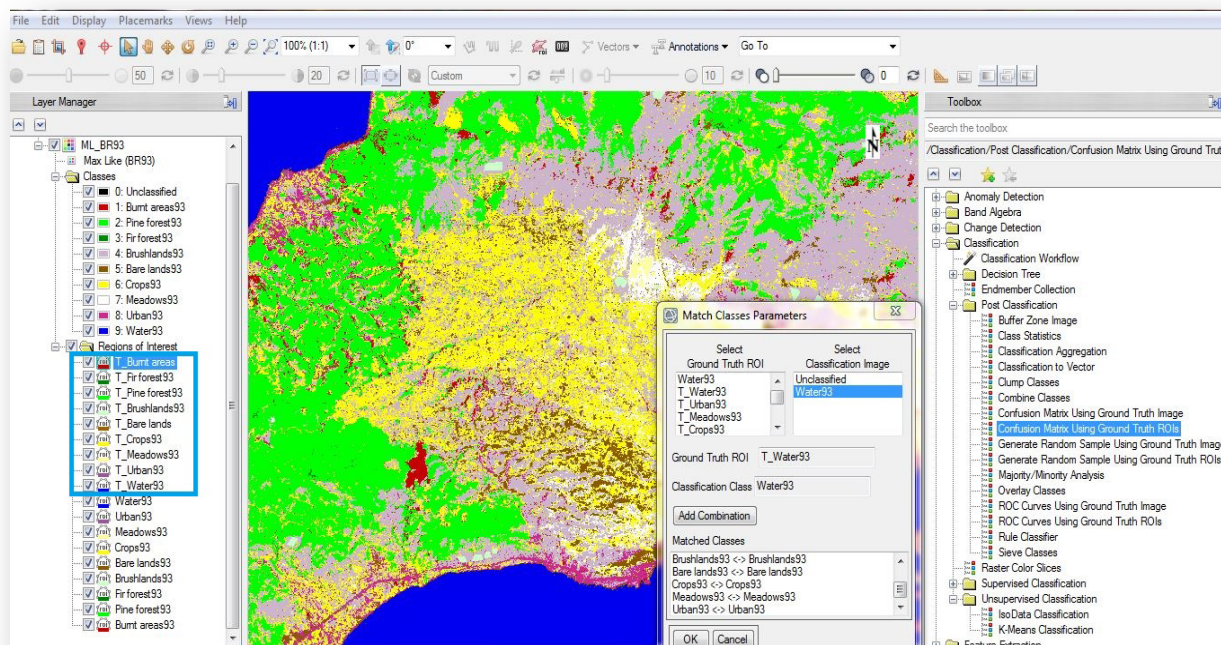
Χάρτης 14. Χάρτης επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας Μεγάρων 2001. (Λογισμικό ENVI 5.2).



Χάρτης 15. Χάρτης επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας Μεγάρων 2010. (Λογισμικό ENVI 5.2).

4.9.10. Εκτίμηση ακρίβειας της ταξινόμησης.

Το λογισμικό ENVI μέσα από την εργαλειοθήκη του δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της ακρίβειας της ταξινόμησης με την αλληλουχία εντολών Classification → Post Classification → Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs. (εικόνα 39)



Εικόνα 39. Δημιουργία πίνακα σφάλματος (Confusion Matrix) με τη χρήση δειγμάτων ελέγχου.

Κατά τη διαδικασία αυτή δημιουργούνται ζεύγη των δειγμάτων ελέγχου με τις ταξινομημένες κλάσεις και το πρόγραμμα αυτοματοποιημένα εξάγει μια έκθεση όπου αναφέρονται η συνολική ακρίβεια, ο στατιστικός συντελεστής (K), ο πίνακας σφάλματος (Confusion matrix), τα σφάλματα παράλειψης (omission errors), τα σφάλματα επιφόρτισης (Commission errors), η ακρίβεια του αναλυτή (producer accuracy) και η ακρίβεια του χρήστη (user accuracy).

Σχετικά με τα εξαγόμενα αποτελέσματα, η Ολική ακρίβεια της ταξινόμησης υπολογίζεται διαιρώντας το άθροισμα των διαγώνιων στοιχείων του πίνακα σφάλματος, με το συνολικό πλήθος των εικονοστοιχείων του δείγματος και για τις εικόνες του 1993, 2001 και 2010 εμφάνισε τιμές αντίστοιχα 89,8526%, 91,0093% και 90,2439% σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες 22,23 & 24.

Confusion Matrix: F:\ML Classification final\1993\ML93										
Overall Accuracy = (1052/1153) 91.2402%										
Kappa Coefficient = 0.8974										
Ground Truth (Pixels)										
Class	T_Water93	T_Urban93	T_Meadows93	T_Crops93	T_Barelands93	T_Brushlands93	T_Pine forest93	T_Fir forest93	T_Burnt areas 93	Total
Water93	216	0	0	0	0	0	0	0	0	216
Urban93	0	171	0	0	1	1	0	0	0	173
Meadows93	0	0	48	3	0	0	0	0	0	51
Crops93	0	11	0	114	22	7	0	0	0	154
Bare lands93	0	4	0	6	37	4	0	0	1	52
Brushlands93	0	3	0	26	0	123	0	0	0	152
Pine forest93	0	0	0	0	0	6	235	3	0	244
Fir forest93	0	0	0	0	0	0	0	77	0	77
Burnt areas93	0	0	0	0	0	0	3	0	31	34
Total	216	189	48	149	60	141	238	80	32	1153
Ground Truth (Percent)										
Class	T_Water93	T_Urban93	T_Meadows93	T_Crops93	T_Barelands93	T_Brushlands93	T_Pine forest93	T_Fir forest93	T_Burnt areas 93	Total
Water93	100	0	0	0	0	0	0	0	0	18.73
Urban93	0	90.48	0	0	1.67	0.71	0	0	0	15
Meadows93	0	0	100	2.01	0	0	0	0	0	4.42
Crops93	0	5.82	0	76.51	36.67	4.96	0	0	0	13.36
Bare lands93	0	2.12	0	4.03	61.67	2.84	0	0	3.13	4.51
Brushlands93	0	1.59	0	17.45	0	87.23	0	0	0	13.18
Pine forest93	0	0	0	0	0	4.26	98.74	3.75	0	21.16
Fir forest93	0	0	0	0	0	0	0	96.25	0	6.68
Burnt areas93	0	0	0	0	0	0	1.26	0	96.88	2.95
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)						
Water93	0	0	0/216	0/216	Class	Producer Accuracy (Percent)	User Accuracy (Percent)	Producer Accuracy (Pixels)	User Accuracy (Pixels)	
Urban93	1.16	9.52	2/173	18/189	Water93	100	100	216/216	216/216	
Meadows93	5.88	0	3/51	0/48	Urban93	90.48	98.84	171/189	171/174	
Crops93	25.97	23.49	40/154	35/149	Meadows93	100	94.12	48/48	48/51	
Bare lands93	28.85	38.33	15/52	23/60	Crops93	76.51	74.03	114/149	114/154	
Brushlands93	19.08	12.77	29/152	18/141	Bare lands93	61.67	71.15	37/60	37/52	
Pine forest93	33.69	1.26	9/244	3/238	Brushlands93	87.23	80.92	123/141	123/152	
Fir forest93	0	3.75	0/77	3/80	Pine forest93	98.74	96.31	235/238	235/244	
Burnt areas93	8.82	3.13	3/34	1/32	Fir forest93	96.25	100	77/80	77/77	
					Burnt areas93	96.88	91.18	31/32	31/34	

Πίνακας 22. Αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας έτους 1993.

Confusion Matrix: F:\ML Classification final\2001\ML01

Overall Accuracy = (1107/1179) 93.8931%

Kappa Coefficient =0.9293

Ground Truth (Pixels)										
Class	T_Water01	T_Urban01	T_Meadows01	T_Crops01	T_Burnt areas01	T_Pine forest01	T_Fir forest01	T_Bare lands01	T_Brushlands01	Total
Water01	216	0	0	0	0	0	0	0	0	216
Urban01	0	137	0	0	0	0	0	3	0	140
Meadows01	0	0	82	4	0	0	0	0	0	86
Crops01	0	0	6	120	0	0	0	1	16	143
Burnt areas01	0	0	0	0	36	0	0	0	0	36
Pine forest01	0	0	0	1	0	173	1	0	0	175
Fir forest01	0	0	0	0	0	0	80	0	0	80
Bare lands01	0	2	0	13	1	0	0	57	5	78
Brushlands01	0	0	0	18	1	0	0	0	206	225
Total	216	139	88	156	38	173	81	61	227	1179

Ground Truth (Percent)										
Class	T_Water01	T_Urban01	T_Meadows01	T_Crops01	T_Burnt areas01	T_Pine forest01	T_Fir forest01	T_Bare lands01	T_Brushlands01	Total
Water01	100	0	0	0	0	0	0	0	0	18.32
Urban01	0	98.56	0	0	0	0	0	4.92	0	11.87
Meadows01	0	0	93.18	2.56	0	0	0	0	0	7.29
Crops01	0	0	6.82	76.92	0	0	0	1.64	7.05	12.13
Burnt areas01	0	0	0	0	94.74	0	0	0	0	3.05
Pine forest01	0	0	0	0.64	0	100	1.23	0	0	14.84
Fir forest01	0	0	0	0	0	0	98.77	0	0	6.79
Bare lands01	0	1.44	0	8.33	2.63	0	0	93.44	2.2	6.62
Brushlands01	0	0	0	11.54	2.63	0	0	0	90.75	19.08
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Water01	0	0	0/216	0/216
Urban01	2.14	1.44	3/140	2/139
Meadows01	4.65	6.82	4/86	6/88
Crops01	16.08	23.08	23/143	36/156
Burnt areas01	0	5.26	0/36	2/38
Pine forest01	1.14	0	2/175	0/173
Fir forest01	0	1.23	0/80	1/81
Bare lands01	26.92	6.56	21/78	4/61
Brushlands01	8.44	9.25	19/225	21/227

Class	Producer Accuracy (Percent)	User Accuracy (Percent)	Producer Accuracy (Pixels)	User Accuracy (Pixels)
Water01	100	100	216/216	216/216
Urban01	98.56	97.86	137/139	137/140
Meadows01	93.18	95.35	82/88	82/86
Crops01	76.92	83.92	120/156	120/143
Burnt areas01	94.74	100	36/38	36/36
Pine forest01	100	98.86	173/173	173/175
Fir forest01	98.77	100	80/81	80/80
Bare lands01	93.44	73.08	57/61	57/78
Brushlands01	90.75	91.56	206/227	206/225

Πίνακας 23. Αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας έτους 2001.

Confusion Matrix: F:\ML Classification final\2010\ML2010

Overall Accuracy = (991/1066) 92.9644%

Kappa Coefficient =0.9164

Ground Truth (Pixels)									
Class	T_Water10	T_Urban10	T_Meadows10	T_Crops10	T_Barelands10	T_Brushlands10	T_Fir forest10	T_Pine forest10	Total
Water10	216	0	0	0	0	0	0	0	216
Urban10	0	215	0	1	1	1	0	0	218
Meadows10	0	0	65	0	0	0	0	0	65
Crops10	0	12	7	84	2	25	0	0	130
Bare lands10	0	2	0	2	59	2	0	0	65
Brushlands10	0	3	2	2	0	110	0	1	118
Fir forest10	0	0	0	0	0	0	39	8	47
Pine forest10	0	0	0	0	0	4	0	203	207
Total	216	232	74	89	62	142	39	212	1066

Ground Truth (Percent)									
Class	T_Water10	T_Urban10	T_Meadows10	T_Crops10	T_Barelands10	T_Brushlands10	T_Fir forest10	T_Pine forest10	Total
Water10	100	0	0	0	0	0	0	0	20.26
Urban10	0	92.67	0	1.12	1.61	0.7	0	0	20.45
Meadows10	0	0	87.84	0	0	0	0	0	6.1
Crops10	0	5.17	9.46	94.38	3.23	17.61	0	0	12.2
Bare lands10	0	0.86	0	2.25	95.16	1.41	0	0	6.1
Brushlands10	0	1.29	2.7	2.25	0	77.46	0	0.47	11.07
Fir forest10	0	0	0	0	0	0	100	3.77	4.41
Pine forest10	0	0	0	0	0	2.82	0	95.75	19.42
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Water10	0	0	0/216	0/216
Urban10	1.38	7.33	3/218	17/232
Meadows10	0	12.16	0/65	9/74
Crops10	35.38	5.62	46/130	Maï-89
Bare lands10	9.23	4.84	louv-65	3/62
Brushlands10	6.78	22.54	8/118	32/142
Fir forest10	17.02	0	8/47	0/39
Pine forest10	1.93	4.25	4/207	9/212

Class	Producer Accuracy (Percent)	User Accuracy (Percent)	Producer Accuracy (Pixels)	User Accuracy (Pixels)
Water10	100	100	216/216	216/216
Urban10	92.67	98.62	215/232	215/218
Meadows10	87.84	100	65/74	65/65
Crops10	94.38	64.62	84/89	84/130
Bare lands10	95.16	90.77	59/62	59/65
Brushlands10	77.46	93.22	110/142	1110/118
Fir forest10	100	82.98	39/39	39/47
Pine forest10	95.75	98.07	203/212	203/207

Πίνακας 24. Αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας έτους 2010.

