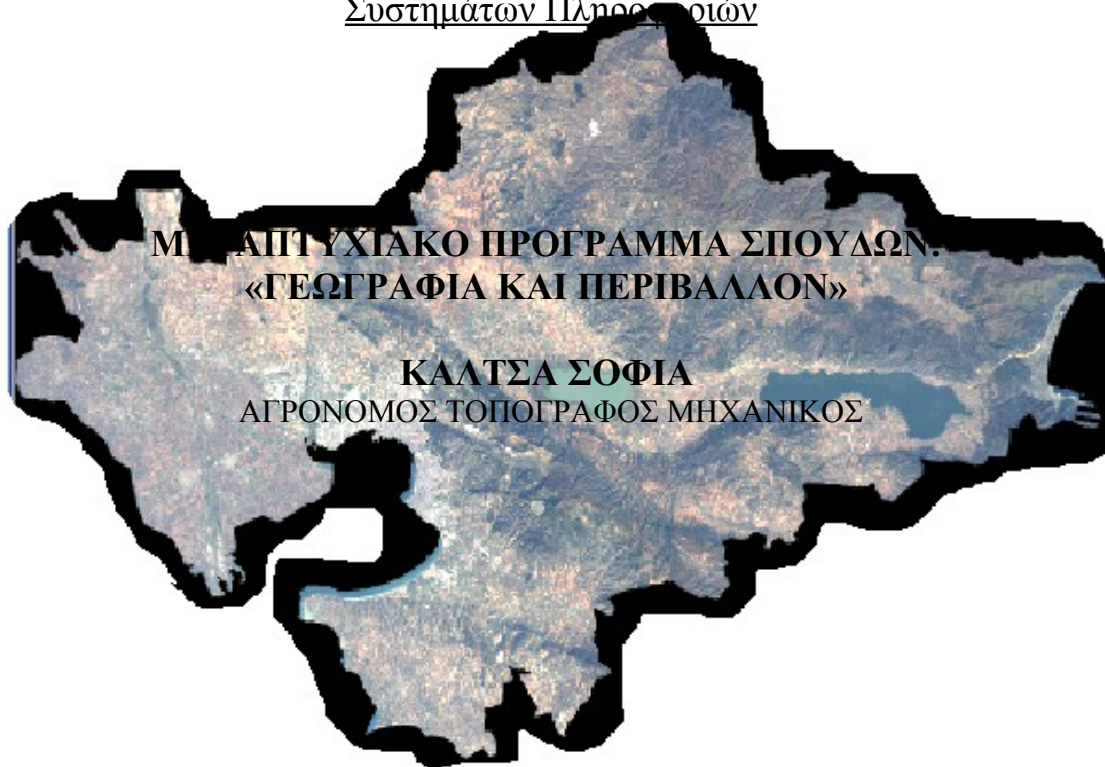


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
Εργαστήριο Εφαρμογών Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών
Συστημάτων Πληροφοριών



*“Διαχρονική Παρακολούθηση των Αλλαγών της Κάλυψης
Γης (Land Cover) στο Νομό Θεσσαλονίκης με τη Χρήση
της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων
Πληροφοριών (G.I.S.)”*

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Τριμελής Επιτροπή
Καθηγητής Θ. Αστάρας (Επιβλέπων)
Καθηγήτρια Μ. Τσακίρη- Στρατή
Λέκτορας Δ. Οικονομίδης

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα αυτής της διατριβής ειδίκευσης, Ομότιμο Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας κ. Θεόδωρο Αστάρα, για την ανάθεση του θέματος, την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, καθώς και για τις συμβουλές και την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

Την Καθηγήτρια του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών κα. Μαρία Τσακίρη-Στρατή, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για τη διάθεση των δορυφορικών εικόνων που συμμετείχαν στη διατριβή και τις χρήσιμες υποδείξεις για την ψηφιακή επεξεργασία τους.

Τον λέκτορα του Τμήματος Γεωλογίας κ. Δημήτριο Οικονομίδη, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για τη διάθεση δεδομένων απαραίτητων στην εκπόνηση της εργασίας.

Τον λέκτορα του Τμήματος Γεωλογίας, συνάδελφο και προσωπικό μου φίλο Αντώνιο Μουρατίδη, ο οποίος με ενθάρρυνε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα της διατριβής ειδίκευσης, και φυσικά για την πολύτιμη βοήθεια και συνεχή υποστήριξή του κατά την εκπόνησή της.

Τον υποψήφιο διδάκτορα του Τμήματος Γεωλογίας, Χρήστο Δομακίνη, για το αμείωτο ενδιαφέρον του στην πορεία της εργασίας, τις πολύτιμες πληροφορίες και τις ουσιαστικές συζητήσεις που είχαμε σε θέματα Τηλεπισκόπησης.

Την υποψήφια διδάκτορα του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και συνάδελφο, Γεωργία Δοξάνη, για το χρόνο που αφιέρωσε και τις υποδείξεις της σε θέματα επεξεργασίας και ταξινόμησης της εικόνας.

Τις μεταπτυχιακές φοιτήτριες του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας και προσωπικές μου φίλες, Στέλλα Κίρκου, Αθανασία Μάγου, Κωνσταντίνα Μακροβασίλη και Μαρία Παππά, για την άποψη συνεργασία μας και τη συνεχή τους συμπαράσταση.

Το σύνολο του προσωπικού του Τομέα για την επιστημονική και υλική υποστήριξη.

Τους γονείς μου, την αδερφή μου Αναστασία και τον αρραβωνιαστικό μου Κώστα, για την υπομονή τους και την αμέριστη ηθική τους στήριξη, η οποία αποτέλεσε το σημαντικότερο παράγοντα στην επιτυχή ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούν σημαντικά εργαλεία για τη διαχρονική παρακολούθηση της κάλυψης γης και των αλλαγών που έλαβαν χώρα σε αυτή. Ο εντοπισμός μεταβολών στην κάλυψη γης με τη χρήση δεδομένων Τηλεπισκόπησης απαιτεί αφενός την επιλογή κατάλληλης μεθοδολογίας και αφετέρου την επαρκή γνώση της περιοχής μελέτης. Η ανίχνευση αλλαγών περιλαμβάνει τη χρήση διαχρονικών εικόνων πολυφασματικών δεδομένων για την αξιολόγηση των μεταβολών στην κάλυψη γης, λόγω των περιβαλλοντικών συνθηκών και των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων μεταξύ των ημερομηνιών απόκτησης των εικόνων. Ο εντοπισμός μεταβολών κάλυψης γης αποτελεί σημαντική διαδικασία στην παρακολούθηση και διαχείριση φυσικών πηγών και αστικής ανάπτυξης, διότι παρέχει ποσοτική ανάλυση της χωρικής κατανομής του πληθυσμού ενδιαφέροντος. Παρόλο που έχει αναπτυχθεί πλήθος τεχνικών εντοπισμού μεταβολών, έχει γίνει ελάχιστη έρευνα για την ποσοτική εκτίμηση της ακρίβειας αυτών των τεχνικών.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της «Σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων», προκειμένου να εντοπιστούν οι μεταβολές που έλαβαν χώρα στην κάλυψη γης του νομού Θεσσαλονίκης κατά το διάστημα 1977-2009, με τη χρήση δεδομένων Landsat MSS και TM. Με κατάλληλη επεξεργασία και ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων, δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες με την κάλυψη γης του νομού Θεσσαλονίκης. Ακολούθησε σύγκριση των χαρτών μεταξύ τους σε ζεύγη και παρήχθησαν νέες εικόνες με τις μεταβολές ή μη στους διάφορους τύπους κάλυψης γης κατά το χρονικό διάστημα παρακολούθησης. Προέκυψε λοιπόν ότι, με εξαίρεση τη σημαντική μείωση της έκτασης της λίμνης Κορώνειας, οι μεταβολές στην κάλυψη γης του νομού τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, είναι σχετικά περιορισμένες και όχι ιδιαίτερα αρνητικές προς το φυσικό περιβάλλον.

ABSTRACT

Remote sensing and G.I.S. constitute important tools for the multitemporal study of the land cover and its changes. Land cover change detection using remote sensing data requires selection of appropriate methodology and sufficient knowledge of the study area. Change detection includes the use of multitemporal and

multispectral imagery for the evaluation of land cover changes, because of the environmental conditions and the human activities between the dates of acquisition of pictures. Land cover change detection is an important process in monitoring and managing natural resources and urban development because it provides a quantitative analysis of the spatial distribution in the population of interest. A large number of change detection techniques have been developed, but little has been done to quantitatively assess the accuracies of these techniques.

In the present study, the technique “comparison of classified images” was used to detect changes in the land cover of Thessaloniki county, during the time 1977-2009, by using Landsat MSS and TM satellite data. With suitable treatment and classification of satellite images, thematic maps with the land cover of Thessaloniki county were created. These maps were compared in pairs and produced new pictures with the changes in land cover at the time interval of the study. It resulted therefore that, with the exception of the important reduction of the lake Korwneia’s extent, the land cover changes in the particular time period, are relatively limited and not particularly negative to the natural environment.

Λέξεις κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Κάλυψη Γης, Ταξινόμηση, Εντοπισμός μεταβολών.

Keywords: Remote sensing, G.I.S., Land cover, Classification, Change detection.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣσελ.1	σελ.1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ3	3
ABSTRACT3	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ5	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ7	7
1.1 Συστήματα ταξινόμησης κάλυψης γης με τεχνικές Τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π.....7	7
1.2 Στόχος της διατριβής.....10	10
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ12	12
2.1 Εισαγωγή.....12	12
2.2 Γεωμορφολογία – Φυσική Γεωγραφία.....14	14
2.3 Γεωλογία.....19	19
2.4 Βλάστηση, Χρήσεις γης και Εδάφη.....23	23
2.4.1 Βλάστηση και χρήσεις γης.....23	23
2.4.2 Εδάφη.....25	25
2.5 Κλίμα.....26	26
2.6 Οικονομία.....26	26
3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ28	28
3.1 Εισαγωγή.....28	28
3.2 Δορυφόροι Landsat.....29	29
3.3 Δορυφορικές εικόνες.....29	29
3.4 Χαρτογραφικά Δεδομένα.....31	31
3.5 Μεθοδολογία.....32	32
3.6 Εγγραφή δορυφορικών εικόνων.....34	34
3.6.1 Επαναδειγματοληψία της εικόνας.....34	34
3.6.2 Εγγραφή εικόνων Landsat νομού Θεσσαλονίκης.....36	36
3.7 Χρωματική κωδικοποίηση εικόνας.....41	41
4. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ43	43
4.1 Εισαγωγή.....43	43
4.2 Ψηφιακή ταξινόμηση.....44	44
4.2.1 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....45	45
4.2.2 Αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας.....47	47

4.2.3 Δειγματοληψία - Μέγεθος δείγματος.....	48
4.2.4 Χαρακτηριστικά – Πηγές σφαλμάτων ταξινόμησης.....	50
4.2.5 Εκτίμηση της ακρίβειας ταξινόμησης.....	51
4.2.5.1 Πίνακας εκτίμησης ακρίβειας.....	52
4.2.5.2 Η Kappa ανάλυση.....	55
4.3 Ταξινόμηση εικόνων Landsat νομού Θεσσαλονίκης.....	57
4.3.1 Μεθοδολογία ταξινόμησης.....	57
4.3.2 Αποτελέσματα ταξινόμησης.....	65
5. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ.....	72
5.1 Εισαγωγή.....	72
5.2 Τεχνικές εντοπισμού μεταβολών.....	72
5.2.1 Αλγόριθμοι εντοπισμού μεταβολών.....	74
5.2.1.1 Αλγόριθμος σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων.....	75
5.2.2 Ακρίβεια τεχνικών εντοπισμού μεταβολών.....	75
5.3 Εντοπισμός μεταβολών κάλυψης γης νομού Θεσσαλονίκης.....	76
5.3.1 Μεθοδολογία εντοπισμού μεταβολών.....	76
5.3.2 Αποτελέσματα εντοπισμού μεταβολών.....	79
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	91
6.1 Συμπεράσματα για την κάλυψη γης του νομού Θεσσαλονίκης.....	91
6.2 Συμπεράσματα για τεχνικές ταξινόμησης και εντοπισμού μεταβολών.....	94
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	96
7.1 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Οι λίμνες Κορώνεια και Βόλβη.....	96
7.2 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Δορυφόροι Landsat 1-3, 4&5.....	99
7.3 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Πίνακες RMS εγγραφής εικόνων Landsat-5/TM 1987, 2009.....	103
7.4 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ : Το πρόγραμμα CORINE.....	106
7.4.1 Το πρόγραμμα CORINE Land Cover.....	107
7.5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Πίνακες διαχωριστικότητας και εκτίμησης της ακρίβειας.....	110
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	114

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ Γ.Σ.Π.

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

Οι διαχρονικές αλλαγές που εμφανίζονται σε μια περιοχή μελετώνται με τη χρήση δορυφορικών εικόνων. Η επεξεργασία των εικόνων αυτών γίνεται με σύγχρονες μεθόδους Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.). Η Τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με τα Γ.Σ.Π. προσφέρουν τη δυνατότητα ανάπτυξης ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης και διαχείρισης των φυσικών οικοσυστημάτων (Καρτέρης, 2004) (Από URL16).

Η στροφή του ενδιαφέροντος προς την κάλυψη γης, οφείλεται στη συνειδητοποίηση και στην πλήρη επίγνωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Οι ανεξέλεγκτες ανθρωπογενείς επεμβάσεις έχουν εξαντλήσει την ικανότητα ανανέωσης των φυσικών διαθέσιμων της γης και έχουν υποβαθμίσει το περιβάλλον. Μερικά φαινόμενα, που καταδεικνύουν το ευάλωτο του περιβάλλοντος, είναι τα εξής:

- ❖ Σταδιακή εγκατάλειψη της γεωργικής γης.
- ❖ Εκχέρσωση, αποψίλωση και βίαιη αλλαγή της χρήσης των δασών.
- ❖ Σταδιακή ξήρανση των υδάτινων επιφανειών.
- ❖ Διάβρωση και ερημοποίηση των εδαφών.
- ❖ Συνεχής οικιστική ανάπτυξη κατά μήκος του αιγιαλού και της παραλίας.
- ❖ Περιορισμός της βιοποικιλότητας.

Κρίνεται, λοιπόν, απαραίτητη η προστασία και η ορθολογική διαχείριση του περιβάλλοντος.

Σπουδαίο ρόλο, προς αυτή την κατεύθυνση, διαδραματίζουν οι πληροφορίες για την κάλυψη γης, οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν τον άξονα για τη

διαμόρφωση και την υλοποίηση περιβαλλοντικής πολιτικής. Τα δεδομένα κάλυψης γης χρειάζονται στην ανάλυση των περιβαλλοντικών διαδικασιών και στην κατανόηση των προβλημάτων, όταν οι συνθήκες και τα πρότυπα διαβίωσης πρόκειται να βελτιωθούν ή να διατηρηθούν στα εκάστοτε επίπεδα. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλα δεδομένα και να συμβάλλουν εποικοδομητικά στην εύρεση λύσεων και στη διατύπωση συμπερασμάτων σε ό,τι αφορά στα σύνθετα προβλήματα, που υποβαθμίζουν ή απειλούν το φυσικό περιβάλλον (URL9).

Το φάσμα των αναγκών για δεδομένα κάλυψης γης είναι εξαιρετικά ευρύ. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι υπάρχει ανάγκη για:

- ❖ Κατάλογο πηγών νερού, έλεγχο πλημμυρών, προγραμματισμό παροχής νερού και επεξεργασία απόβλητου ύδατος.
- ❖ Γνώση των υπαρχουσών δραστηριοτήτων στα δημόσια εδάφη σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες και μεταβαλλόμενες χρήσεις των παρακείμενων ιδιωτικών εδαφών, με στόχο την ορθολογική διαχείριση δημοσίων εδαφών.
- ❖ Αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδρασης ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης των ενεργειακών πόρων, για την ελαχιστοποίηση των συγκρούσεων μεταξύ ανθρώπου και φυσικού οικοσυστήματος.
- ❖ Ανάγκη για αξιολόγηση μελλοντικών επιδράσεων στην περιβαλλοντική ποιότητα.

Εκτός από τις δορυφορικές εικόνες, υπάρχουν πολλές διαφορετικές πηγές πληροφοριών για την υπάρχουσα κάλυψη εδάφους και τις προκύπτουσες αλλαγές. Αναλυτικές πληροφορίες προκύπτουν από υπαίθριες έρευνες, οι οποίες περιλαμβάνουν μετρήσεις και παρατήρηση. Η ερμηνεία μεγάλης κλίμακας αεροφωτογραφιών χρησιμοποιείται επίσης ευρύτατα (Avery, 1968) (Από Anderson et al., 1976). Σε κάποιες περιπτώσεις προκύπτουν συμπληρωματικές πληροφορίες από προσωρινές συνδέσεις σταθμών, οικοδομικές άδειες και άλλες παρόμοιες πηγές.

Συχνά όμως παρουσιάζονται δυσκολίες στο συνδυασμό, στην εφαρμογή και στην ερμηνεία των παραπάνω δεδομένων. Οι δυσκολίες αυτές οφείλονται στις αλλαγές στους ορισμούς των κατηγοριών κάλυψης γης, στις διαφορετικές μεθόδους συλλογής δεδομένων, στις ποικίλες ηλικίες των δεδομένων και στην υιοθέτηση μη συμβατών συστημάτων ταξινόμησης. Είναι εμφανής λοιπόν η ανάγκη για τυποποιημένα δεδομένα κάλυψης γης και για ένα σύστημα ταξινόμησης δεδομένων

κάλυψης γης –που λήφθηκαν κυρίως με τη χρήση τεχνικών Τηλεπισκόπησης- το οποίο να είναι συμβατό με τα ήδη υπάρχοντα.

Η ζήτηση για τυποποιημένα δεδομένα κάλυψης γης αυξάνεται όταν επιδιώκεται η αξιολόγηση και η διαχείριση περιοχών κρίσιμου ενδιαφέροντος για περιβαλλοντικό έλεγχο. Τέτοιες περιοχές είναι τα πεδία πλημμυρών και οι υγρότοποι, περιοχές ανάπτυξης και παραγωγής πηγών ενέργειας, περιοχές ψυχαγωγίας και περιοχές που ενδείκνυνται για αστική και βιομηχανική ανάπτυξη.

Οι τεχνικές Τηλεπισκόπησης και τα Γ.Σ.Π./ G.I.S μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για να συμπληρώσουν έρευνες βασισμένες σε επίγειες παρατηρήσεις και μετρήσεις. Συγχρόνως, οι τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων επιτρέπουν την αποθήκευση μεγάλου όγκου λεπτομερών δεδομένων, τα οποία μπορούν να οργανωθούν με διάφορους τρόπους ώστε να ικανοποιούν συγκεκριμένες ανάγκες. Συνεπώς, μπορεί να δημιουργηθεί ένας έγκαιρος και ακριβής κατάλογος της κάλυψης γης.

Σύμφωνα με τους Anderson et al. (1976), δεν υπάρχει ιδανική ταξινόμηση κάλυψης γης και είναι απίθανο ότι κάποια θα μπορούσε κάποτε να αναπτυχθεί. Υπάρχουν διαφορετικές όψεις στη διαδικασία της ταξινόμησης, και η ίδια η διαδικασία τείνει να είναι υποκειμενική, ακόμα και όταν χρησιμοποιείται μια αντικειμενική αριθμητική προσέγγιση. Στην πραγματικότητα, είναι παράλογο να προσδοκάται από ένα λεπτομερή κατάλογο κάλυψης γης να είναι επαρκής για ένα παρατεταμένο χρονικό διάστημα, δεδομένου ότι τα πρότυπα κάλυψης γης αλλάζουν σύμφωνα με τις ανάγκες για φυσικούς πόρους. Κάθε ταξινόμηση δημιουργείται για να ταιριάζει στις απαιτήσεις του χρήστη και ελάχιστοι χρήστες θα ικανοποιηθούν από ένα κατάλογο που δεν καλύπτει τις περισσότερες από τις απαιτήσεις τους.

Στην προσπάθεια να καθιερωθεί ένα σύστημα ταξινόμησης για χρήση με τεχνικές τηλεπισκόπησης, το οποίο θα παρέχει ένα πλαίσιο για την ικανοποίηση των απαιτήσεων της πλειοψηφίας των χρηστών, πρέπει πρώτα να καθιερωθούν συγκεκριμένα κριτήρια για αξιολόγηση. Έτσι, ένα σύστημα ταξινόμησης κάλυψης γης πρέπει να πληρεί τα παρακάτω κριτήρια (Anderson, 1971) (Από Anderson et al., 1976):

- ❖ Το ελάχιστο επίπεδο ακρίβειας στην αναγνώριση κατηγοριών κάλυψης γης από τηλεπισκοπικά δεδομένα πρέπει να είναι τουλάχιστον 85%.
- ❖ Οι επιμέρους ακρίβειες για τις διάφορες κατηγορίες πρέπει να είναι περίπου ίσες.

- ❖ Το σύστημα ταξινόμησης πρέπει να είναι εφαρμόσιμο και σε εκτεταμένες περιοχές.
- ❖ Η κατηγοριοποίηση πρέπει να επιτρέπει στη βλάστηση και σε άλλους τύπους κάλυψης γης να χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα της δραστηριότητας.
- ❖ Το σύστημα ταξινόμησης πρέπει να είναι κατάλληλο για χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων που αποκτήθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.
- ❖ Η αποτελεσματική χρήση υποκατηγοριών που μπορούν να αποκτηθούν από επίγειες έρευνες ή από τη χρήση μεγαλύτερης κλίμακας ή ενισχυμένων τηλεπισκοπικών δεδομένων, πρέπει να είναι εφικτή.
- ❖ Η άθροιση των κλάσεων πρέπει να είναι εφικτή.
- ❖ Η σύγκριση με μελλοντικά δεδομένα κάλυψης γης πρέπει να είναι εφικτή.

Μερικά από αυτά τα κριτήρια εφαρμόζονται γενικά στην κάλυψη γης, ενώ κάποια άλλα εφαρμόζονται πρωτίστως σε δεδομένα κάλυψης γης που ερμηνεύτηκαν από δεδομένα τηλεπισκόπησης. Για δεδομένα κάλυψης γης που απαιτούνται για προγραμματισμό και διαχείριση, η ακρίβεια της ερμηνείας είναι ικανοποιητική όταν είναι της τάξεως του 85-90%. Μεγαλύτερης τάξης ακρίβειες μπορούν να επιτευχθούν με πολύ υψηλότερο κόστος.