Ο στατιστικός συντελεστής (K) εμφάνισε αντίστοιχα τιμές 0,8813, 0,8959 και 0,8842 οι οποίες προσεγγίζουν τη μονάδα, γεγονός που υποδηλώνει άριστη συμφωνία μεταξύ ταξινόμησης και δεδομένων αναφοράς (Καρτάλης Κ., κ.α. 2006). Οι διαφορές του συντελεστή K και της ολικής ακρίβειας οφείλονται στο γεγονός ότι χειρίζονται με διαφορετικό τρόπο τα εξαγόμενα του πίνακα σφάλματος. Η μεν ολική ακρίβεια περιλαμβάνει για το υπολογισμό της μόνο τα διαγώνια στοιχεία του πίνακα, ενώ ο συντελεστής K συνυπολογίζει εκτός από τα διαγώνια και τα μη διαγώνια στοιχεία του πίνακα, δηλαδή τα σφάλματα παράλειψης (Omission) και επιφόρτισης (Commission).

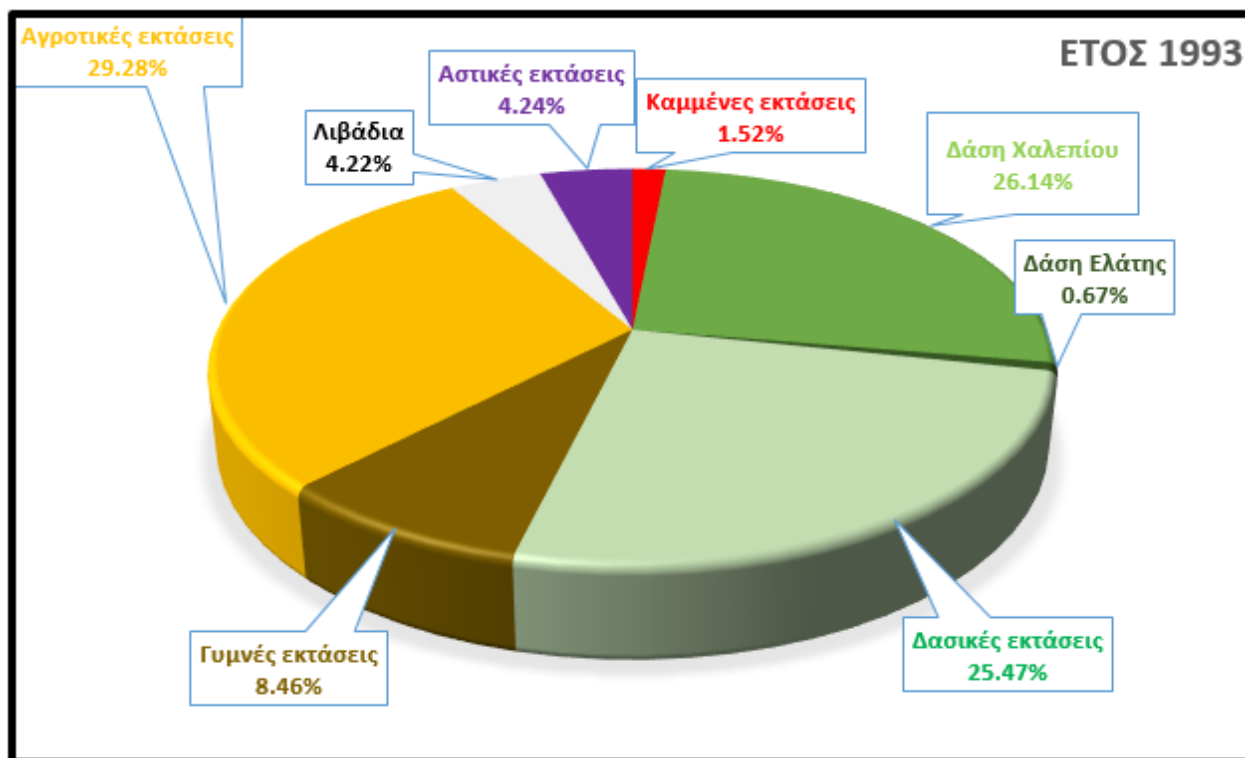
4.9.11. Αποτελέσματα ταξινόμησης.

Τα αποτελέσματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τον ταξινομητή της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood) παρουσιάζονται παρακάτω ανά έτος:

Αποτελέσματα ταξινόμησης 1993.

ΚΛΑΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)
Καμένες εκτάσεις	5574	1.52%	5016.6
Δάση Χαλεπίου	95963	26.14%	86366.7
Δάση Ελάτης	2444	0.67%	2199.6
Δασικές εκτάσεις	93478	25.47%	84130.2
Γυμνές εκτάσεις	31058	8.46%	27952.2
Αγροτικές εκτάσεις	107461	29.28%	96714.9
Λιβάδια	15502	4.22%	13951.8
Αστικές εκτάσεις	15573	4.24%	14015.7
ΣΥΝΟΛΟ	367053	100.00%	330347.7

Πίνακας 25. Ποσοστιαία κατανομή κάλυψης γης περιοχής μελέτης σύμφωνα με την ταξινόμηση Maximum Likelihood έτους 1993.

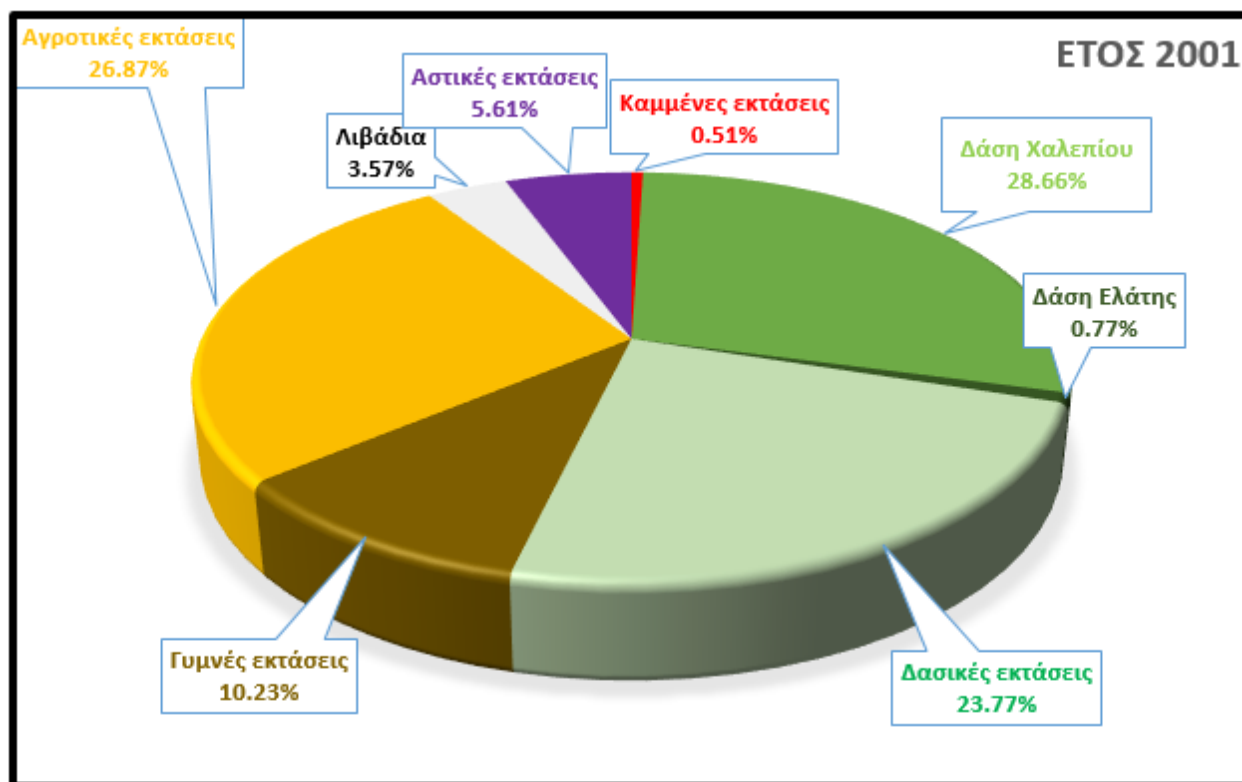


Διάγραμμα 14. Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων γης του Δήμου Μεγαρέων για το έτος 1993, μετά την εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)

Αποτελέσματα ταξινόμησης 2001.

ΚΛΑΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)
Καμμένες εκτάσεις	1862	0.51%	1675.8
Δάση Χαλεπίου	105191	28.66%	94671.9
Δάση Ελάτης	2843	0.77%	2558.7
Δασικές εκτάσεις	87252	23.77%	78526.8
Γυμνές εκτάσεις	37536	10.23%	33782.4
Αγροτικές εκτάσεις	98615	26.87%	88753.5
Λιβάδια	13118	3.57%	11806.2
Αστικές εκτάσεις	20592	5.61%	18532.8
ΣΥΝΟΛΟ	367009	100.00%	330308.1

Πίνακας 26. Ποσοστιαία κατανομή κάλυψης γης περιοχής μελέτης σύμφωνα με την ταξινόμηση Maximum Likelihood έτους 2001.

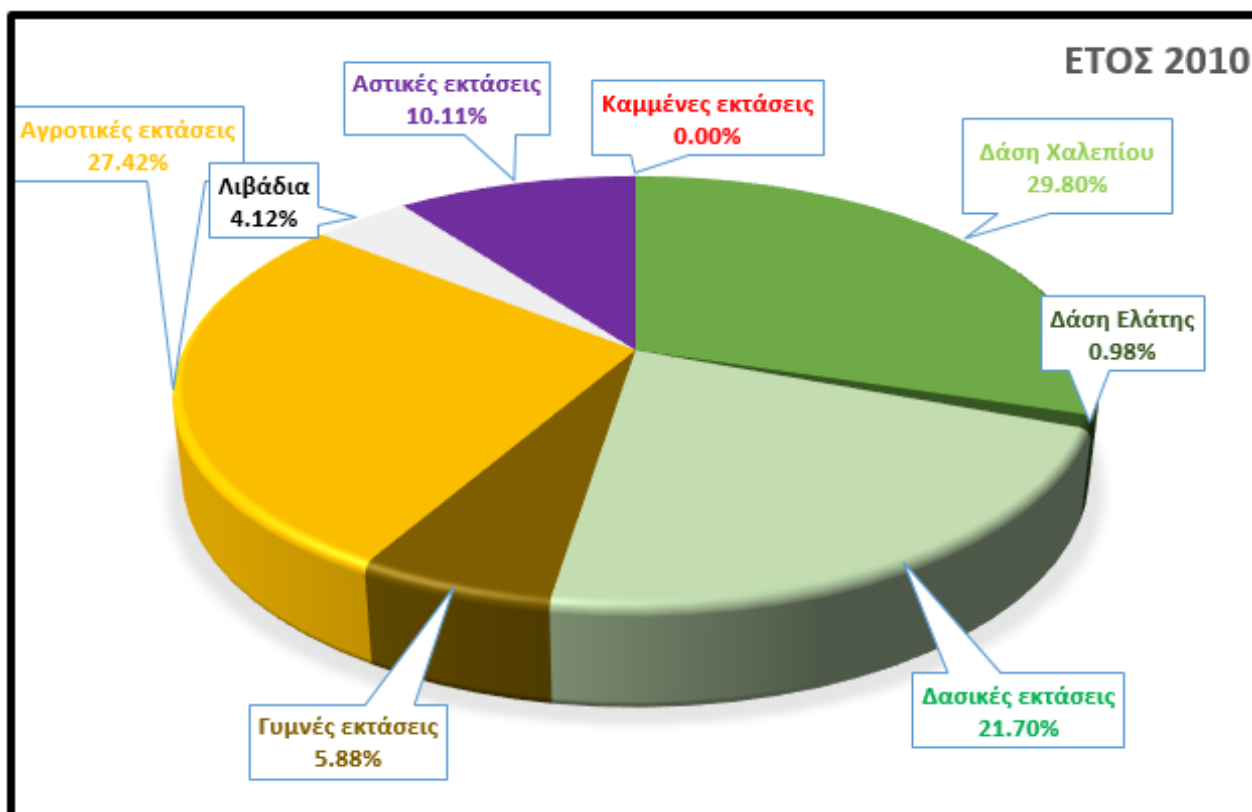


Διάγραμμα 15. Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων γης του Δήμου Μεγαρέων για το έτος 2001, μετά την εφαρμογή της επιβεβλημένης ταξινόμησης με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood).

Αποτελέσματα ταξινόμησης 2010.

ΚΛΑΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)
Καμένες εκτάσεις	0	0.00%	0
Δάση Χαλεπίου	109394	29.80%	98454.6
Δάση Ελάτης	3594	0.98%	3234.6
Δασικές εκτάσεις	79637	21.70%	71673.3
Γυμνές εκτάσεις	21573	5.88%	19415.7
Αγροτικές εκτάσεις	100636	27.42%	90572.4
Λιβάδια	15123	4.12%	13610.7
Αστικές εκτάσεις	37114	10.11%	33402.6
ΣΥΝΟΛΟ	367071	100.00%	330363.9

Πίνακας 27. Ποσοστιαία κατανομή κάλυψης γης περιοχής μελέτης σύμφωνα με την ταξινόμηση Maximum Likelihood έτους 2010.

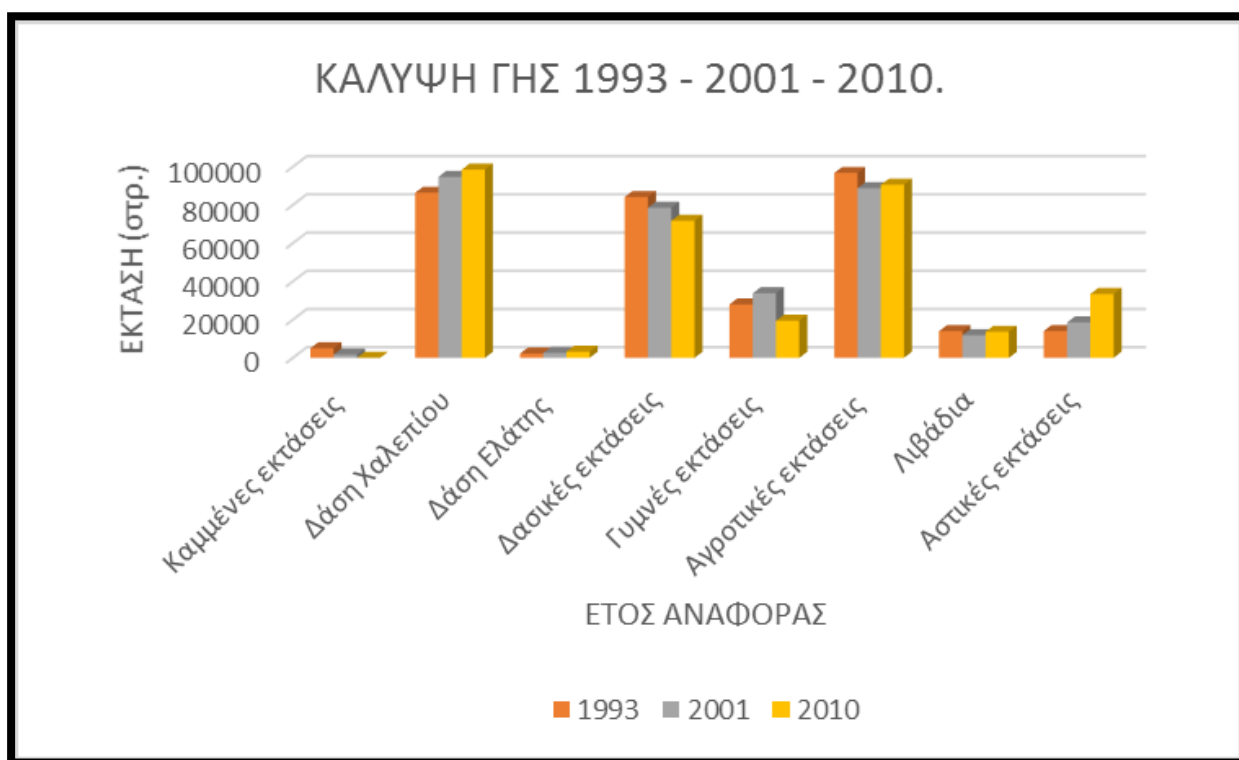


Διάγραμμα 16. Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων γης του Δήμου Μεγαρέων για το έτος 2010, μετά την εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood).

Η συνολική εικόνα στα τρία έτη αναφοράς απεικονίζεται στο πίνακα 28 και στο διάγραμμα 16 που εμφανίζονται παρακάτω:

Κάλυψη γης	1993		2001		2010	
	Κάλυψη %	Έκταση (στρ.)	Κάλυψη %	Έκταση (στρ.)	Κάλυψη %	Έκταση (στρ.)
Καμένες εκτάσεις	1.52%	5016.6	0.51%	1675.8	0.00%	0
Δάση Χαλεπίου	26.14%	86366.7	28.66%	94671.9	29.80%	98454.6
Δάση Ελάτης	0.67%	2199.6	0.77%	2558.7	0.98%	3234.6
Δασικές εκτάσεις	25.47%	84130.2	23.77%	78526.8	21.70%	71673.3
Γυμνές εκτάσεις	8.46%	27952.2	10.23%	33782.4	5.88%	19415.7
Αγρ. εκτάσεις	29.28%	96714.9	26.87%	88753.5	27.42%	90572.4
Λιβάδια	4.22%	13951.8	3.57%	11806.2	4.12%	13610.7
Αστικές εκτάσεις	4.24%	14015.7	5.61%	18532.8	10.11%	33402.6

Πίνακας 28. Ποσοστιαία κατανομή τύπων κάλυψης γης και εδαφικής έκτασης ανά χρονικό σημείο αναφοράς μελέτης.



Διάγραμμα 17. Κάλυψη γης Δήμου Μεγάρων ανά χρονικό σημείο αναφοράς μελέτης.

Από τα στοιχεία που προκύπτουν, εξάγεται το συμπέρασμα ότι ενώ το 1993, κυρίαρχουσα κλάση είναι οι αγροτικές καλλιέργειες με ποσοστό 29,28%, το 2001 και το 2010 τα δάση Χαλεπίου πεύκης αποτελούν τη κυρίαρχη κλάση με ποσοστά 28,66 και 29,80 % αντίστοιχα.

Σχετικά με τις εκτάσεις οι οποίες διαχειρίζονται από τη δασική νομοθεσία, το 1993 τα άθροισμα των δασών και δασικών εκτάσεων αντιπροσωπεύει το 52,28%, το 2001 το 53,2% και το 2010 φθάνει στο 52,48%. Παρατηρείται δηλαδή διαχρονικά μια σταθερότητα στην έκταση που καλύπτουν τα δασικά οικοσυστήματα, σε μια περιοχή η οποία βρίσκεται κοντά σχετικά στο λεκανοπέδιο της Αττικής. Θα πρέπει όμως να υπενθυμίσουμε ότι πρόκειται για εκτάσεις στις οποίες για το χρονικό διάστημα αναφοράς (1993 – 2010) δεν υπήρξαν σημαντικά γεγονότα πυρκαγιών και φυσικών καταστροφών γενικότερα.

Μια σημαντική από δασοπονικής πλευράς οικολογική μονάδα, το δασικό σύμπλεγμα της Ελατιάς που αποτελείται από τη Κεφαλληνιακή Ελάτη σε μίξη με τη Μαύρη και τη Χαλέπιο πεύκη, σε ότι αφορά το τμήμα της που εμπίπτει εντός των ορίων της περιοχής μελέτης, εμφανίζει σταδιακή αύξηση διαχρονικά και ενώ το 1993 καταλαμβάνει 2199.6 στρέμματα (0,67%), το 2001 καλύπτει πλέον 2558.7 στρέμματα (0,77%), τελικά το 2010 ανέρχεται στα 3234.6 στρέμματα (0,98%). Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό και οφείλεται στην έλλειψη καλού οδικού δικτύου (χαμηλή προσβασιμότητα και χαμηλή επίδραση ανθρώπινης δραστηριότητας). Επίσης η κυριότερη ανθρωπογενής δραστηριότητα στο εν λόγω δάσος που είναι η θερινή αιγοβοσκή, τα τελευταία χρόνια σύμφωνα και με έλεγχο των στοιχείων του Δασαρχείου Μεγάρων έχει περιορισθεί, με αποτέλεσμα τα

νεαρά βλαστάρια της φυσικής αναγέννησης να μην καταστρέφονται από την αλόγιστη βόσκηση και να αυξάνουν ανεμπόδιστα, κερδίζοντας έτσι σε έκταση η εν λόγω οικολογική μονάδα. Τέλος παρατηρείται καλύτερη και μεγαλύτερη ανάπτυξη της δασικής βλάστησης στην παρατηρούμενη περιοχή στις κοίτες των ρεμάτων, στις βόρειες εκθέσεις και στις περιοχές με μικρότερες κλίσεις.

Οι αγροτικές καλλιέργειες παρουσιάζουν μια ελαφριά κάμψη το πρώτο διάστημα (1993-2001) από 29.28% καλύπτοντας μια επιφάνεια 96714.9 στρεμμάτων το 1993 σε ποσοστό 26.87% και έκταση 88753.5 στρέμματα τελικά το 2010 εμφανίζονται να καταλαμβάνουν το 27.42% ήτοι έκταση 90572.4 στρεμμάτων. Το γεγονός αυτό δείχνει για το διάστημα αυτό την έλλειψη κινήτρων για να ασχοληθούν νέοι με το συγκεκριμένο κομμάτι πρωτογενούς παραγωγής.

Οι αστικές εκτάσεις ενώ το 1993 καλύπτουν συνολικά 14015.7 στρέμματα (4.24%) και το 2001 αντίστοιχα 18532.8 στρέμματα (5.61%), το 2010 εμφανίζουν μια αλματώδη αύξηση, περίπου 90%, καλύπτοντας 33402.6 στρέμματα (10.11%), κάτι το οποίο πιθανότατα οφείλεται στον άξονα του προαστιακού Αθηνών – Κορίνθου, ο οποίος παραδόθηκε στη κυκλοφορία το 2004, αλλά και την επέκταση των παραθεριστικών οικισμών 'κατά μήκος του βόρειου και του νότιου τμήματος της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης.

4.10. Ανίχνευση Αλλαγών (Change Detection).

Στο στάδιο της ανίχνευσης αλλαγών, λόγω της ύπαρξης 3 χρονικών σημείων του 1993, 2001 και 2010, θα δημιουργηθούν 3 ζεύγη παρακολούθησης αλλαγών: δύο βραχυπρόθεσμων του 1993 - 2001, 2001 - 2010 και ενός ζεύγους μακροπρόθεσμων αλλαγών του χρονικού διαστήματος 1993 - 2010.

Η ανίχνευση αλλαγών αποδίδεται με τη βοήθεια των εργαλείων του λογισμικού ENVI 5.2 Change detection statistics, αλλά και με την αυτοματοποιημένη διαδικασία Thematic Change Workflow. Τα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν με τα 2 προαναφερόμενα εργαλεία παρατίθενται παρακάτω ανά χρονικό ζεύγος εικόνων.

4.10.1 Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2001.