1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Δεδομένης της επιτακτικότητας των ημερών για σωστή μελέτη, γνώση και διαχείριση του περιβάλλοντος και με αφορμή το ερώτημα αν μπορεί να δημιουργηθεί ένα ιδανικό σύστημα ταξινόμησης με ένα πανάκειο κατάλογο κατηγοριών κάλυψης γης, αποφασίστηκε η ανάθεση και η διεκπεραίωση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης. Στόχος της διατριβής είναι η διαχρονική παρακολούθηση της κάλυψης γης του νομού Θεσσαλονίκης το χρονικό διάστημα 1977-2009, με τελικό σκοπό τη χαρτογράφησης της και τον εντοπισμό των μεταβολών που έλαβαν χώρα σε αυτό το χρονικό διάστημα.

Η διαχρονική παρακολούθηση βασίζεται στην επεξεργασία δορυφορικών εικόνων της περιοχής μελέτης με τεχνικές Τηλεπισκόπησης και G.I.S. Οι δορυφορικές εικόνες έχουν ημερομηνίες λήψης με ενδιάμεσα διαστήματα περίπου δέκα ετών. Από την επεξεργασία αυτή προκύπτουν θεματικοί χάρτες με την κάλυψη γης του νομού Θεσσαλονίκης, οι οποίοι συγκρίνονται μεταξύ τους σε ζεύγη και

παράγουν νέους θεματικούς χάρτες που απεικονίζουν τις μεταβολές ή μη στους διάφορους τύπους κάλυψης γης, κατά το χρονικό διάστημα των τεσσάρων δεκαετιών.

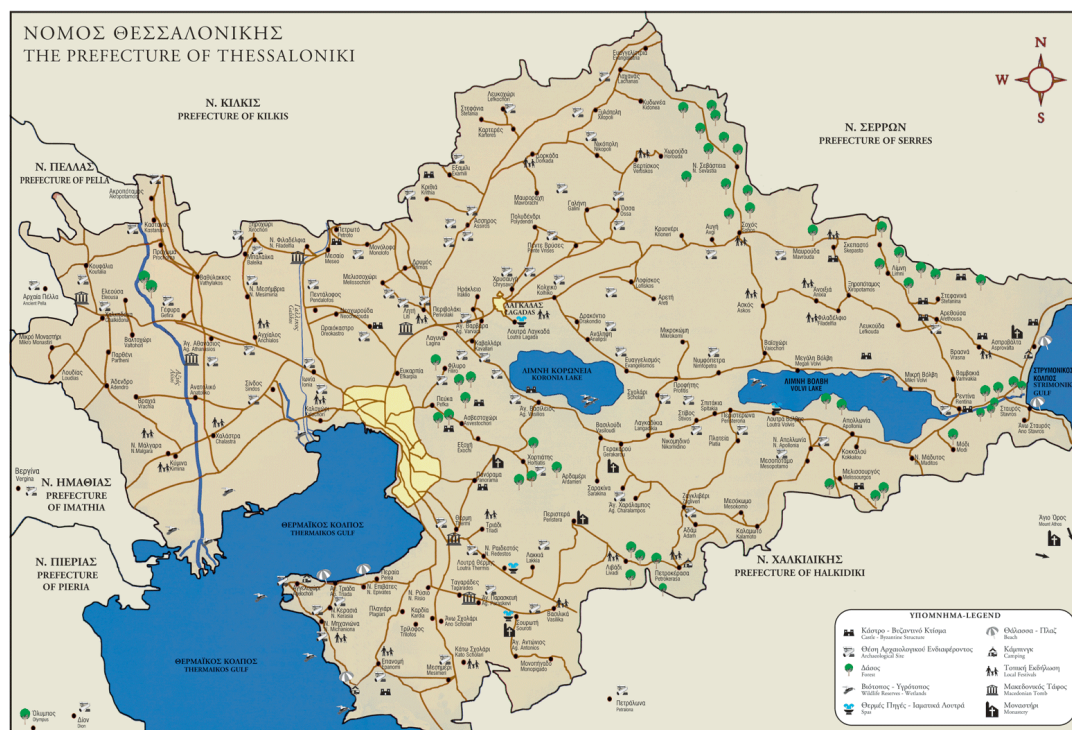
Από την παραπάνω μελέτη προκύπτουν συμπεράσματα για το είδος και το μέγεθος των μεταβολών που έλαβαν χώρα στην κάλυψη γης του νομού Θεσσαλονίκης καθώς και γενικότερα συμπεράσματα-προτάσεις για τις μεθόδους ταξινόμησης και εντοπισμού μεταβολών με τη χρήση τεχνικών Τηλεπισκόπησης και G.I.S.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο νομός Θεσσαλονίκης βρίσκεται στην Κεντρική Μακεδονία και είναι ο μεγαλύτερος νομός της Μακεδονίας και της Βόρειας Ελλάδας. Γεωγραφικά, περικλείεται μεταξύ των παραλλήλων 40° 20' και 41° 00' βόρειου γεωγραφικού πλάτους και μεταξύ των μεσημβρινών 22° 29' και 23° 45' ανατολικού γεωγραφικού μήκους, καταλαμβάνοντας έκταση **3.658 km²** περίπου. Πρωτεύουσα του νομού είναι η **Θεσσαλονίκη**, η οποία αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας. Διοικητικά ο νομός Θεσσαλονίκης ανήκει στην περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Επίσης, συνορεύει με τους εξής πέντε νομούς (Εικόνα 1):

- ❖ **Ημαθίας** στα νοτιοδυτικά
- ❖ **Πέλλας** στα δυτικά
- ❖ **Κιλκίς** στα βόρεια
- ❖ **Σερρών** στα ανατολικά και
- ❖ **Χαλκιδικής** στα νότια.



Εικόνα 1: Οι πέντε νομοί με τους οποίους συνορεύει ο νομός Θεσσαλονίκης (URL12).

Από την 1^η Ιανουαρίου 2011, ο νομός Θεσσαλονίκης διαιρείται σε **14 δήμους**. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) παρουσιάζονται αναλυτικά οι δήμοι με τις αντίστοιχες έδρες τους, οι δημοτικές ενότητες που τους αποτελούν καθώς και ο πληθυσμός του κάθε δήμου σύμφωνα με την απογραφή του 2011.

Πίνακας 1: Οι 14 δήμοι που αποτελούν το νομό Θεσσαλονίκης (URL8).

	ΔΗΜΟΣ	ΕΔΡΑ	ΔΗΜΟΤΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (κάτοικοι)
1	Αμπελοκήπων- Μενεμένης	Αμπελόκηποι	Αμπελόκηποι, Μενεμένη	55.869
2	Θεσσαλονίκης	Θεσσαλονίκη	Θεσσαλονίκη, Τριανδρία	375.246
3	Καλαμαριάς	Καλαμαριά	-	87.255
4	Κορδελιού- Εύοσμου	Εύοσμος	Ελευθέριο- Κορδελιό, Εύοσμος	74.254
5	Νεάπολης- Συκεών	Συκιές	Άγιος Παύλος, Νεάπολη, Πεύκα, Συκιές	86.417
6	Παύλου Μελά	Σταυρούπολη	Ευκαρπία, Πολίχνη, Σταυρούπολη	84.397
7	Πυλαίας- Χορτιάτη	Πανόραμα	Πανόραμα, Πυλαία, Χορτιάτης	50.162
8	Βόλβης	Σταυρός	Άγιος Γεώργιος, Απολλωνία, Αρεθούσα, Εγνατία, Μάδυτος, Ρεντίνα	26.079
9	Δέλτα	Σίνδος	Αξιός, Εχέδωρος, Χαλάστρα	40.451
10	Θερμαϊκού	Περαία	Επανομή, Θερμαϊκός, Μηχανιώνα	38.349
11	Θέρμης	Θέρμη	Βασιλικά, Θέρμη, Μίκρα	36.276
12	Λαγκαδά	Λαγκαδάς	Άσσηρος, Βερτίσκοι, Καλλίνδοια, Κορώνεια, Λαγκαδάς, Λαχανάς, Σοχός	42.622
13	Χαλκηδόνος	Κουφάλια	Άγιος Αθανάσιος, Κουφάλια, Χαλκηδόνα	10.206
14	Ωραιοκάστρου	Ωραιόκαστρο	Καλλιθέα, Μυγδονία, Ωραιόκαστρο	25.231

2.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ – ΦΥΣΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της γεωλογικής- γεωμορφολογικής ερμηνείας των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων είναι η αναγνώριση των επιφανειακών μορφών του αναγλύφου, ανεξάρτητα από το είδος των πετρωμάτων, της δομής και των γεωμορφολογικών διαδικασιών. Επειδή ακριβώς οι μορφές της επιφάνειας αποτελούν τα πλέον οφθαλμοφανή χαρακτηριστικά στις περισσότερες τηλεπισκοπικές εικόνες, η στοιχειώδης γνώση της γεωμορφολογικής ερμηνείας συνιστά απαραίτητη προϋπόθεση για πρακτικά οποιαδήποτε άλλη γεωγραφική ερμηνεία (Loeffler et al., 2005) (Από Μουρατίδη, 2010).

Σύμφωνα με τον Dikau (1989), το ανάγλυφο μπορεί να ταξινομηθεί σε τέσσερις κατηγορίες και να χαρακτηριστεί ανάλογα με τα υψόμετρα σε πεδινό, λοφώδες, ημιορεινό και ορεινό (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Ταξινόμηση του αναγλύφου σύμφωνα με το υψόμετρό του από την επιφάνεια της θάλασσας (Dikau, 1989) (Από Μουρατίδη, 2010).

<i>Υψόμετρο (m)</i>	<i>Χαρακτηρισμός</i>
< 150	Πεδινές περιοχές
150-600	Λοφώδεις περιοχές
600-900	Ημιορεινές περιοχές
>900	Ορεινές περιοχές

Σύμφωνα λοιπόν με την ταξινόμηση Dikau, ο νομός Θεσσαλονίκης περιλαμβάνει τις εξής περιοχές (Εικόνα 3):

A. Όρη ή κορυφογραμμές ορέων όπως:

- ❖ Το όρος **Χορτιάτης** (ή Κισσός, 1201 m). Βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα του νομού και έχει υψηλότερη κορυφή αυτή του Προφήτη Ηλία (738 m).
- ❖ Τα **όρη της Βόλβης** (661 m). Είναι χαμηλά και ξεχωρίζουν οι κορυφές Ασπρες Πέτρες (630 m), Ψηλή Ράχη (431 m) κ.ά.
- ❖ Το όρος **Κερδύλιο** (1092 m). Αποτελεί το φυσικό σύνορο του νομού με το νομό Σερρών.
- ❖ Το όρος **Βερτίσκο** (1103 m) στα βορειοανατολικά του νομού.

Β. Λοφώδεις περιοχές κυρίως στο νοτιοανατολικό και νοτιοδυτικό, όπως επίσης και στο κεντρικό τμήμα του νομού με υψόμετρο έως 300 m.

Γ. Πεδιάδες, είτε σχεδόν επίπεδες είτε κυματοειδούς μορφής μικρών κλίσεων (undulating plains). Οι επίπεδες πεδιάδες, 50 m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, είναι οι εξής:

- ❖ Η πεδιάδα της **Θεσσαλονίκης**, στο δυτικό τμήμα του νομού.
- ❖ Η μικρή πεδιάδα του **Λαγκαδά**, η οποία εκτείνεται μεταξύ των ορέων Χορτιάτη και Κερδυλίου.
- ❖ Το **δέλτα και η μαιανδρική ζώνη του ποταμού Αξιού**.

Οι πεδιάδες κυματοειδούς μορφής μικρών κλίσεων, υψομέτρου 50-150 m, συναντώνται κυρίως στην περιοχή όπου ρέουν οι ποταμοί Αξιός και Γαλλικός.