Pixel Counts	Burnt areas93	Pine forest93	Fir forest93	Brushlands93	Bare lands93	Crops93	Meadows93	Urban93	Row Total	Class Total
Unclassified	19	171	12	177	42	27	0	40	488	306042
Burnt areas01	0	93	0	398	26	40	0	53	610	610
Pine forest01	1358	101780	389	9521	1497	2785	3	337	117670	117760
Fir forest01	20	720	1973	6	17	0	0	0	2736	2736
Brushlands01	874	4237	19	63271	3123	12835	1545	2570	88474	88596
Bare lands01	152	1759	40	3043	5558	7959	278	1237	20026	20079
Crops01	52	642	17	15242	2768	85707	4203	680	109311	109333
Meadows01	0	0	0	1439	178	3224	4159	1	9001	9001
Urban01	63	190	0	1834	2274	4663	18	9262	18304	18561
Water01	0	28	0	8	193	16	0	36	281	604
Class Total	2538	109620	2450	94939	15676	117256	10206	14216	0	0
Class Changes	2538	7840	477	31668	10118	31549	6047	4954	0	0
Image Difference	-1928	8140	286	-6343	4403	-7923	-1205	4345	0	0

Πίνακας 29. Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2001 σε αριθμό εικονοστοιχείων.

Percentages	Burnt areas93	Pine forest93	Fir forest93	Brushlands93	Bare lands93	Crops93	Meadows93	Urban93	Row Total	Class Total
Unclassified	0.75	0.16	0.49	0.19	0.27	0.02	0.00	0.28	0.16	100.00
Burnt areas01	0.00	0.09	0.00	0.42	0.17	0.03	0.00	0.37	100.00	100.00
Pine forest01	53.51	92.85	15.88	10.03	9.55	2.38	0.03	2.37	99.92	100.00
Fir forest01	0.79	0.66	80.53	0.01	0.11	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
Brushlands01	34.44	3.87	0.78	66.64	19.92	10.95	15.14	18.08	99.86	100.00
Bare lands01	5.99	1.61	1.63	3.21	35.46	6.79	2.72	8.70	99.74	100.00
Crops01	2.05	0.59	0.69	16.06	17.66	73.09	41.18	4.78	99.98	100.00
Meadows01	0.00	0.00	0.00	1.52	1.14	2.75	40.75	0.01	100.00	100.00
Urban01	2.48	0.17	0.00	1.93	14.51	3.98	0.18	65.15	98.62	100.00
Water01	0.00	0.03	0.00	0.01	1.23	0.01	0.00	0.25	46.52	100.00
Class Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
Class Changes	100.00	7.15	19.47	33.36	64.55	26.91	59.25	34.85	0.00	0.00
Image Difference	-75.97	7.43	11.67	-6.68	28.09	-6.76	-11.81	30.56	0.00	0.00

Πίνακας 30. Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2001 σε ποσοστιαίες αναλογίες.

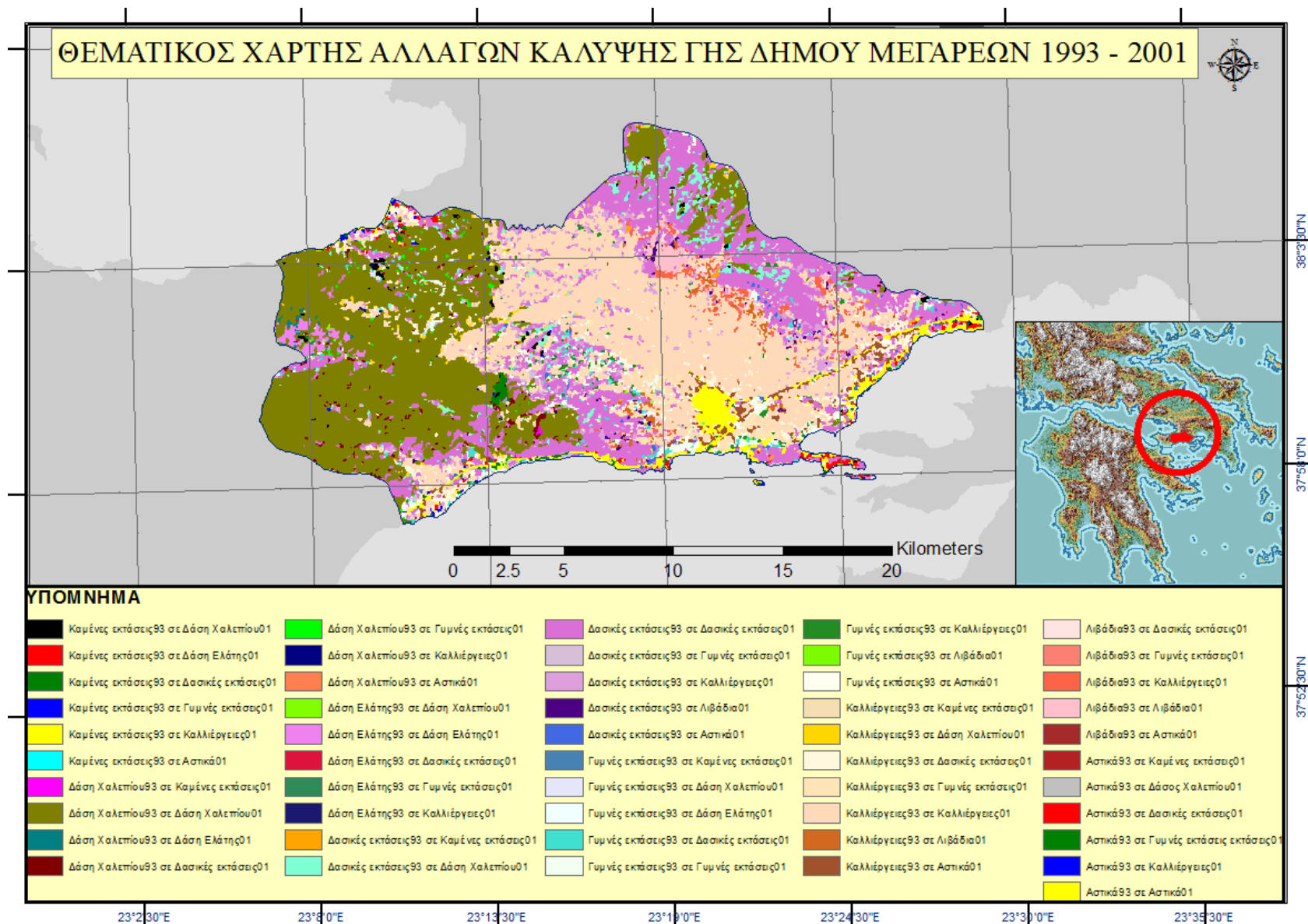
Area (Acres)	Burnt areas93	Pine forest93	Fir forest93	Brushlands93	Bare lands93	Crops93	Meadows93	Urban93	Row Total	Class Total
Unclassified	17.1	153.9	10.8	159.3	37.8	24.3	0.0	36.0	439.2	275437.8
Burnt areas01	0.0	83.7	0.0	358.2	23.4	36.0	0.0	47.7	549.0	549.0
Pine forest01	1222.2	91602.0	350.1	8568.9	1347.3	2506.5	2.7	303.3	105903.0	105984.0
Fir forest01	18.0	648.0	1775.7	5.4	15.3	0.0	0.0	0.0	2462.4	2462.4
Brushlands01	786.6	3813.3	17.1	56943.9	2810.7	11551.5	1390.5	2313.0	79626.6	79736.4
Bare lands01	136.8	1583.1	36.0	2738.7	5002.2	7163.1	250.2	1113.3	18023.4	18071.1
Crops01	46.8	577.8	15.3	13717.8	2491.2	77136.3	3782.7	612.0	98379.9	98399.7
Meadows01	0.0	0.0	0.0	1295.1	160.2	2901.6	3743.1	0.9	8100.9	8100.9
Urban01	56.7	171.0	0.0	1650.6	2046.6	4196.7	16.2	8335.8	16473.6	16704.9
Water01	0.0	25.2	0.0	7.2	173.7	14.4	0.0	32.4	252.9	543.6
Class Total	2284.2	98658.0	2205.0	85445.1	14108.4	105530.4	9185.4	12794.4	0.0	0.0
Class Changes	2284.2	7056.0	429.3	28501.2	9106.2	28394.1	5442.3	4458.6	0.0	0.0
Image Difference	-1735.2	7326.0	257.4	-5708.7	3962.7	-7130.7	-1084.5	3910.5	0.0	0.0

Πίνακας 31. Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2001 σε έκταση (στρέμματα)

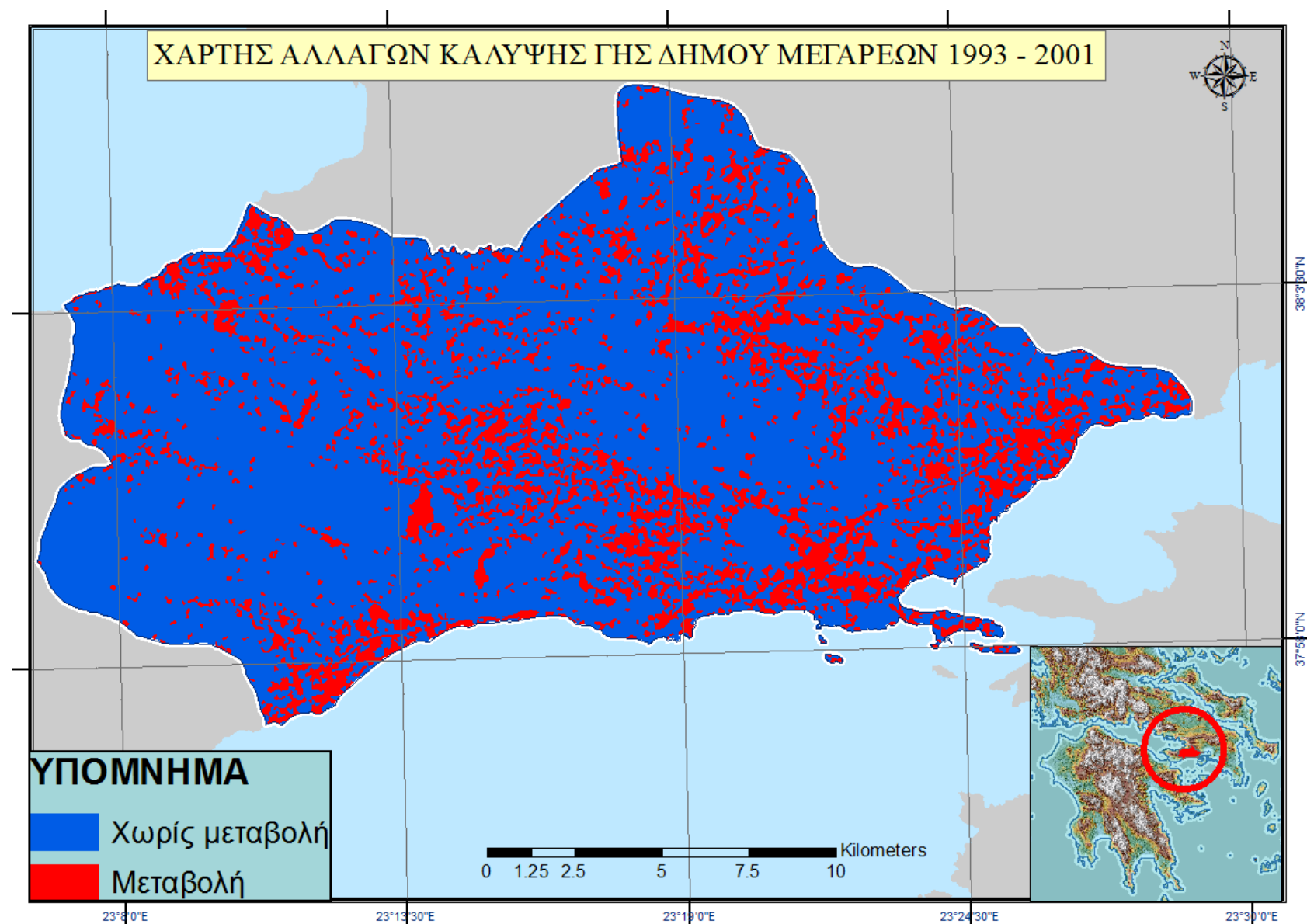
Στους πίνακες 29, 30 και 31, οι γραμμές εμφανίζουν τις κλάσεις της τελικής κατάστασης (2001) και οι στήλες τις κλάσεις της αρχικής κατάστασης (1993). Επιπλέον στις γραμμές εμφανίζονται και από ποιες κλάσεις προήλθαν τα εικονοστοιχεία, ποσοστά ή επιφάνειες στην τελική κατάσταση. Για παράδειγμα στο πίνακα 29 στη στήλη Class Total εμφανίζονται 610 εικονοστοιχεία καμένων εκτάσεων το 2001 από τα οποία το 1993 τα 93 ήταν Δάση Χαλεπίου, τα 398 Δασικές εκτάσεις, τα 26 γυμνές εκτάσεις, τα 40 καλλιέργειες και τα 53 αστικά.