Δ. Τεκτονικές κοιλάδες πληρωμένες με ιζήματα, οι οποίες ποικίλουν σε υψόμετρο (εύρος αναγλύφου 50-150 m), όπως η κοιλάδα της **Μυγδονίας**, του **Ζαγκλιβερίου**, των **Βρωμολιμνών** και του **Ανθεμούνα**.

Οι κυριότεροι ποταμοί του νομού Θεσσαλονίκης διαρρέουν το δυτικό τμήμα του νομού, εκβάλλοντας στο Θερμαϊκό κόλπο (Εικόνα 2) και είναι οι εξής:

- ❖ Ο **Αξιός ποταμός** (ή Βαρδάρης), ο οποίος ρέει με νότια κατεύθυνση προς τη θάλασσα, ενώ οι παραπόταμοί του στη Μακεδονία αποστραγγίζουν τους λόφους του κεντρικού και βόρειου τμήματος της περιοχής μελέτης. Έχει μήκος 83 km, αποτελεί τον κύριο ποταμό του νομού και στις εκβολές του σχηματίζει μεγάλη προσχωματική βαλτώδη περιοχή. Στην περιοχή αυτή ξεδιπλώνεται παραποτάμια βλάστηση από ιτιές, λεύκες και θάμνους όπου το χειμώνα βρίσκουν καταφύγιο πολλά είδη πτηνών, πάπιες, κύκνοι και κορμοράνοι.
- ❖ Ο **Γαλλικός ποταμός** (ή Εχέδωρος), ρέοντας προς νότο παράλληλα με τον Αξιό ποταμό, αποστραγγίζει τις βόρειες λοφώδεις περιοχές και τη δυτική πλευρά του όρους Βερτίσκου. Έχει μήκος 73 km και διέρχεται από τα στενά του Νάρες.
- ❖ Ο **ποταμός Λουδίας**, έχει μήκος 35 km και καθορίζει τα σύνορα του νομού με το νομό Πέλλας.

Τα δυτικά τμήματα του όρους Βερτίσκου και των Κερδυλίων ορέων, όπως επίσης και των ορέων της Βόλβης, αποστραγγίζονται από μικρότερους παραποτάμους, οι

οποίοι ρέουν είτε απευθείας στην τεκτονική κοιλάδα που έχει πληρωθεί με ιζήματα της Μυγδονίας (λίμνες Κορώνεια και Βόλβη), είτε στην τεκτονική κοιλάδα των Βρωμολιμνών και μετά στην κοιλάδα της Μυγδονίας μέσω ενός τεχνητού καναλιού (αυλάκι). Η Μυγδονία λεκάνη επικοινωνεί με τον κόλπο του Ορφανού (Στρυμονικός) μέσω του φυσικού καναλιού της Ρεντίνας (Astaras and Silles, 1984).

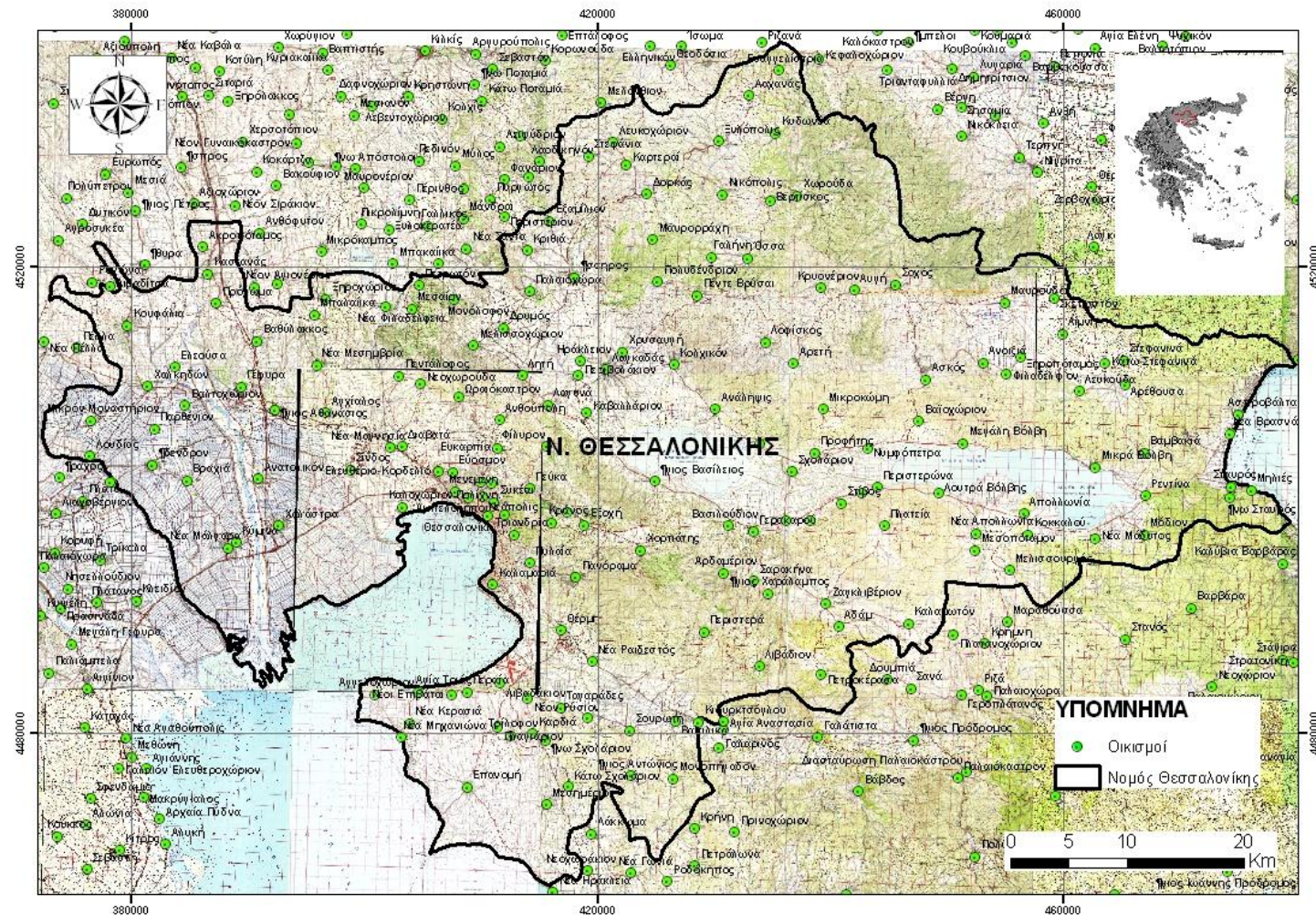


Εικόνα 2: Τα ποτάμια και οι λίμνες του νομού Θεσσαλονίκης (URL12).

Οι κυριότερες λίμνες του νομού (Εικόνα 2) είναι οι εξής:

- ❖ Η λίμνη **Κορώνεια** (ή λίμνη Λαγκαδά) στο κεντρικό-βόρειο τμήμα του νομού.
- ❖ Η λίμνη **Βόλβη**, η οποία βρίσκεται λίγο ανατολικότερα της Κορώνειας.

Βορειότερα από αυτές τις λίμνες υπήρχαν οι αποξηραμένες τώρα, Μαυρούδας και Λάντζας.



Εικόνα 3: Τοπογραφικός χάρτης νομού Θεσσαλονίκης και περιχώρων (σύνθεση φύλλων χάρτη κλίμακας 1:50.000 της Γ.Υ.Σ.).

Η σημερινή γεωμορφολογία του χώρου διαμορφώθηκε πριν από 1,8 εκατομμύρια έτη (κατώτερο Πλειστόκαινο), όταν ρήγματα στην προμυθονική λεκάνη προκάλεσαν τη βύθισή της. Κατά αυτόν τον τρόπο διακόπηκε η επικοινωνία της με τη θάλασσα και δημιουργήθηκε μια μεγάλη λίμνη, η οποία δε διατηρήθηκε για πολύ. Διαβρωτικές και τεκτονικές διεργασίες στην κοιλάδα της Ρεντίνας, διοχέτευσαν τα νερά της στο Στρυμονικό κόλπο. Όσος υδάτινος όγκος παρέμεινε, περιορίστηκε στα βαθύτερα σημεία της λεκάνης σχηματίζοντας τις δύο μικρότερες λίμνες που υπάρχουν σήμερα (URL10).

Η λίμνη Κορώνεια (ή λίμνη Λαγκαδά) βρίσκεται στην αστική περιοχή του Λαγκαδά, περίπου 15 km βορειοανατολικά από τη Θεσσαλονίκη. Από τη βόρεια πλευρά της περνάει η Εγνατία οδός. Ονομάζεται επίσης και λίμνη Αγίου Βασιλείου από το ομώνυμο χωριό. Αποτελεί μέρος της Ζώνης Ειδικής Προστασίας «Λίμνες Βόλβη και Λαγκαδά και Στενά Ρεντίνας» και προτάθηκε ως Περιοχή Κοινοτικού Ενδιαφέροντος. Αποτελεί επίσης περιοχή της Σύμβασης Ramsar. Την τελευταία δεκαπενταετία παρατηρήθηκε δραματική ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση της λίμνης.

Η υπολεκάνη της Βόλβης με την ομώνυμη λίμνη (Εικόνα 4) αποτελεί το ανατολικό τμήμα της Μυθονίας λεκάνης. Η λίμνη Βόλβη βρίσκεται 11,5 km ανατολικά της λίμνης Κορώνειας και 38 m χαμηλότερα από αυτή. Η Βόλβη είναι η δεύτερη μεγαλύτερη λίμνη της Ελλάδας με έκταση 65.000 στρέμματα και μέγιστο βάθος 18-20 m.

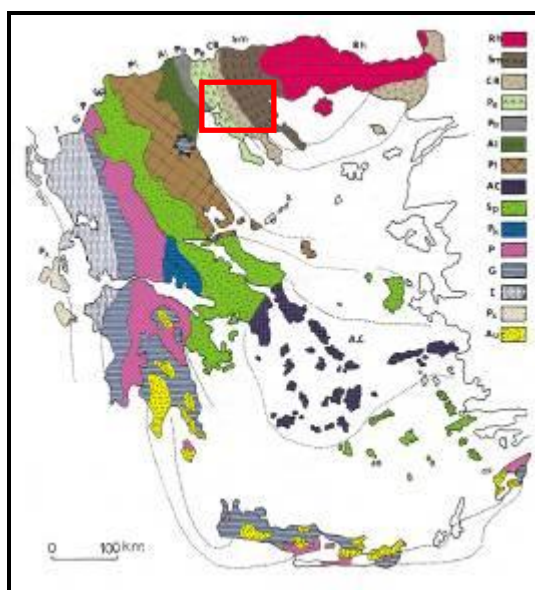


Εικόνα 4: Άποψη της λίμνης Βόλβης από τη βορειοανατολική πλευρά της (URL15).

Αναλυτικές πληροφορίες για τις λίμνες Κορώνεια και Βόλβη υπάρχουν στο παράρτημα Α.

2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Από γεωτεκτονική άποψη, η περιοχή μελέτης τοποθετείται μεταξύ της ελληνικής ενδοχώρας και των εσωτερικών ελληνίδων ζωνών (Εικόνα 5). Ειδικότερα συναντώνται οι εξής τρεις από τις γεωτεκτονικές ζώνες του Ελληνικού χώρου: (1) Η **Σερβομακεδονική μάζα** στο ανατολικό τμήμα, (2) η **Περιοδοπική ζώνη** στο κεντρικό και (3) η **ζώνη Αξιού (Παιονίας-Πάικου-Αλμωπίας)** στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Μουντράκης, 1985).



Εικόνα 5: Θέση της περιοχής μελέτης (κόκκινο πλαίσιο) στο γεωτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας (URL17).

Η γεωλογία των πετρωμάτων της περιοχής μελέτης, όπως φαίνεται και από το γεωλογικό χάρτη, είναι ιδιαίτερα σύνθετη. Σύμφωνα με τους Astaras and Silleos (1984), στο δυτικό τμήμα του νομού, κατά μήκος των ποταμών Αξιού και Γαλλικού, οι απομονωμένοι λόφοι μέσα στις ευρείες πεδιάδες κυματοειδούς μορφής μικρών κλίσεων αποτελούνται από μεσοζωικούς ασβεστόλιθους και Μειοκαινικές–Πλειστοκαινικές λιμναίες και θαλάσσιες αποθέσεις.

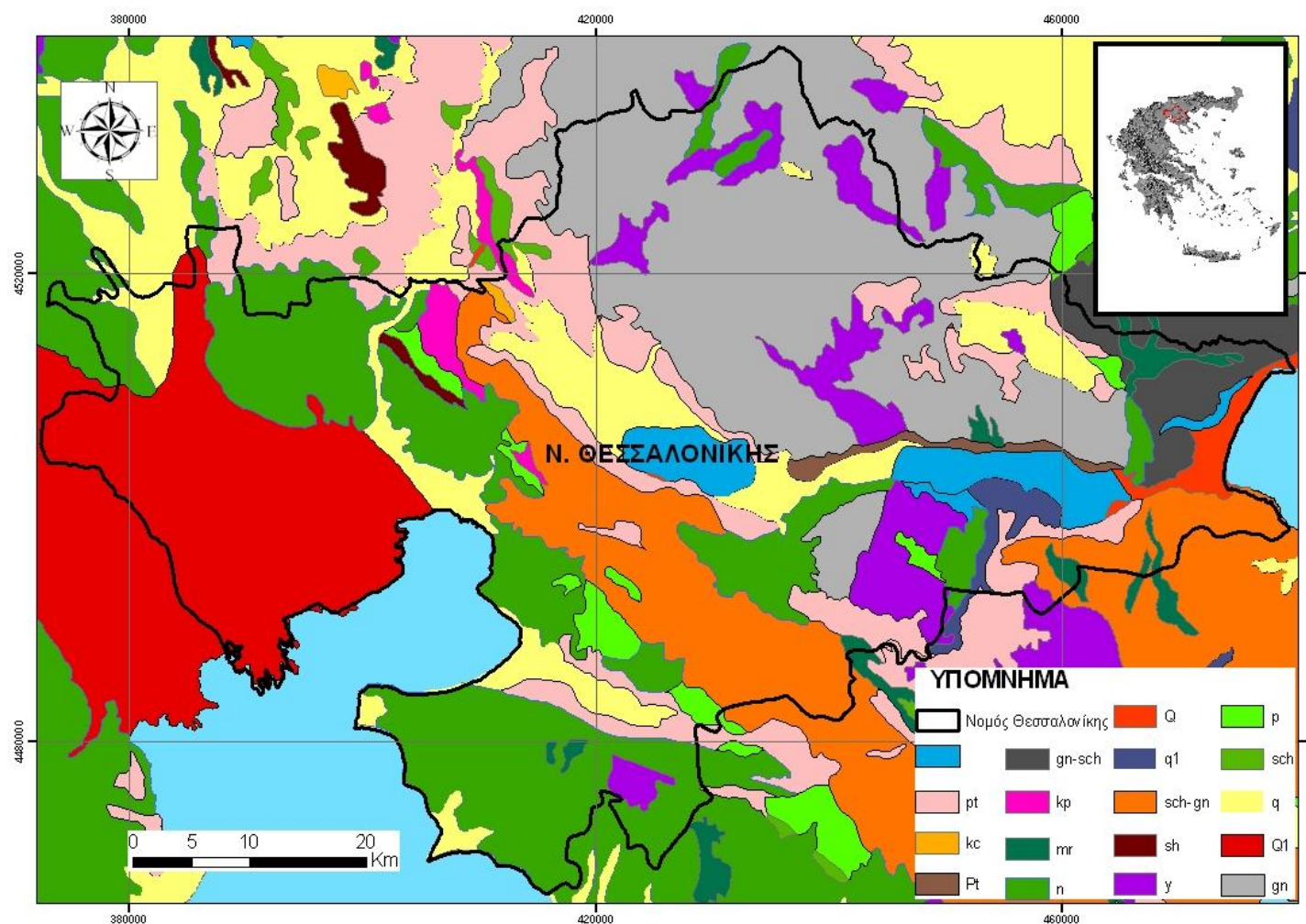
Στο βορειοδυτικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, στις ορεινές περιοχές του όρους Βερτίσκου, των ορέων της Βόλβης και των Κερδυλίων υπόκεινται ανθρακούχοι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, μαρμαρυγικοί γνεύσιοι και αμφιβολίτες. Εν μέρει Μεσοζωικά πυριγενή πετρώματα (γρανίτες, γρανοδιορίτες) έχουν ενστρώσεις από τα προηγούμενα μεταμορφωμένα πετρώματα.

Στο νοτιοανατολικό τμήμα του νομού, οι κορυφογραμμές του όρους Χορτιάτη και οι λόφοι που τις περιβάλλουν, αποτελούνται από Μεσοζωικά βασικά και υπερβασικά πετρώματα οφειολιθικών σειρών (π.χ. γάββροι, περιδοτίτες, πυρόξενοι), επιγνεύσσιοι και φυλλίτες. Βόρεια και βορειοδυτικά του όρους Χορτιάτη, το υπόβαθρο των γύρω βουνών και λόφων αποτελείται κυρίως από φυλλίτες, οι οποίοι μεταβαίνουν σε ιζήματα φλύσχη, ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους και ψαμμίτες του Μεσοζωικού.

Οι τεμαχισμένες λοφώδεις περιοχές κατά μήκος των δυτικών και ανατολικών παραλιών του Θερμαϊκού κόλπου αποτελούνται κυρίως από Μειοκαινικές–Πλειστοκαινικές λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις κυρίως ψαμμιτικές και μαργαϊκές. Η ευρεία πεδιάδα της Θεσσαλονίκης αποτελείται από νέα ιζήματα, τα αλλούβια Ολόκαινου.

Τέλος, οι τεκτονικές κοιλάδες της Μυγδονίας, των Βρωμολιμνών και του Ανθεμούντα έχουν πληρωθεί με Ολοκαινικές αποθέσεις, ενώ η κοιλάδα του Ζαγκλιβερίου καλύπτεται κυρίως από Μειοκαινικές και Πλειστοκαινικές αποθέσεις, που στην πλειοψηφία τους είναι ψαμμιτικές (Ψιλοβίκος, 1977).

Ακολουθεί ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης και η επεξήγηση των συμβολισμών του υπομνήματος (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Γεωλογικός χάρτης νομού Θεσσαλονίκης και περιχώρων (ΙΓΜΕ 1983).

Πίνακας 3: Επεξήγηση συμβολισμών υπομνήματος γεωλογικού χάρτη νομού Θεσσαλονίκης και περιχώρων (IGME 1983).

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
pt	Μειοπλειόκαινο (Ανώτ. Μειόκαινο- Πλειόκαινο). Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις: κροκαλοπαγή, άμμοι, μάργες, κοκκινοχώματα, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, άργιλοι. Ενίοτε λιγνίτες. Θαλάσσιες αποθέσεις: τα παραπάνω κλαστικά ιζήματα και ενίοτε στρώματα γύψου. Συνήθως απουσιάζουν τα κοκκινοχώματα. Περιλαμβάνονται και αποθέσεις υφάλμυρης φάσεως.
gn-sch	Αμφιβολίτες και γενεύσιοι.
Q ή Q₁ ή q₁	Ολόκαινο (Αλλούβιο). Σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων και παράκτιες αποθέσεις.
Pt	Πλειστόκαινο. Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις: άργιλοι, πηλοί, άμμοι, κροκαλοπαγή, κοκκινοχώματα κ.λπ.
Kc	Κενομάνιο- Μαιστρίχτιο. Ασβεστόλιθοι (βιομικρουδίτες, βιοσπαρουδίτες, βιομικρίτες).
q	Τεταρτογενές (αδιαίρετο). Θαλάσσιοι ή χερσαίοι σχηματισμοί μη διαχωριζόμενοι.
p	Πλειόκαινο. Λιμναίες αποθέσεις: κροκαλοπαγή, άμμοι, άργιλοι, μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και συχνά στρώματα λιγνίτη.
Kp	Κρυπτοφλύσχης.
sh	Ιουρασικό. Σχιστοκερατολιθική διάπλαση: κερατόλιθοι, ψαμμίτες, πηλίτες με φακούς λευκών ασβεστολίθων και εγκλωβισμένα οφειολιθικά σώματα.
gn	Γενεύσιοι γενικώς. Παλαιοζωικοί ή και παλαιότεροι.
sch	Σχιστόλιθοι χλωριτικοί, μαρμαρυγιακοί, χαλαζιακοί συχνά με ενστρώσεις μαρμάρων.
mr	Μάρμαρα ή κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι.
n	Ασβεστόλιθοι, γραουβάκες, σχιστόλιθοι, πρασινίτες, ηφαιστίτες.
y	Γρανίτες, γρανοδιορίτες, μονζονίτες.
sch-gn	Σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, μάρμαρα ή χαλαζίτες, φυλλίτες, διαβάσες, ασβεστόλιθοι.

2.4 ΒΛΑΣΤΗΣΗ, ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΕΔΑΦΗ

2.4.1 Βλάστηση και χρήσεις γης

Η περιοχή μελέτης καλύπτεται τόσο από φυσική βλάστηση όσο και από καλλιέργειες.

Οι καλλιεργημένες περιοχές χωρίζονται σε αυτές που ποτίζονται από τη βροχή και στις αρδευόμενες από τον άνθρωπο. Οι βρόχινες σοδειές (δημητριακά, αμύγδαλα, ελιές) συγκεντρώνονται στις λιγότερο τεμαχισμένες λοφώδεις περιοχές και στις πεδιάδες κυματοειδούς μορφής με μεγαλύτερες κλίσεις. Οι αρδευόμενες σοδειές όπως το βαμβάκι, ο καπνός, το καλαμπόκι, τα ζαχαρότευτλα, τα λαχανικά και τα οπωροφόρα δέντρα αναπτύσσονται στην επίπεδη πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, στα κατώτατα σημεία των τεκτονικών κοιλάδων που πληρώθηκαν με ιζήματα (Μυγδονίας και Ανθεμούντα) και κατά μήκος των γόνιμων αλλουβιακών εδαφών των ποταμών, όπου είναι διαθέσιμες πηγές νερού για άρδευση.