Η γραμμή Class Changes φανερώνει πόσα εικονοστοιχεία, ποσοστά ή επιφάνειες άλλαξαν κλάσεις. Ενώ η γραμμή Image Difference φανερώνει τη διαφορά του συνολικού αριθμού των ισόποσα ταξινομημένων εικονοστοιχείων στις δύο εικόνες και υπολογίζεται αφαιρώντας τα σύνολα των κλάσεων της αρχικής κατάστασης (1993) από τα αντίστοιχα της τελικής κατάστασης (2001). Θετικές τιμές στην σειρά Image Difference υποδηλώνουν ότι το μέγεθος της τάξης αυξήθηκε.

Με τη βοήθεια της διαλειτουργικότητας μεταξύ των λογισμικών του ENVI 5.2 και του ArcGIS 10., μεταφέρθηκαν τα raster αρχεία που δημιουργήθηκαν στο ENVI, στην επιφάνεια εργασίας του ArcGIS, και στη συνέχεια δημιουργήθηκαν για κάθε χρονικό διάστημα της μελέτης, οι θεματικοί χάρτες αλλαγών κάλυψης γης και οι χάρτες αλλαγών κάλυψης που απεικονίζονται παρακάτω:



Χάρτης 16. Θεματικός χάρτης αλλαγών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων 1993 – 2001. (Λογισμικό ArcGIS 10.1)



Χάρτης 17. Χάρτης εμφάνισης μεταβολών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων 1993 – 2010. (Λογισμικό ArcGIS 10.1).

4.10.2 Ανίχνευση αλλαγών 2001 -2010.

Pixel Counts	Pine forest01	Fir forest01	Brushlands01	Bare lands01	Crops01	Meadows01	Urban01	Row Total	Class Total
Unclassified	118	2	72	31	1	0	86	310	306059
Pine forest10	107643	541	10436	2376	1743	1	242	122982	123149
Fir forest10	819	2125	11	26	6	0	0	2987	2987
Brushlands10	5518	30	54027	2467	14344	892	1191	78469	78943
Bare lands10	147	3	1757	4100	2562	633	411	9613	9641
Crops10	1585	6	16276	6874	81933	2717	1839	111230	111347
Meadows10	3	0	1429	448	5374	4642	19	11915	11922
Urban10	1914	29	4585	3743	3369	115	14697	28452	29024
Water10	13	0	3	14	1	1	76	108	250
Class Total	117760	2736	88596	20079	109333	9001	18561	0	0
Class Changes	10117	611	34569	15979	27400	4359	3864	0	0
Image Difference	5389	251	-9653	-10438	2014	2921	10463	0	0

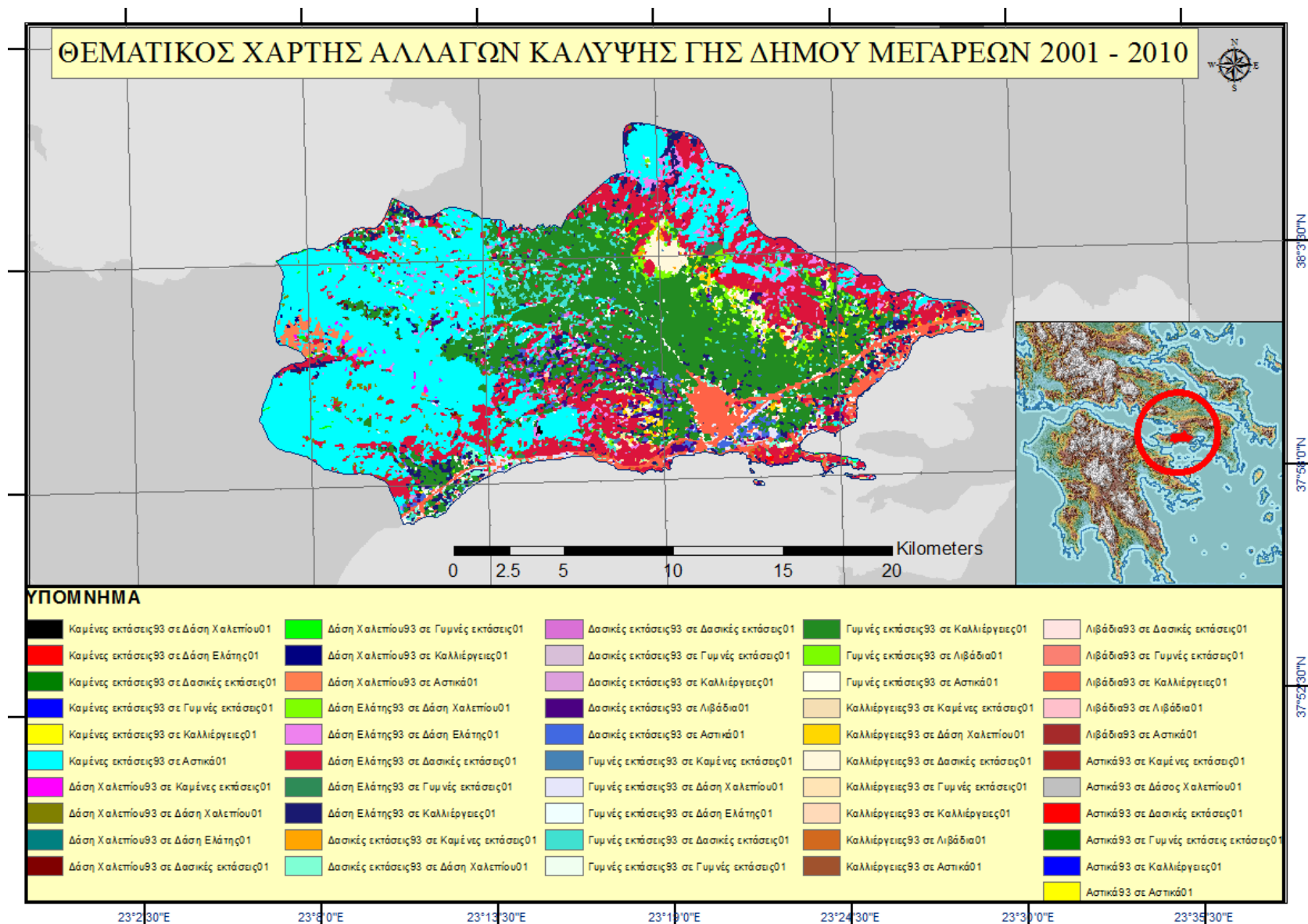
Πίνακας 32. Ανίχνευση αλλαγών 2001 -2010 σε αριθμό εικονοστοιχείων.

Percentages	Pine forest01	Fir forest01	Brushlands01	Bare lands01	Crops01	Meadows01	Urban01	Row Total	Class Total
Unclassified	0.10	0.07	0.08	0.15	0.00	0.00	0.46	0.10	100.00
Pine forest10	91.41	19.77	11.78	11.83	1.59	0.01	1.30	99.86	100.00
Fir forest10	0.70	77.67	0.01	0.13	0.01	0.00	0.00	100.00	100.00
Brushlands10	4.69	1.10	60.98	12.29	13.12	9.91	6.42	99.40	100.00
Bare lands10	0.13	0.11	1.98	20.42	2.34	7.03	2.21	99.71	100.00
Crops10	1.35	0.22	18.37	34.24	74.94	30.19	9.91	99.90	100.00
Meadows10	0.00	0.00	1.61	2.23	4.92	51.57	0.10	99.94	100.00
Urban10	1.63	1.06	5.18	18.64	3.08	1.28	79.18	98.03	100.00
Water10	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	0.01	0.41	43.20	100.00
Class Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
Class Changes	8.59	22.33	39.02	79.58	25.06	48.43	20.82	0.00	0.00
Image Difference	4.58	9.17	-10.90	-51.99	1.84	32.45	56.37	0.00	0.00

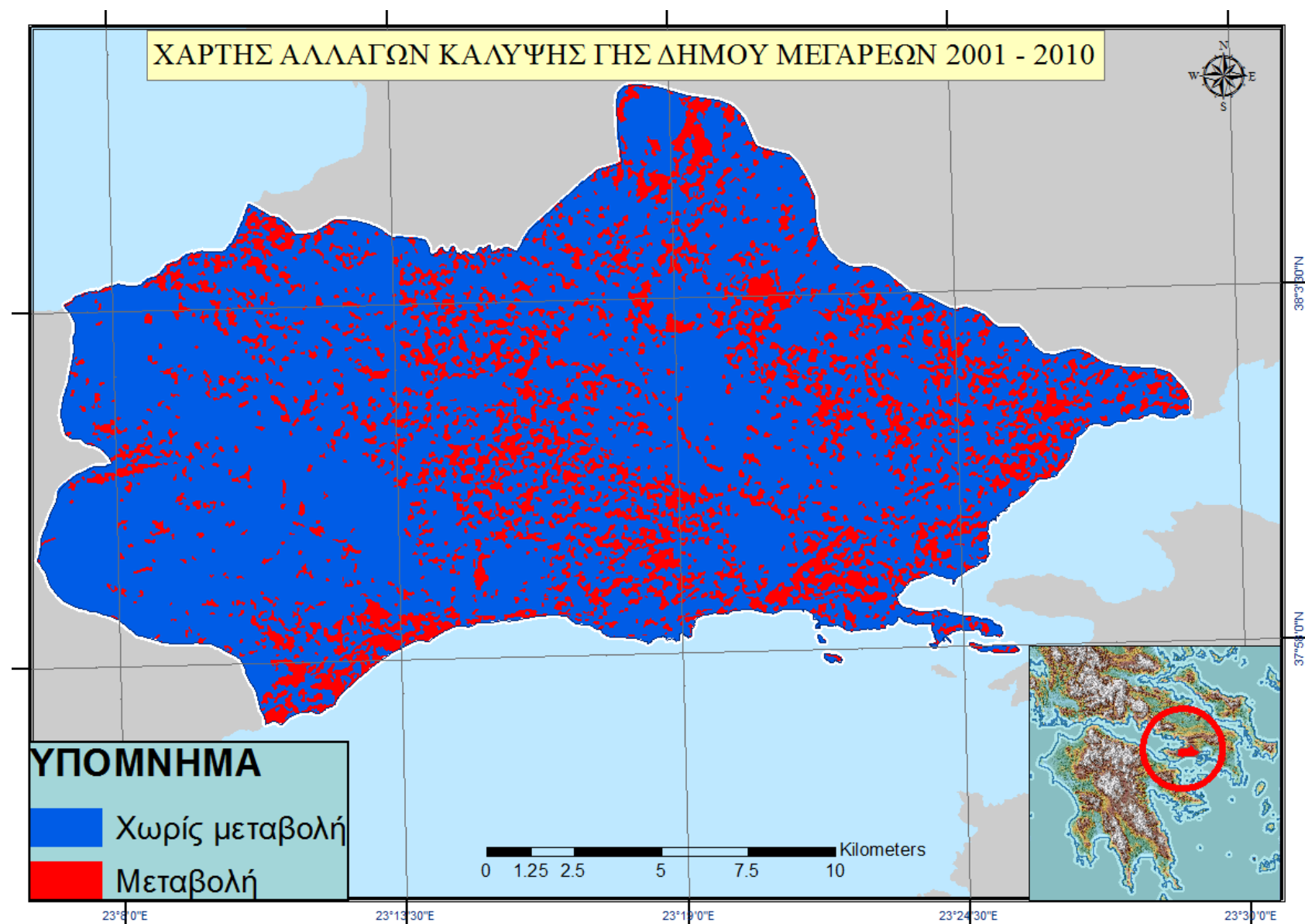
Πίνακας 33. Ανίχνευση αλλαγών 2001 -2010 σε ποσοστιαίες αναλογίες.