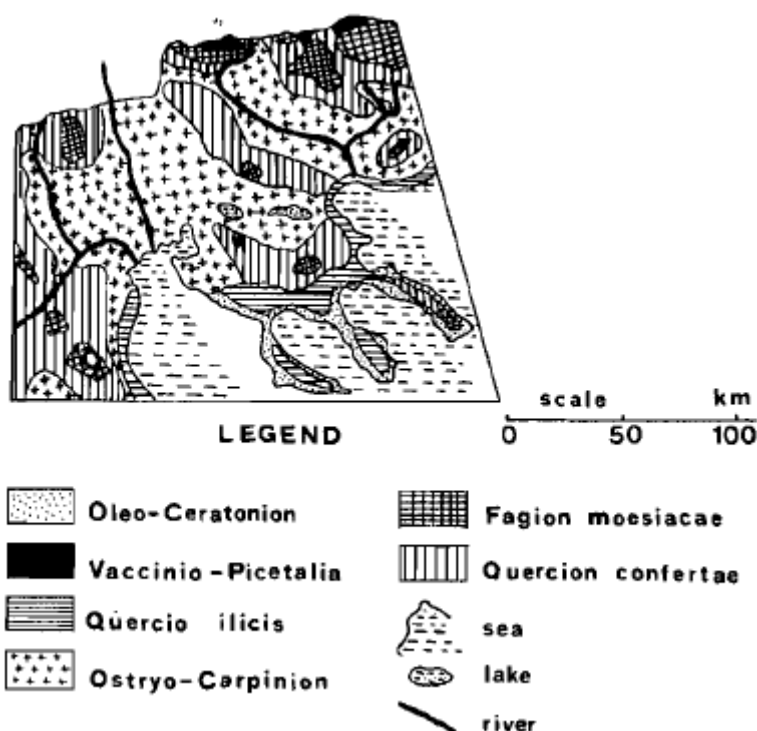
Η φυσική βλάστηση ανήκει (Εικόνα 7):

- I. Στην **παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης “Quercetalia pubescentis”**, η οποία περιλαμβάνει τις δύο υποζώνες Ostryo-Carpinion και Quercion-Confertae.

Η ζώνη αυτή είναι λοφώδης, υποορεινή και αρχίζει από υψόμετρο 250 m φτάνοντας μέχρι τα 1100 m. Τα κυριότερα είδη που εμφανίζονται σε αυτή είναι η πλατύφυλλη δρυς (*Quercus conferta*) και η καστανιά (*Castanea sativa*).

- II. Στην **ορεινή υποαλπική ζώνη βλάστησης “Fagetalia”** ή ισοδύναμα ζώνη δασών οξιάς-ελάτης και ορεινών παραμεσόγειων κωνοφόρων με την κυρίαρχη χαρακτηριστική υποζώνη “Fagion moesiacaе” (Astaras and Silleos, 1984).

Στα υψηλότερα ακαλλιέργητα τμήματα των λόφων και τα κατώτερα τμήματα των ορέων, όπως επίσης στους απομονωμένους λόφους των πεδινών περιοχών λοφοειδούς μορφής, εμφανίζεται η υποζώνη “**Ostryo-Carpinion**”. Η υποζώνη αυτή περιλαμβάνει τις πλέον επικρατούσες υποζώνες της Coccifero-Carpinetum και Carpinetum-Orientalis.



Εικόνα 7: Φυτο-κοινωνιολογικός χάρτης του νομού Θεσσαλονίκης και των περιχώρων (Ντάφης, 1973).

Η υποζώνη **Coccifero-Carpinetum** καταλαμβάνει σημαντική έκταση στη βόρεια Ελλάδα. Η σημερινή μεγάλη έκταση των κοκκοφόρων δρυών (*Q. Coccifera*) ή πρίνων ή πουρναριών, πρέπει να αποδοθεί στις ανθρωπογενείς επιδράσεις και στη μεγάλη αντοχή του πρίνου στη βοσκή, στις πυρκαγιές και σε άλλες καταστροφικές επεμβάσεις. Στην υποζώνη **Coccifero-Carpinetum** συνήθως κυριαρχεί η χαρακτηριστική φυσιογνωμία του *Pseudomaqui* (το επικρατέστερο χαρακτηριστικό του Μεσογειακού οικοσυστήματος), καθώς και τα δάση χνοώδους και πλατύφυλλης δρυός (*Q. Pubescentis* and *Conferta*). Η υποζώνη **Carpinetum-Orientalis** εμφανίζεται κυρίως στην κοιλάδα του ποταμού Αξιού. Αποτελείται κυρίως από κοκκοφόρους δρύες (*Q. Coccifera*) και γαύρο ανατολικό (*carpinus betulus*).

Η υποζώνη **Quercion- Confertae** ή υποζώνη ξηρόφιλων φυλλοβόλων δασών χαρακτηρίζεται ως λοφώδης, υποορεινή, ορεινή και καταλαμβάνει σημαντική έκταση, η οποία μειώνεται από βορρά προς νότο. Το 1/3 των ελληνικών δασών ανήκει στην εν λόγω υποζώνη.

Η ζώνη **“Fagetalia”** αποτελεί στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα τη ζώνη των δασών της υβριδογενούς ελάτης, των μικτών δασών ελάτης-οξιάς και των δασών οξιάς, τα οποία εκτείνονται μέχρι των ανθρωπογενών δασοορίων (1800-1900 m). Η

ζώνη αυτή υποδιαιρείται οικολογικά, φυσιογνωμικά και χλωριστικά σε δύο σαφείς υποζώνες: την υποζώνη “*Abietion cephalonicae*” και την υποζώνη “*Fagion moesiaca*”. Η πρώτη υποζώνη καταλαμβάνει τις ορεινές περιοχές της Στερεάς Ελλάδας και της Πελοποννήσου, η δε δεύτερη τις ορεινές περιοχές της κεντρικής και βόρειας Ελλάδας. Η υποζώνη “*F. moesiaca*” καλύπτει τα υψηλότερα τμήματα του όρους Χορτιάτη, του όρους Βερτίσκου και των Κερδυλίων ορών. Αποτελείται από δάση οξιάς και εμφανίζεται σχεδόν αποκλειστικά επί πυριτικών πετρωμάτων. Στα κατώτατα τμήματα των ορέων εμφανίζεται η υποζώνη *Quercion confertae*.

Μια ιδιαίτερη θέση καταλαμβάνουν τα δάση της μαύρης πεύκης, τα οποία εμφανίζονται ως επί το πλείστον σε αυτό το γεωγραφικό χώρο εξαπλώσεως της οξιάς και της ελάτης, εμφανίζονται όμως και στο χώρο της *Quercetalia pubescentis*. Οι φυτοκοινωνίες της μαύρης πεύκης εμφανίζονται να είναι εδαφικά εξαρτώμενες. Στη βόρεια Ελλάδα εμφανίζονται κυρίως επί σερπεντίνη και ασβεστόλιθου. Ίσως θα ήταν σκόπιμη η διάκριση μιας χωριστής τάξεως *Pinetalia nigrae* (Ντάφης, 1973).

2.4.2 Εδάφη

Σύμφωνα με τους Astaras and Silleos (1984), τα εδάφη της περιοχής έχουν επηρεαστεί ισχυρά από εδαφογενετικούς παράγοντες όπως το μητρικό υλικό, το κλίμα, τη διάβρωση και τις διαδικασίες ιζηματογένεσης. Η ύπαρξη βροχοπτώσεων, κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα, συσχετιζόμενη με τα άγονα βουνά και τις πλαγιές των λόφων, επηρεάζουν θετικά τη διάβρωση του εδάφους.

Τα εδάφη στο όρος Κερδύλιον, στα χαμηλότερα τμήματα του όρους Βερτίσκος χαρακτηρίζονται από πηλώδη άμμος έως άμμος, όσον αφορά στην υφή τους (texture), από όξινα έως πολύ όξινα, μέτρια έως φτωχά σε βάσεις ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου. Τα εδάφη στις χαμηλότερες και επίπεδες περιοχές είναι κυρίως ποτάμιες αποθέσεις αλλουβιακής, λιμναίας ή θαλάσσιας καταγωγής. Τα εδάφη αυτά είναι γόνιμα, με ουδέτερη αντίδραση παρουσία ανθρακικού ασβεστίου, ενώ κοντά στη θάλασσα τα εδάφη είναι ακόμη αλατώδη και νατριούχα.

2.5 ΚΛΙΜΑ

Σύμφωνα με τον Μαριολόπουλο (1938), η Κεντρική Μακεδονία κατατάσσεται στην περιοχή της βορείου Ελλάδος (ηπειρωτική) όπου το κλίμα αρχίζει και απομακρύνεται από το μεσογειακό τύπο και μπορεί να χαρακτηριστεί ως ενδιάμεσο ή μεταβατικό μεταξύ αυτού και του μεσοευρωπαϊκού, με χαρακτηριστικά που φανερώνουν ηπειρωτική τραχύτητα (Ασάρας, 1980).

Σύμφωνα με τον Μπαλαφούτη (1977), η κατανομή της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης κατατάσσουν το κλίμα της ευρύτερης περιοχής μελέτης στον κλιματικό τύπο Csa κατά Koeppe (Critchfield, 1974), δηλαδή μεσογειακό κλίμα με ήπιους χειμώνες και ξηρό θερμό καλοκαίρι, εκτός από μερικές απομακρυσμένες από τις ακτές ορεινές περιοχές τις οποίες κατατάσσει στο Cfa κλιματικό τύπο (μεταβατικός τύπος μεταξύ του μεσογειακού και ηπειρωτικού κλίματος).

Η μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά τον ψυχρότερο μήνα είναι μεγαλύτερη των 0° C, ενώ η θερμοκρασία του θερμότερου μήνα είναι πάντα μεγαλύτερη των 10° C. Η βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα δεν υπερβαίνει τα 40 mm, ενώ ο βροχερότερος μήνας έχει τουλάχιστον τριπλάσια βροχόπτωση από τον ξηρότερο (Μουρατίδης, 2010).

2.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Ο νομός Θεσσαλονίκης είναι η δεύτερη περισσότερο αναπτυγμένη βιομηχανικά και γενικότερα οικονομικά περιοχή της Ελλάδας, μετά την περιφέρεια της πρωτεύουσας. Η γεωγραφική θέση του νομού ευνόησε τη δημιουργία ενός από τα μεγαλύτερα λιμάνια της νοτιοανατολικής Ευρώπης και συγχρόνως ένα σημαντικό συγκοινωνιακό και εμπορικό κέντρο, την πόλη της Θεσσαλονίκης. Η Θεσσαλονίκη είναι το μεγαλύτερο αστικό κέντρο της χώρας μετά την πρωτεύουσα. Χάρη στη συγκέντρωση εργατικού δυναμικού αλλά και στη μεγάλη ζήτηση αγαθών δημιουργήθηκαν στην περιοχή αξιόλογες βιομηχανικές μονάδες και αρκετά αποδοτικές αγροτικές καλλιέργειες, αξιοποιώντας έτσι τις δυνατότητες της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης.

Το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού του νομού κατοικεί στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στο νομό Θεσσαλονίκης εμφανίζεται το μικρότερο ποσοστό, μετά την περιφέρεια της

πρωτεύουσας, αυτών που ασχολούνται με τη γεωργία. Το ένα τέταρτο του οικονομικά ενεργού πληθυσμού απασχολείται στη βιομηχανία και στη βιοτεχνία, ενώ σημαντική είναι και η απασχόληση στο εμπόριο, στις οικοδομικές εργασίες, στις μεταφορές κ.λπ. Σύμφωνα με προπολεμικές και μεταπολεμικές εκτιμήσεις, το βιομηχανικό δυναμικό της Θεσσαλονίκης αντιπροσώπευε περίπου το 1/6 της ελληνικής βιομηχανίας. Ωστόσο, από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, αναπτύχθηκε απότομα, με τη δημιουργία διυλιστηρίου πετρελαίου, πετροχημικών και χημικών βιομηχανιών, σιδηροβιομηχανιών, βιομηχανιών ελαστικού, λιπασμάτων, χάρτου, τσιμέντου, τροφίμων κ.λπ. Είναι χαρακτηριστικό ότι η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος στο νομό παρουσίασε αύξηση κατά 7,4 φορές.