Area (Acres)	Pine forest01	Fir forest01	Brushlands01	Bare lands01	Crops01	Meadows01	Urban01	Row Total	Class Total
Unclassified	106.2	1.8	64.8	27.9	0.9	0	77.4	279	275453.1
Pine forest10	96878.7	486.9	9392.4	2138.4	1568.7	0.9	217.8	110683.8	110834.1
Fir forest10	737.1	1912.5	9.9	23.4	5.4	0	0	2688.3	2688.3
Brushlands10	4966.2	27	48624.3	2220.3	12909.6	802.8	1071.9	70622.1	71048.7
Bare lands10	132.3	2.7	1581.3	3690	2305.8	569.7	369.9	8651.7	8676.9
Crops10	1426.5	5.4	14648.4	6186.6	73739.7	2445.3	1655.1	100107	100212.3
Meadows10	2.7	0	1286.1	403.2	4836.6	4177.8	17.1	10723.5	10729.8
Urban10	1722.6	26.1	4126.5	3368.7	3032.1	103.5	13227.3	25606.8	26121.6
Water10	11.7	0	2.7	12.6	0.9	0.9	68.4	97.2	225
Class Total	105984	2462.4	79736.4	18071.1	98399.7	8100.9	16704.9	0	0
Class Changes	9105.3	549.9	31112.1	14381.1	24660	3923.1	3477.6	0	0
Image Difference	4850.1	225.9	-8687.7	-9394.2	1812.6	2628.9	9416.7	0	0

Πίνακας 34. Ανίχνευση αλλαγών 2001 - 2010 σε έκταση (στρέμματα).



Χάρτης 18. Θεματικός χάρτης αλλαγών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων 2001 – 2010. (Λογισμικό ArcGIS 10.1).



Χάρτης 19. Χάρτης εμφάνισης μεταβολών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων 2001– 2010. (Λογισμικό ArcGIS 10.1).

4.10.3 Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2010.

Pixel Counts	Pine forest93	Fir forest93	Brushlands93	Bare lands93	Crops93	Meadows93	Urban93	Row Total	Class Total
Unclassified	59	0	92	54	16	0	31	252	307153
Pine forest10	99786	418	16798	1577	3024	2	216	121821	123149
Fir forest10	1009	1932	14	16	0	0	0	2971	2987
Brushlands10	5729	67	53582	2464	13173	1617	1542	78174	78944
Bare lands10	130	1	2176	2758	3820	454	292	9631	9641
Crops10	1259	5	17019	4384	83906	3269	1312	111154	111354
Meadows10	2	0	2458	258	4386	4815	3	11922	11922
Urban10	1643	27	2807	4110	8931	49	10805	28372	29024
Water10	7	0	1	55	0	0	10	73	250
Class Total	109624	2450	94947	15676	117256	10206	14211	0	0
Class Changes	9838	518	41365	12918	33350	5391	3406	0	0
Image Difference	13525	537	-16003	-6035	-5902	1716	14813	0	0

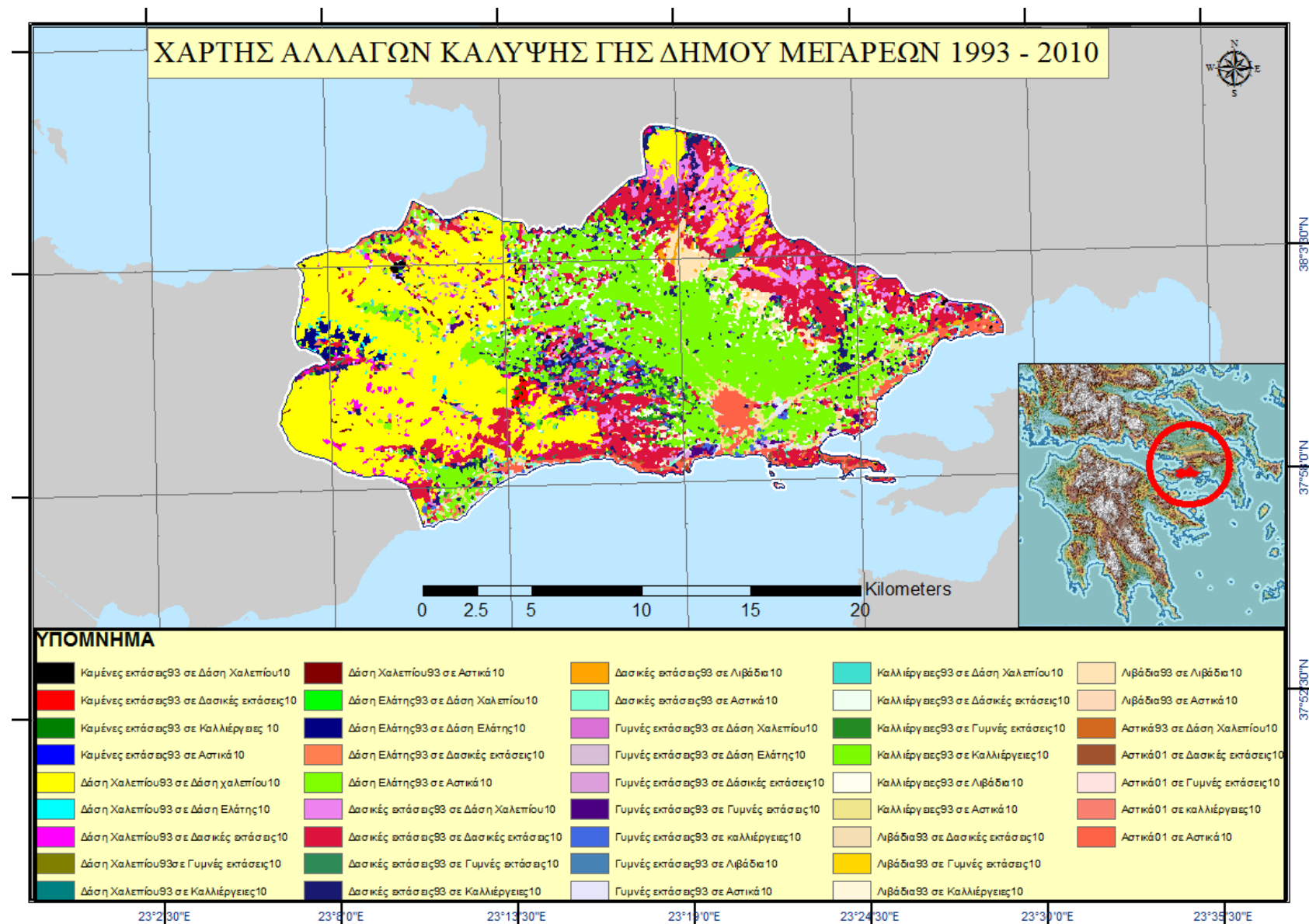
Πίνακας 35. Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2010 σε αριθμό εικονοστοιχείων.

Percentages	Pine forest93	Fir forest93	Brushlands93	Bare lands93	Crops93	Meadows93	Urban93	Row Total	Class Total
Unclassified	0.05	0.00	0.10	0.34	0.01	0.00	0.22	0.08	100.00
Pine forest10	91.03	17.06	17.69	10.06	2.58	0.02	1.52	98.92	100.00
Fir forest10	0.92	78.86	0.02	0.10	0.00	0.00	0.00	99.46	100.00
Brushlands10	5.23	2.74	56.43	15.72	11.23	15.84	10.85	99.03	100.00
Bare lands10	0.12	0.04	2.29	17.59	3.26	4.45	2.06	99.90	100.00
Crops10	1.15	0.20	17.93	27.97	71.56	32.03	9.23	99.82	100.00
Meadows10	0.00	0.00	2.59	1.65	3.74	47.18	0.02	100.00	100.00
Urban10	1.50	1.10	2.96	26.22	7.62	0.48	76.03	97.75	100.00
Water10	0.01	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.07	29.20	100.00
Class Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
Class Changes	8.97	21.14	43.57	82.41	28.44	52.82	23.97	0.00	0.00
Image Difference	12.34	21.92	-16.86	-38.50	-5.03	16.81	104.24	0.00	0.00

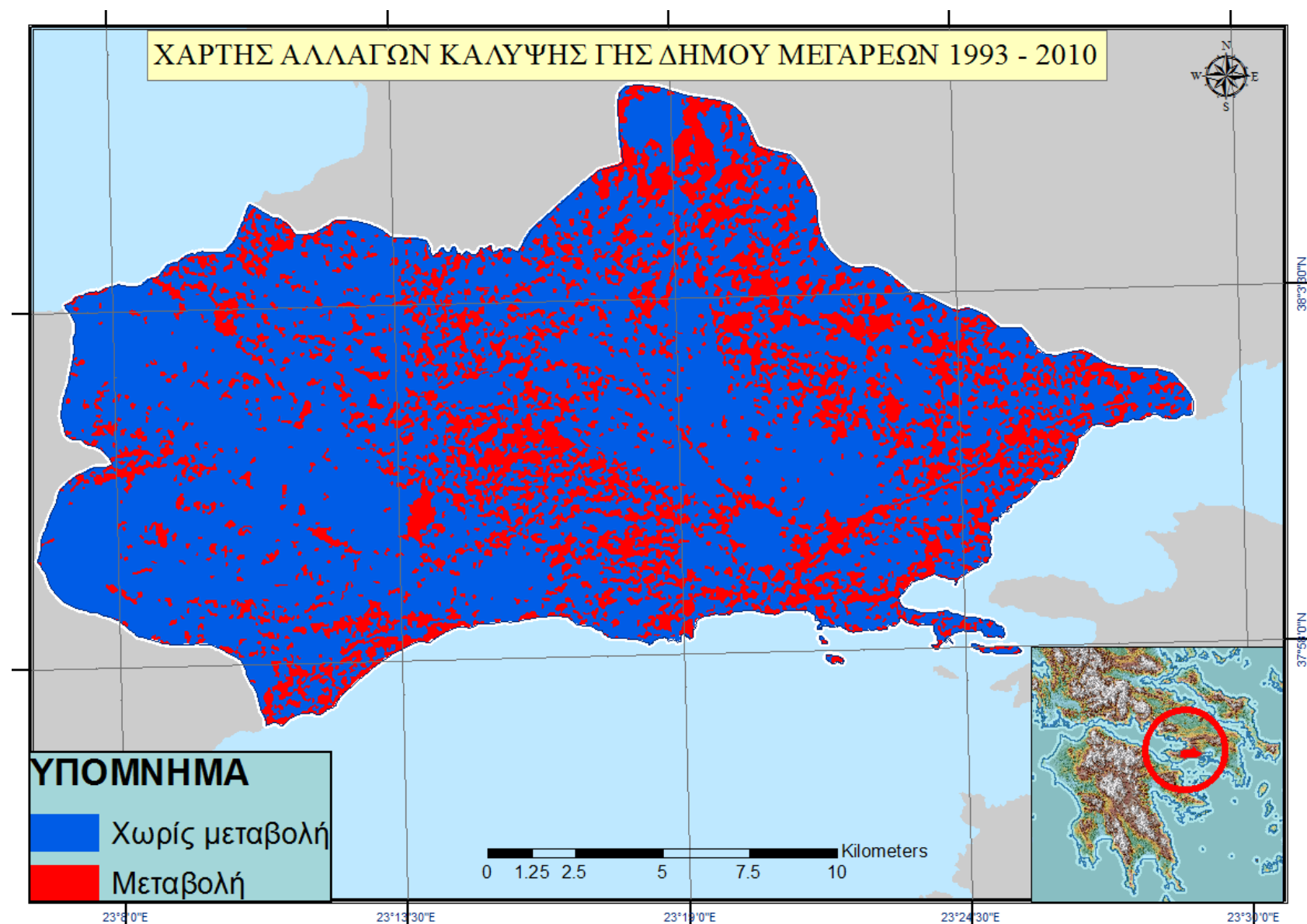
Πίνακας 36. Ανίχνευση αλλαγών 1993 -2010 σε ποσοστιαίες αναλογίες.

Area (Acres)	Pine forest93	Fir forest93	Brushlands93	Bare lands93	Crops93	Meadows93	Urban93	Row Total	Class Total
Unclassified	53100	0	82800	48600	14400	0	27900	226800	276437700
Pine forest10	89807400	376200	15118200	1419300	2721600	1800	194400	109638900	110834100
Fir forest10	908100	1738800	12600	14400	0	0	0	2673900	2688300
Brushlands10	5156100	60300	48223800	2217600	11855700	1455300	1387800	70356600	71049600
Bare lands10	117000	900	1958400	2482200	3438000	408600	262800	8667900	8676900
Crops10	1133100	4500	15317100	3945600	75515400	2942100	1180800	100038600	100218600
Meadows10	1800	0	2212200	232200	3947400	4333500	2700	10729800	10729800
Urban10	1478700	24300	2526300	3699000	8037900	44100	9724500	25534800	26121600
Water10	6300	0	900	49500	0	0	9000	65700	225000
Class Total	98661600	2205000	85452300	14108400	105530400	9185400	12789900	0	0
Class Changes	8854200	466200	37228500	11626200	30015000	4851900	3065400	0	0
Image Difference	12172500	483300	-14402700	-5431500	-5311800	1544400	13331700	0	0

Πίνακας 37. Ανίχνευση αλλαγών 1993 - 2010 σε έκταση (στρέμματα).