Για την ικανοποίηση των αναγκών του μεγάλου αστικού κέντρου γίνεται συνεχώς εντατικότερη η αγροτική εκμετάλλευση της περιοχής. Σημαντική στροφή παρατηρείται από το 1970, στην παραγωγή λαχανικών τόσο για επιτόπια κατανάλωση για εφοδιασμό βιομηχανιών όσο και για εξαγωγές. Κυρίαρχη θέση κατέχουν τα δημητριακά, τα βιομηχανικά φυτά, τα όσπρια και οι δεντροκαλλιέργειες. Επίσης, σημαντική είναι και η ανάπτυξη κτηνοτροφίας και πτηνοτροφίας, με υψηλό ποσοστό αναλογίας βελτιωμένων και ξενικής προέλευσης ζώων (αγελάδες). Τα χαμηλά βουνά και ο εύφορος κάμπος είναι σπουδαίοι βοσκότοποι για μικρά και μεγάλα ζώα. Τέλος, σημαντικό οικονομικό παράγοντα αποτελεί και η αλιεία στο Θερμαϊκό κόλπο και στη λίμνη Βόλβη (URL13).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επεξεργασία των τηλεπισκοπικών δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η διαδικασία κατά την οποία γίνονται διάφορες εργασίες στην εικόνα με σκοπό την εξαγωγή, κατά το δυνατόν, περισσότερης ποιοτικής και ποσοτικής πληροφορίας. Συγκεκριμένα, η ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων απαιτεί ένα σύστημα που να παρέχει ένα σύνολο συναρτήσεων για την επεξεργασία, τη διαχείριση, την αποθήκευση και την εμφάνιση των εικόνων σε μια οθόνη καθώς και τη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ του αναλυτή και του συστήματος.

Σκοπός της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων είναι ο περιορισμός της ραδιομετρικής υποβάθμισης, τη γεωμετρικής παραμόρφωσης και του θορύβου που υπεισέρχεται κατά τη μεταβίβαση των δορυφορικών εικόνων στους επίγειους σταθμούς λήψης. Τα σφάλματα αυτά περιορίζουν σημαντικά την αναγνώριση των διαφόρων χαρακτηριστικών πάνω στις εικόνες, με αποτέλεσμα τον περιορισμό του πλήθους και της ποιότητας των εξαγόμενων πληροφοριών.

Η ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων έχει μεγάλη χρήση στην παραγωγή ψηφιακών θεματικών χαρτών σχετικών με θέματα του γήινου περιβάλλοντος, στην ενημέρωση των ήδη υπαρχόντων χαρτών λόγω της περιοδικότητας των εικόνων, καθώς και στο σχεδιασμό ή παρακολούθηση φυσικών ή τεχνητών φαινομένων, όπως για παράδειγμα πλημμυρισμένων και καμένων δασικών περιοχών. Το είδος του θέματος και η κλίμακα του χάρτη που αποκτώνται μετά την ψηφιακή επεξεργασία δορυφορικών εικόνων, εξαρτώνται από τη διακριτική ικανότητα του συστήματος απόκτησης των χρησιμοποιούμενων δεδομένων. Με τη συνεχή εξέλιξη και βελτίωση των συστημάτων απεικόνισης αυξάνεται το ποσό, η ποιότητα και η διακριτικότητα της περιεχόμενης πληροφορίας, και συνεπώς η δυνατότητα εξαγωγής μεγαλύτερης λεπτομέρειας (Τσακίρη, 2004).

3.2 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ LANDSAT

Οι σημαντικότεροι δορυφόροι, οι δέκτες των οποίων δίνουν απεικονίσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα για τη χαρτογράφηση των ποιοτικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας, είναι οι δορυφόροι Landsat. Οι δορυφορικές εικόνες Landsat παρέχουν μια σχεδόν ορθογραφική προβολή της επιφάνειας της γης και επομένως ικανοποιητική ακρίβεια για χαρτογράφηση σε κλίμακα 1: 50.000 και μικρότερη (Astaras and Silleos, 1984).

Συγκεκριμένα, οι πολυφασματικές απεικονίσεις από τον δέκτη MSS, χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την χαρτογράφηση υδάτινων επιφανειών, την οριοθέτηση εδαφικών τύπων, την αναγνώριση καλλιεργειών και τη μελέτη των καλύψεων γης. Οι απεικονίσεις του δέκτη TM (Thematic Mapper) παρέχουν τη δυνατότητα διάκρισης του εδάφους από τη βλάστηση και χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση τεχνητών επιφανειών, την αναγνώριση γεωλογικών μορφών, την χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών κ.λπ. (Πασιάκου, 2009).

Τα δεδομένα (εικόνες) Landsat βέβαια δεν είναι πανάκεια, δηλαδή δε λύνουν όλα τα προβλήματα των γεωεπιστημόνων. Απλώς είναι πρόσθετα και πολύ δυναμικά εργαλεία, τα οποία προκειμένου να δώσουν αποτελεσματικές λύσεις στα προβλήματα πρέπει να συνδυάζονται με επίγειες παρατηρήσεις, αεροφωτογραφίες και εικόνες αερομεταφερόμενων σαρωτών (Αστάρας, 2010). Αναλυτικές πληροφορίες για τους δορυφόρους Landsat 1-3 καθώς και τους Landsat 4 και 5 υπάρχουν στο παράρτημα Β.

3.3 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

Σε μια μελέτη εντοπισμού μεταβολών στην κάλυψη γης πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην επιλογή δορυφορικών εικόνων με κατάλληλες ημερομηνίες λήψης. Με την προϋπόθεση ότι το σύστημα απεικόνισης καταγράφει μια εικόνα της ίδιας περιοχής σε κανονικά διαστήματα και την ίδια ώρα της ημέρας, συχνά επιλέγονται ημερομηνίες επετείων. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιούνται οι διαφορές στην ανάκλαση λόγω εποχιακών μεταβολών στη βλάστηση, οι διαφορές στην υγρασία εδάφους ή οι διαφορές λόγω γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας ή ισοδύναμα ύψους του ήλιου (sun elevation).

Αναλυτικότερα, η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζει αφενός το ποσοστό φωτισμού, το οποίο ανακλάται ή εκπέμπεται από το δέκτη και

αφετέρου την ποιότητα του φάσματος. Όσο η έκταση και η γωνία του φωτισμού αλλάζει, τόσο η αντίθεση (το κοντράστ) μεταξύ του αντικειμένου και του φόντου (περιβάλλοντος) μεταβάλλεται. Επιπλέον, στις μικρές γωνίες του ήλιου (χαμηλό το ύψος του ήλιου), οι σκιές των (ομοιόμορφων) αντικειμένων τονίζονται έτσι ώστε να αυξάνεται η ικανότητα διάκρισης (εντοπισμού) των ορίων μεταξύ των αντικειμένων (Αστάρας, 2010).

Επίσης υπάρχουν βέλτιστες ημερομηνίες του έτους για εντοπισμό μεταβολών σε μια συγκεκριμένη περιοχή και συγκεκριμένη εφαρμογή. Για παράδειγμα, σε μελέτες κάλυψης γης είναι σημαντικό τα δεδομένα να έχουν αποκτηθεί κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Αυτό είναι λογικό διότι το καλοκαίρι η ανάκλαση της φυσικής βλάστησης βρίσκεται στο μέγιστο, η υγρασία του εδάφους είναι σχετικά περιορισμένη και οι κλιματικές συνθήκες είναι κατάλληλες, ώστε οι δορυφορικές εικόνες να είναι καθαρότερες και χωρίς σύννεφα.

Για τη διαχρονική παρακολούθηση των αλλαγών στην κάλυψη γης του νομού Θεσσαλονίκης, επιλέχθηκαν με κριτήριο την ημερομηνία απόκτησής τους οι εξής δορυφορικές εικόνες:

-  **Landsat 2/ MSS** με ημερομηνία λήψης **22 Αυγούστου 1977**
-  **Landsat 5/ TM** με ημερομηνία λήψης **19 Ιουλίου 1987**
-  **Landsat 5/ TM** με ημερομηνία λήψης **22 Νοεμβρίου 2004**
-  **Landsat 5/ TM** με ημερομηνία λήψης **15 Ιουλίου 2009.**

Υπήρξε η δυνατότητα να επιλεγούν οι τρεις νεότερες εικόνες να είναι ίδιου τύπου ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ταύτιση στα δεδομένα. Επιπλέον, σημειώνεται ότι η εποχή λήψης όλων των εικόνων είναι το καλοκαίρι, εκτός από την εικόνα του 2004 που λήφθηκε το φθινόπωρο, ώστε οι μεταβολές στην κάλυψη γης να εντοπίζονται πιο εύκολα και με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά των δορυφορικών απεικονίσεων.

ΔΕΚΤΗΣ	ΔΙΑΥΛΟΙ	ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑ	ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑ
LANDSAT-2 (MSS)	Band 1:	0,5-0,6 μm	79/82 m
	Band 2:	0,6-0,7 μm	79/82 m
	Band 3:	0,7-0,8 μm	79/82 m
	Band 4:	0,8-1,1 μm	79/82 m

LANDSAT-5 (TM)	Band 1:	0,45-0,52 μm	30 m
	Band 2:	0,52-0,60 μm	30 m
	Band 3:	0,63-0,69 μm	30 m
	Band 4:	0,76-0,90 μm	30 m
	Band 5:	1,55-1,75 μm	30 m
	Band 6:	10,4-12,5 μm	120 m
	Band 7:	2,08-2,35 μm	30 m

Η προβολή των τεσσάρων δορυφορικών εικόνων Landsat είναι η Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή **UTM** (Universal Transverse Mercator/ UTM) με αναφορά στο Παγκόσμιο Γεωδαιτικό σύστημα **WGS84** (World Geodetic System 1984/ WGS84). Στην παγκόσμια διανομή των ζωνών της απεικόνισης UTM, ο ελληνικός χώρος περιλαμβάνεται μεταξύ των ζωνών με αριθμούς 34 και 35, με κεντρικούς μεσημβρινούς $\lambda=21^\circ$ και $\lambda=27^\circ$ αντιστοίχως. Το πλαίσιο αναφοράς του WGS84 ορίζεται από τις συντεταγμένες ενός συνόλου περίπου 13 μόνιμων σταθμών παρακολούθησης των δορυφόρων GPS που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τροχιών με παγκόσμια κατανομή (Φωτίου, 2007).

3.4 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για την κατασκευή του **τοπογραφικού χάρτη** χρησιμοποιήθηκαν φύλλα χάρτη κλίμακας 1: 50.000 της Γ.Υ.Σ., με προβολικό σύστημα το ΕΓΣΑ '87, οι οποίοι καλύπτουν επαρκώς ολόκληρη την περιοχή μελέτης. Τα όρια των νομών καθώς και οι ονομασίες των οικισμών που εμφανίζονται στον τοπογραφικό χάρτη είναι από τη σελίδα δημόσιων και ανοικτών δεδομένων (geodata.gov.gr). Αναλυτικά, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω φύλλα χάρτη:

- | | | | |
|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| 1. Αλεξάνδρεια | 6. Λαχανάς | 11. Σοχός | 16. Γιαννιτσά |
| 2. Βασιλικά | 7. Πλατύ | 12. Σταυρός | 17. Ζαγκλιβέριον |
| 3. Επανομή | 8. Πολύγυρος | 13. Στρατονίκη | |
| 4. Κιλκίς | 9. Ροδολίβος | 14. Θέρμη | |
| 5. Κουφάλια | 10. Σιτοχώριον | 15. Θεσσαλονίκη | |

Για την κατασκευή του **γεωλογικού χάρτη** του νομού Θεσσαλονίκης χρησιμοποιήθηκε γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1: 500.000 του Ι.Γ.Μ.Ε. του έτους 1983.