Χάρτης 20. Θεματικός χάρτης αλλαγών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων 2001 – 2010. (Λογισμικό ArcGIS 10.1).



Χάρτης 21. Χάρτης εμφάνισης μεταβολών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων 2001– 2010. (Λογισμικό ArcGIS 10.1).

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Τηλεπισκόπηση αποτελεί σημαντική τεχνολογία που χρησιμοποιείται σήμερα στη διαχείριση του περιβάλλοντος. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση τις τελευταίες δεκαετίες έχει συμβάλλει ιδιαίτερα στην παρακολούθηση και προστασία των ευαίσθητων φυσικών οικοσυστημάτων. Οι ιδιαίτερα βελτιωμένες δυνατότητες των πρόσφατων δορυφορικών αποστολών επέκτειναν το εύρος των παραμέτρων ενδιαφέροντος που μπορούν αξιόπιστα και σε ικανοποιητικό βαθμό να καλυφθούν με τα δορυφορικά δεδομένα. Έχοντας σαν δεδομένη τη φασματική επάρκεια των δεδομένων, η κρίσιμη ισορροπία είναι μεταξύ της χρονικής και της χωρικής διακριτικής ικανότητας. Με άλλα λόγια αν δηλαδή τα δορυφορικά δεδομένα υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας απαιτούν και υψηλή χρονική διακριτική ικανότητα αλλά και το αντίστροφο. Ειδικότερα σχετικά με το προσδιορισμό της κάλυψης γης (Land Cover), κατά το χωρικό και χρονικό προσδιορισμό της κάλυψης γης επιβάλλονται χωρικές διακριτικές ικανότητες που εξαρτώνται από το εύρος της υπό μελέτη περιοχής και τους ειδικότερους στόχους της εφαρμογής. Σήμερα οι δορυφορικές αποστολές προσφέρουν ένα ικανοποιητικό εύρος χωρικών διακριτικών ικανοτήτων σχετικά με το προσδιορισμό της κάλυψης γης και την ανίχνευση διαχρονικών αλλαγών, ενώ παρέχουν επαρκή φασματικά δεδομένα όχι μόνο για τα κανάλια του ορατού, αλλά και πέραν αυτού. Το φυσικό περιβάλλον, που συγκαταλέγεται στους ανανεώσιμους φυσικούς πόρους, δέχεται τις περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιδράσεις. Η διαχρονική παρακολούθηση των επιδράσεων αυτών προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στον καθορισμό των μελλοντικών δράσεων.

Αυτή η μελέτη, προσπαθεί να παρουσιάσει τις διαχρονικές αλλαγές της κάλυψης γης στη περιοχή μελέτης (Δήμος Μεγαρέων) χρησιμοποιώντας τα δορυφορικά στοιχεία της τηλεπισκόπησης που συλλέχθηκαν σε τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Οι ταξινομημένοι χάρτες που προέκυψαν μετά την εφαρμογή του ταξινομητή της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood) στις προεπεξεργασμένες εικόνες της περιοχής μελέτης, ανέδειξαν ως αρχικά κυριαρχούσα κλάση, αυτή των αγροτικών καλλιεργειών (1993), οι οποίες όμως στη συνέχεια υποχωρούν εκτατικά και ποσοστιαία, με αποτέλεσμα να κυριαρχεί η κλάση των δασών της Χαλεπίου πεύκης σε αμιγή ή μικτή μορφή (2001 και 2010), η οποία παρουσιάζει μια σταθερή αύξηση καλύπτοντας διαδοχικά ανά έτος αναφοράς το 26.14%, 28.66% και τελικά το 2010 καταλαμβάνει το 29.80% των συνολικών εκτάσεων της περιοχής μελέτης.

Σημαντικό συμπέρασμα αποτελεί ότι το σύνολο των εκτάσεων που διαχειρίζονται από τη δασική νομοθεσία, που αναλογούν στο άθροισμα των 3 κλάσεων των Δασών της Χαλεπίου πεύκης και Ελάτης καθώς και των Δασικών εκτάσεων, και στα 3 έτη αναφοράς υπερβαίνουν το 50% των

συνολικών εκτάσεων με ελαφρά αυξητική τάση (1993→52,28%, το 2001→ 53,2% και το 2010 → 52,48%), γεγονός που δείχνει ότι αν εκλείψει ο παράγοντας των δασικών πυρκαγιών ακόμη και σε δασικά οικοσυστήματα τα οποία βρίσκονται κοντά σε μεγάλα αστικά κέντρα, αυτά αναπτύσσονται ανεπηρέαστα και δεν μειώνεται η κάλυψή τους διαχρονικά.

Ειδικότερα αν εξετασθούν τα 2 δασικά οικοσυστήματα ξεχωριστά, εξάγονται και πάλι κάποια χρήσιμα συμπεράσματα. Σε ότι έχει να κάνει με τα δάση της Χαλεπίου πεύκης, αυτά εμφανίζουν μια σταθερή αυξητική πορεία στην οποία από το 26.14% του 1993 αυξάνονται ποσοστιαία στο 28.66% το 2001 και το 2010 εμφανίζονται να καλύπτουν το 29.80% της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης (πίνακας 28). Κύρια αίτια είναι ο περιορισμός της αιγοβοσκής και η έλλειψη σημαντικών περιστατικών πυρκαγιών για το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα αναφοράς της περιοχής μελέτης. Για τη χρονική περίοδο της μελέτης (1993 – 2010) και σύμφωνα με τα αρχεία του Δασαρχείου Μεγάρων, υπήρξαν λίγα και μεμονωμένα περιστατικά ανθρωπογενών επεμβάσεων (εκχερσώσεις, λαθροϋλοτομίες, κ.λ.π.), η αστυνόμευση με τα περίπολα και τις διοικητικές ενέργειες για τη προστασία των εκτάσεων που διαχειρίζονται από τη Δασική νομοθεσία επέδρασαν σημαντικά στη μείωση των δασικών παραβάσεων. Εδώ θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον η απεικόνιση της συγκεκριμένης κλάσης σε πρόσφατη δορυφορική εικόνα, ώστε να αποδοθούν μετά την έναρξη της οικονομικής κρίσης, τα αποτελέσματα των λαθροϋλοτομιών για καυσοξύλευση, ιδιαίτερα σε περιοχές με κορύφωση του φαινομένου, όπως το Αλεποχώρι και η Κινέττα. Πιθανότατα όμως για την ακριβή απεικόνιση του συγκεκριμένου φαινομένου να ήταν απαραίτητος ο εφοδιασμός με δορυφορικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης. Σχετικά με τη προέλευση των εκτάσεων οι οποίες μετετράπησαν σε Δάση Χαλεπίου πεύκης, από το πίνακα 35 (Ανίχνευση αλλαγών 1993 - 2010 σε αριθμό εικονοστοιχείων) εξάγεται το συμπέρασμα ότι κατά κύριο λόγο πρόκειται για δασικές εκτάσεις οι οποίες απέκτησαν μεγαλύτερη πυκνότητα βλάστησης (κυρίως λόγω αύξησης της φυσικής αναγέννησης) και κατά δεύτερο λόγο από κάποιες αγροτικές εκτάσεις οι οποίες εγκαταλείφθηκαν και δασώθηκαν φυσικά, καθώς και από κάποιες γυμνές εκτάσεις οι οποίες με το πέρασμα του χρόνου επίσης δασώθηκαν φυσικά.

Τα άλλο σημαντικό δασικό οικοσύστημα της περιοχής μελέτης είναι το Δάσος της Ελατιάς στα Γεράνεια όρη. Το δάσος αυτό αποτελείται από την Κεφαλληνιακή ελάτη σε αμιγή ή σε μικτή μορφή με Χαλέπιο ή Μαύρη πεύκη. Η Χαλέπιος πεύκη (*Pinus Halepensis*) παρατηρείται στα νότια, βόρεια και βορειοανατολικά όρια του ελατόδασους, ενώ η Μαύρη πεύκη (*Pinus Nigra* ssp. *Pallasiana*) στο ΒΑ άκρο. Η Κεφαλληνιακή Ελάτη (*Abies Cephallonica*) αποτελεί το κύριο δασικό δένδρο του χώρου και ένα εκ των 2 ενδημικών δένδρων της χώρας. Η εξάπλωσή του εκτός από τη Κεφαλλονιά, όπου βρίσκεται ο πιο γενετικά αμιγής πληθυσμός του, εντοπίζεται στον Ταΰγετο, Πάρνωνα και στα βουνά του λεκανοπεδίου της Αττικής Πάρνηθα, Γεράνεια,

Κιθαιρώνα και Πάστρα. Η διαχρονική εξέταση των ταξινομημένων εικόνων της παρούσας μελέτης για το εν λόγω δασικό οικοσύστημα, εμφανίζει μια έντονη αύξηση διαχρονικά από το 1993 στο 2001 οπότε και αυξάνεται κατά 16,32% και από το 2001 στο 2010 κατά 26,41% παρουσιάζοντας συνολική αύξηση από το 1993 στο 2010 47,05% καταλαμβάνοντας πρόσθετη έκταση 1035 στρεμμάτων το 2010 σε σχέση με το 1993. Τα αίτια αυτής της αύξησης είναι πέρα από τους κλιματικούς παράγοντες, η έλλειψη καλού οδικού δικτύου που ελαττώνει τον αριθμό των πιθανών επισκεπτών στη περιοχή και κατά συνέπεια ελαχιστοποιεί την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα, η μείωση της αιγοβοσκής και φυσικά η απουσία αξιοσημείωτων περιστατικών πυρκαγιάς για το χρονικό διάστημα αναφοράς της μελέτης. Από το πίνακα 35 (Ανίχνευση αλλαγών 1993 - 2010 σε αριθμό εικονοστοιχείων), εξάγεται το συμπέρασμα ότι το σύνολο σχεδόν των εδαφών που αυξήθηκαν τα Δάση της Κεφαλληνιακής ελάτης προέρχονται από τα Δάση της Χαλεπίου πεύκης, όπου κυριαρχεί πλέον το είδος της Ελάτης, κάτι που βέβαια ήταν αναμενόμενο. Από δασολογικής σκοπιάς, η εξέλιξη αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι τα υψόμετρα πάνω από 800 μέτρα ευνοούν την ανάπτυξη της κεφαλληνιακής ελάτης, ειδικότερα δε οι βόρειες εκθέσεις του ελατοδάσους των Γερανείων, λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών, της μικρότερης ηλιοφάνειας και της αυξημένης υγρασίας, δημιουργούν ένα σημαντικό πλεονέκτημα του ημισκιάφυτου κεφαλλονίτικου έλατου, έναντι της φωτόφιλης Χαλεπίου πεύκης, με τελικό αποτέλεσμα την διαχρονική κυριαρχία και εξάπλωσή του πρώτου στη μίξη με τη Χαλέπιο πεύκη. Επίσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η Χαλέπιος πεύκη είναι υποχρεωτικά σπερματοαναγεννητικό φυτό (δεν διαθέτει δηλαδή την ικανότητα της αναβλάστησης) και το άνοιγμα των κώνων, απουσία της φωτιάς, γίνεται με μηχανικό τρόπο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (και μάλιστα τους πρώτους μήνες του), μετά από παρατεταμένης διάρκειας υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή σχετική υγρασία αέρα. Στα Γεράνεια όμως όρη για το χρονικό διάστημα της μελέτης (1993 – 2010), δεν συνέβησαν σημαντικά περιστατικά πυρκαγιών, αλλά και λόγω της βόρειας έκθεσης, η σχετική υγρασία του αέρα παραμένει και κατά τους θερινούς μήνες σε υψηλά επίπεδα. Οι δύο αυτοί παράγοντες επηρεάζουν αρνητικά την φυσική αναγέννηση της Χαλεπίου πεύκης στην εν λόγω περιοχή.

Οι γεωργικές καλλιέργειες από το 1993 μέχρι το 2010 δεν παρουσιάζουν κάποια αξιολογη μεταβολή, συνολικά μάλιστα εμφανίζουν μια πολύ μικρή μείωση, η οποία ίσως και να οφείλεται στην έλλειψη κινήτρων στους νέους για να ασχοληθούν με το συγκεκριμένο κομμάτι πρωτογενούς παραγωγής. Βέβαια θα είχε ιδιαίτερη σημασία να υπήρχε μια πρόσφατη εικόνα για την εν λόγω κλάση, ώστε να μπορούσε να απεικονιστεί η εν λόγω κλάση μετά την έναρξη της οικονομικής κρίσης το 2009.

Σχετικά με τις αστικές ανθρωπογενείς εκτάσεις, ενώ από το 1993 στο 2001 παρουσιάζουν μια μικρή σχετικά αύξηση (από 4.24 σε 5.61%), το 2010 παρουσιάζουν μια θεαματική αύξηση, περίπου 90%, καλύπτοντας 33402.6 στρέμματα (10.11%), γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στον άξονα του προαστιακού Αθηνών – Κορίνθου, ο οποίος παραδόθηκε στη κυκλοφορία το 2004, αλλά και την επέκταση των παραθεριστικών οικισμών κατά μήκος του βόρειου και του νότιου τμήματος της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης, γεγονός που εμφανίζεται οπτικά και στους Χάρτες 16,18 και 20 εμφάνισης μεταβολών κάλυψης γης Δήμου Μεγαρέων. Σε ότι αφορά τέλος τις εκτάσεις από τις οποίες προέρχεται η μεγάλη αύξηση των αστικών εκτάσεων τη περίοδο 2001 – 2010, από τη μελέτη του πίνακα 32 (Ανίχνευση αλλαγών 2001 - 2010 σε αριθμό εικονοστοιχείων), αποδίδεται κυρίως στις κλάσεις Δασικές εκτάσεις (Brushlands), Γυμνές εκτάσεις (Barelands) και Καλλιέργειες (Crops).

Σε γενικές γραμμές η συγκεκριμένη μελέτη απέδωσε σαφή και ακριβή αποτελέσματα σχετικά με τις αλλαγές στη κάλυψη γης της περιοχής μελέτης, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα. Τόσο οι βιβλιογραφικές πηγές, όσο και οι σχεδιαζόμενες μελέτες στρατηγικού σχεδιασμού καθώς και τα στοιχεία των Δασικών υπηρεσιών της περιοχής τεκμηριώνουν την εξαγόμενη εξέλιξη των χρήσεων γης, η οποία εναρμονίζεται πλήρως με τον οικονομικό της χαρακτήρα και τα κυρίαρχα φυσικά οικοσυστήματα της περιοχής.

Τέλος δημιουργήθηκε ένα μοντέλο ροής διαδικασιών το οποίο απέδωσε σαν τελικό αποτέλεσμα την καταγραφή και παρουσίαση των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης του Δήμου Μεγάρων για τη χρονική περίοδο 1993 έως 2010 και το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες περιοχές με παρόμοια φυσικά χαρακτηριστικά για την εξαγωγή παρόμοιων αποτελεσμάτων.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Al-Ahmadi F. S., Hames A.S. (2009) «*Comparison of Four Classification Methods to Extract Land Use and Land Cover from Raw Satellite Images for Some Remote Arid Areas*», Kingdom of Saudi Arabia, Earth Sci., Vol. 20 No.1, pp: 167-191.
2. Allum J. A. E., and Dreisinger, R. (1987). «*Remote sensing of vegetation change near Inco's Sudbury mining complexes*». International Journal of Remote Sensing, 8, pp. 399–416.
3. Anderson, J.R., E.E. Hardy, J.T. Roach and R.E. Witmer, (1976). «*A land use and land cover classification for use with remote sensing data*». USGS professional paper 964. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
4. Angelici G., Brynt N., and Friendman S. (1977). «*Techniques for land use change detection using Landsat imagery*». Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the American Society of Photogrammetry and Joint Symposium on Land Data Systems, Falls Church, VA, USA (Bethesda, MD: American Society of Photogrammetry), pp. 217–228.
5. Campell B.J., (2002). «*Introduction to Remote Sensing*». 3rd edition. Virginia Polytechnic Institute and State University. The Guilford Publications Press, New York, London.
6. DiGirolamo P. A. (2006). «*A Comparison of Change Detection Methods in an Urban Environment Using LANDSAT TM and ETM+ Satellite Imagery: A Multi-Temporal, Multi-Spectral Analysis of Gwinnett County, GA 1991-2000*». Theses. Paper 18., Department of Anthropology at Digital Archive at GSU.
7. Fuller R.M., Groom G.B., Jones A.R., (1994). «*Land cover map of Great Britain. An automated classification of Landsat Thematic Mapper data*». Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 60 (5), pp. 553-562.
8. Hayder Abd Al-Razzaq Abd1, Husam Abdulrasool Alnajjar, (2013). «*Maximum Likelihood for Land-Use/Land-Cover Mapping and Change Detection Using Landsat Satellite Images: A Case Study "South Of Johor"*», Geo-spatial Information Science Research Center (GIS RC), Faculty of Engineering, University Putra Malaysia, 43400 UPM, Serdang, Selangor, Malaysia. International Journal of Computational Engineering Research||Vol, 03||Issue, 6| p.26 -33.
9. Karteris, M.A., (1990). «*The utility of digital Thematic Mapper data for natural resources classification*». International Journal of Remote Sensing 11 (9), pp. 1589-1598.

10. Karteris, M.A. (1991). «*Classification of Mediterranean forested areas with SPOT data*» Πρακτικά Συμποσίου "FERNERKUNDUNG in DER Forstwirtschaft - Stand und Entwicklungen" - Albert-Ludwigs Universität, Freiburg, Germany, p. 11.
11. Krishna Bahadur K.C. (2009). «*Improving Landsat and IRS Image Classification: Evaluation of Unsupervised and Supervised Classification through Band Ratios and DEM in a Mountainous Landscape in Nepal*». Remote Sensing 2009, 1, 1257-1272.
12. Li X., and Yeh A. G. O. (1998). «*Principal component analysis of stacked multitemporal images for the monitoring of rapid urban expansion in the Pearl River Delta*». International Journal of Remote Sensing, 19, pp.1501–1518.
13. Lu D., Mausel P., Brondizios E., and Moran E. (2004). «*Change Detection Techniques*», International Journal of Remote Sensing, Vol.25, No 12, pp. 2365-2407.
14. Mancino Giuseppe, Nolè Angelo, Ripullone Francesco, Ferrara Agostino, (2012). «*Landsat TM imagery and NDVI differencing to detect vegetation change: assessing natural forest expansion in Basilicata, southern Italy*». IForest – Biogeosciences and Forestry. Research Article - doi: 10.3832/ifor0909-007, p. 75-84.
15. Mohd Hasmadi, I. Pakhriazad, H.Z., Shahrin M.F. (2009). «*Evaluating supervised and unsupervised techniques for land cover mapping using remote sensing data*». Malaysian Journal of Society and Space 5 issue 1 pp. 1 – 10.
16. Muller S.V., Racoviteanu A.E., walker D.A., (1999). «*Landsat MSS-derived land-cover map of northern Alaska: extrapolation methods and a comparison with photo-interpreted and AVHRR-derived maps*». International Journal for Remote Sensing 20 (15-16), pp. 2921-2946.
17. Nelson R.F., Latty R.S., and Mott G., (1984). «*Classifying northern forests using thematic mapper simulator data*». Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 50, pp. 607-617.
18. Richards J.A., (1999). Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag, Berlin, p. 240.
19. Singh A. (1989). «*Digital change detection techniques using remotely sensed data*». International Journal of Remote Sensing, 10, pp.989–1003.
20. Slonecker, E. T., D. M. Shaw, T. M. Lillesand, (1998). «*Emerging legal issues in advanced remote sensing technology*». Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 64, p. 589-595.
21. Song C., Woodcock C., Seto K., Pax Lenney M, Macomber S., (2001). «*Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?*» Remote Sensing of Environment v.75 p. 230-244.

22. Tou, J. T. and R. C. Gonzalez, (1974). «Pattern Recognition Principles», Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
23. Townshend, J. (Ed.), (1981). «*Terrain analysis and Remote Sensing*». Allen and Unwin, London.
24. Vogelmann J.E., Sohl T.L., Campell P.V., Shaw D.M., (1998). «*Regional Land Cover Characterization Using Landsat Thematic Mapper Data and Ancillary Data Sources*». Environmental Monitoring and Assessment 51, pp. 415-428.
25. Vorovencii I., Muntean M. D., (2013). «*Evaluation of supervised classification algorithms for Landsat 5 TM image*». RevCAD 14/2013s p. 197-206.
26. Williams D.L. and Nelson R.F., (1986). «*Use of Remotely Sensed Data for Assessing Forest Stand Conditions in the Eastern U.S.*». IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-24 (1), pp. 130-138.
27. Wolter P.T., Mladenoff D.J., Host G.E. and Crow T.R., (1995). «*Improved forest classification in the northern lake states using multi-temporal Landsat imagery*». Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61, pp. 1129–1143.
28. Yang X. and Lo C.P. (2000). «*Relative radiometric normalization performance for change detection from multi-date satellite images*». Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 66 no.8, August, pp. 967-980.
29. Yuan F., Sawaya K., and Loeffelholz B. (2005). «*Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing*». Remote Sensing of Environment 98, pp. 317 – 328.
30. Zha Y., Gao J. & Ni S. (2003). «*Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery*». International Journal of Remote Sensing, 24:3, p. 583-594.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αργιαλάς Δ. (1999). «*Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση*», ΕΜΠ, Αθήνα.
2. Γιαννάκης Κ. (2010) «*Σενάρια αξιοποίησης ακινήτου ΟΣΕ στο Δήμο Μεγάρων*». Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π. Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Τομέας Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού.
3. Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Μεγαρέων 2012 -2014.
4. Θέος Ν., (2010), «*Περιβαλλοντικές Επιβαρύνσεις σε έδαφος και νερό περιοχής Μεγάρων*». Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
5. Καρτάλης Κ. Φειδάς Χ. (2006). «*Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορική Τηλεπισκόπησης*». Β.Γκιούρδας Εκδοτική. Αθήνα.

6. Καρτέρης Μ.Α. & Μελιάδης Ι.Μ., (1992). «Ταξινόμηση δασικών εκτάσεων με δορυφορικά δεδομένα». Πρακτικά Ε΄ Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου "Ερευνα και Πράξη στα Ελληνικά Δάση", Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, Καλαμάτα σελ. 347 – 353.
7. Κούτσιας Ν., Μαλλίνης Γ., Καρτέρης Μ., 2002. «Ο μετασχηματισμός κυρίων συνιστωσών πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων για τη χαρτογράφηση άμεσων επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών : μια ειδική περίπτωση εφαρμογής στις δασικές πυρκαγιές». Πρακτικά του 6ου Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη 3-6 Οκτωβρίου 2002. Τόμος ΙΙ σελ. 180 -186.
8. Μιγκίρος Γ. Παυλόπουλος Α. Παρχαρίδης Ι. Γατσής Ι., Ψωμιάδης Ε., (2003). «Τηλεπισκόπηση -Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες». Εργαστήριο Γεωλογίας – Ορυκτολογίας. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
9. Τσακίρη-Στρατή Μ. (2010). «Τηλεπισκόπηση - Πανεπιστημιακές παραδόσεις Α.Π.Θ». Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Τομέας Κτηματολογίου Φωτογραμμετρίας και Χαρτογραφίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Google Earth.
2. <https://earth.esa.int/web/guest/eoli>: Ιστότοπος της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας (E.S.A., European Space Agency) για διάθεση δορυφορικών εικόνων Landsat.
3. <http://earthexplorer.usgs.gov/>: Ιστότοπος του Αμερικάνικου Γεωλογικού Ινστιτούτου U.S.G.S. (United States Geological Survey) για διάθεση δορυφορικών εικόνων Landsat.
4. <http://geodata.gov.gr/geodata/> : Ανοιχτό portal που παρέχει γεωγραφικά δεδομένα σε μορφή vector.
5. <http://glcf.umiacs.umd.edu/>: Ιστότοπος του Global Land Cover Facility (GLCF), ο οποίος υποστηρίζεται από το Πανεπιστήμιο του Maryland, τη NASA και το GOFC-GOLD (Global Observation of Forest and LandCover Dynamics), για διάθεση δορυφορικών εικόνων Landsat.
6. www.eea.europa.eu/themes/landuse/clc-download: Διαδικτυακή πύλη Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος που παρέχει δεδομένα CORINE CLC 2000.
7. www.statistics.gr: Ελληνική Στατιστική Αρχή: Παροχή στατιστικών δεδομένων για την περιοχή μελέτης.