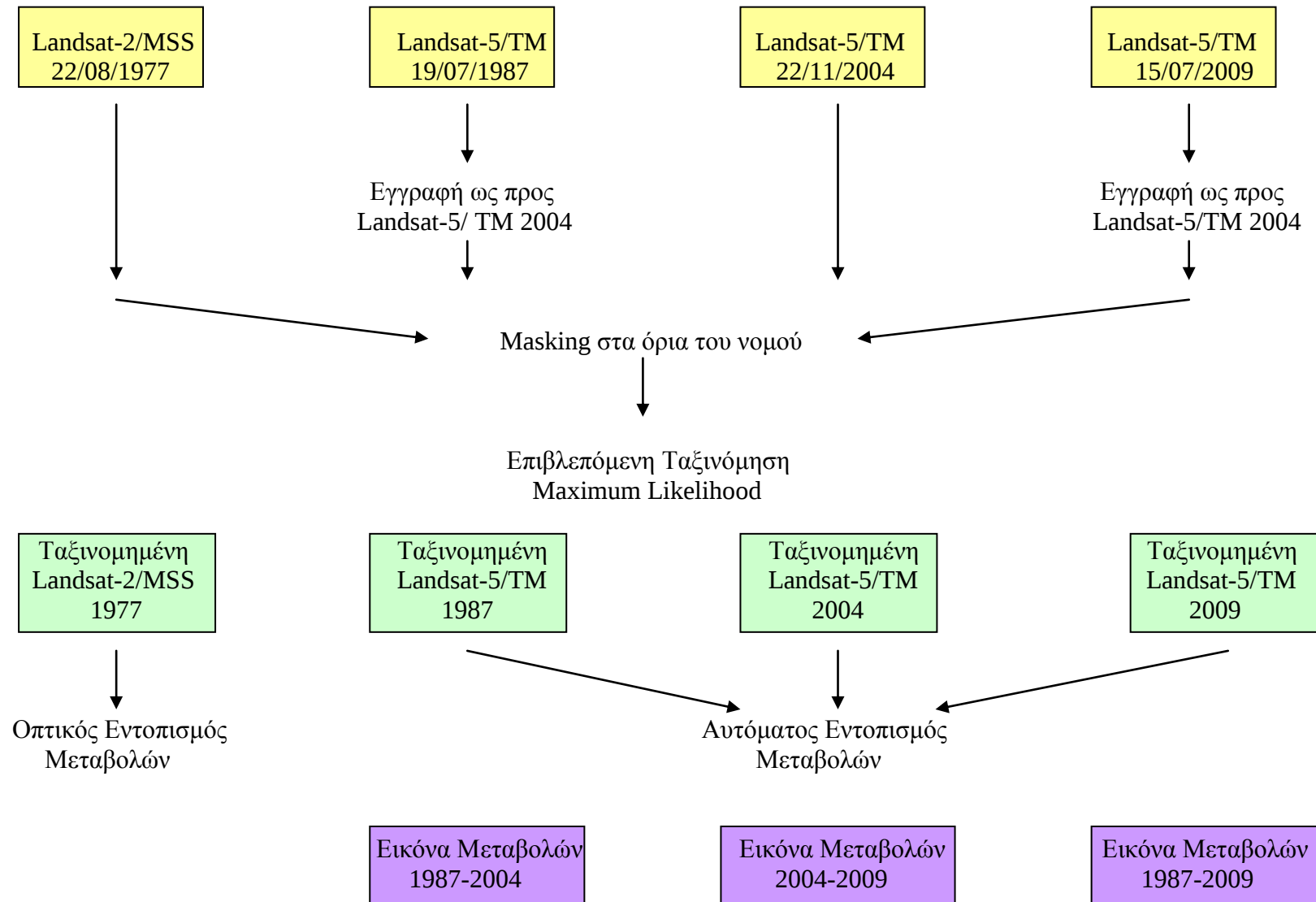
3.5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η διαχρονική παρακολούθηση του νομού Θεσσαλονίκης βασίστηκε στην επεξεργασία δορυφορικών εικόνων με τεχνικές Τηλεπισκόπησης και G.I.S. Για την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων χρησιμοποιήθηκαν τα εξής λογισμικά:

- ❖ Λογισμικό ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας: Erdas Imagine 9.2
- ❖ Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.): ArcGIS 9.

Αρχικά, εφαρμόστηκε στις εικόνες Landsat-5/ TM του 1987 και του 2009 η τεχνική της εγγραφής της εικόνας ως προς αυτή του 2004, προκειμένου να επιτευχθεί πλήρης ταύτιση για ακριβέστερο εντοπισμό των αλλαγών στην κάλυψη γης. Η δορυφορική εικόνα Landsat-2/ MSS του 1977 δεν υπέστη καμία επεξεργασία διότι η διακριτική της ικανότητα έχει ήδη βελτιωθεί από τα 79m στα 57m. Στη συνέχεια έγινε η ταξινόμηση καθεμιάς δορυφορικής εικόνας, αφού πρώτα εφαρμόστηκε μάσκα με τα όρια του νομού Θεσσαλονίκης.

Από την ταξινόμηση προέκυψαν θεματικοί χάρτες με την κάλυψη γης του νομού Θεσσαλονίκης, οι οποίοι έπειτα συγκρίθηκαν μεταξύ τους σε ζεύγη με την τεχνική της «σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων». Από τη σύγκριση προέκυψαν νέοι θεματικοί χάρτες που απεικονίζουν τις μεταβολές ή μη στους διάφορους τύπους κάλυψης γης του νομού κατά το χρονικό διάστημα 1977-2009. Τα παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά στο διάγραμμα ροής (flow chart) που ακολουθεί.



3.6 ΕΓΓΡΑΦΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Ως «εγγραφή» (registration) ορίζεται η διαδικασία της υπέρθεσης (superimposing) εικόνων, χαρτών ή σειρών δεδομένων με γεωμετρική ακρίβεια, δηλαδή οι πληροφορίες που προέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο της γήινης επιφάνειας και καταγράφονται σε διαφορετικούς δέκτες (π.χ. πολυφασματικούς σαρωτές, ραντάρ), τοποθετούνται ακριβώς η μία πάνω στην άλλη (Gupta, 2003) (Από Μουρατίδη, 2005).

Η τεχνική της «εγγραφής της εικόνας» (Image registration) συνήθως εφαρμόζεται μεταξύ δύο εικόνων της ίδιας περιοχής αλλά διαφορετικής χρονικής λήψης ή μεταξύ εικόνων που λαμβάνονται την ίδια χρονική στιγμή αλλά σε διαφορετική περιοχή του ΗΜ φάσματος ή από διαφορετικό δέκτη. Η εγγραφή δύο εικόνων μπορεί να είναι χρήσιμη στην εύρεση αλλαγών για διαχρονικά δεδομένα, στην ταξινόμηση με σκοπό τη δημιουργία θεματικών χαρτών, στο σχηματισμό μωσαϊκού εικόνων κ.ά. Για τον προσδιορισμό κοινών σημείων στις δύο εικόνες, εκτός του οπτικού τοπικού προσδιορισμού, χρησιμοποιείται η συσχέτιση μεταξύ των δύο εικόνων. Κατά την τεχνική της εγγραφής δύο εικόνων, η μια εικόνα λαμβάνεται ως αναφορά και η άλλη προσαρμόζεται στην πρώτη (Τσακίρη, 2004).

Η ακρίβεια εγγραφής αναφέρεται στην ικανότητα σύμπτωσης κάθε σημείου της μιας εικόνας με το αντίστοιχο σημείο της άλλης εικόνας. Σχετικά με τα επίγεια σημεία ελέγχου, για ολόκληρη την εικόνα Landsat συνιστάται να χρησιμοποιούνται 100-120 σημεία. Ωστόσο, από μελέτες που διεξήχθησαν, σχετικά με την ακρίβεια εγγραφής της εικόνας, προκύπτει, πως ένας λογικός αριθμός είναι της τάξης των 20-30 GCPs (Μερτίκας 1999, Τσακίρη 2004) (Από Μουρατίδη, 2005). Τα επίγεια σημεία ελέγχου πρέπει να είναι καλώς κατανεμημένα σε όλο το εύρος της εικόνας, να είναι σταθερά, μοναδικά και κυρίαρχα στην εικόνα. Ως τέτοια χρησιμοποιούνται παραδείγματος χάριν διασταυρώσεις οδών, σημεία απότομης αλλαγής της διεύθυνσης ποταμών, ρεμάτων ή καναλιών, ένα όριο κτημάτων κ.ά.. (Gupta, 2003) (Από Μουρατίδη, 2005).

3.6.1 Επαναδειγματοληψία της εικόνας

Σύμφωνα με την Τσακίρη 2004, μετά από κάθε γεωμετρικό μετασχηματισμό στην εικόνα πρέπει να υπολογισθούν οι τιμές έντασης των ψηφίδων στις νέες θέσεις. Μπορούν να εφαρμοσθούν δύο μέθοδοι για τον υπολογισμό και την καταχώρηση των

τιμών έντασης σε κάθε ψηφίδα στη νέα εικόνα. Στην πρώτη μέθοδο, οι πραγματικές θέσεις των ψηφίδων αλλάζουν αλλά διατηρούν τις ίδιες τιμές έντασης που είχαν πριν το γεωμετρικό μετασχηματισμό. Η μέθοδος αυτή λόγω περιορισμένης ακρίβειας χρησιμοποιείται μόνο μετά από απλές γεωμετρικές διορθώσεις όπως στην περίπτωση διόρθωσης της λοξότητας της εικόνας λόγω περιστροφής της γης.

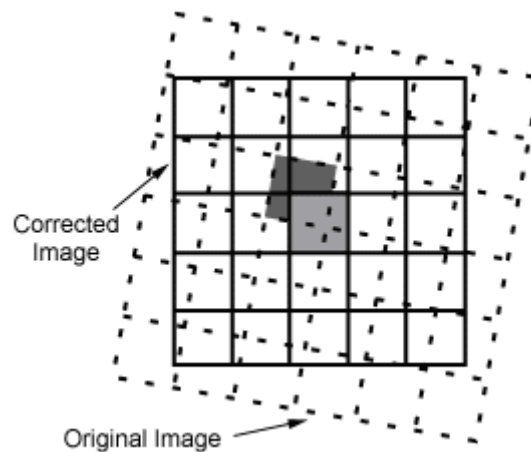
Στη δεύτερη μέθοδο, οι τιμές των εντάσεων των ψηφίδων μετά από γεωμετρικό μετασχηματισμό υπολογίζονται με την εφαρμογή μιας μεθόδου παρεμβολής. Η διαδικασία υπολογισμού των εντάσεων των νέων ψηφίδων με μια μέθοδο παρεμβολής ονομάζεται **επαναδειγματοληψία** (resampling) της εικόνας. Η παρεμβολή επιδρά στην ποιότητα των εικόνων και κυρίως των MSS διότι επιφέρει απώλεια χωρικής διακριτότητας.

Η βασική προσέγγιση για την παρεμβολή είναι να μοντελοποιηθεί η αρχική εικόνα που ορίζεται στο πλέγμα εισόδου (αρχική παραμορφωμένη εικόνα) και στη συνέχεια να προσδιορισθούν οι τιμές των ψηφίδων στη νέα εικόνα ώστε να επιτευχθεί μια εικόνα με επιθυμητά γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Για λόγους πρακτικούς η εικόνα μοντελοποιείται τοπικά, δηλαδή στην περιοχή της παρεμβολής.

Για την επαναδειγματοληψία της εικόνας χρησιμοποιούνται οι εξής τρεις μέθοδοι παρεμβολής (URL1):

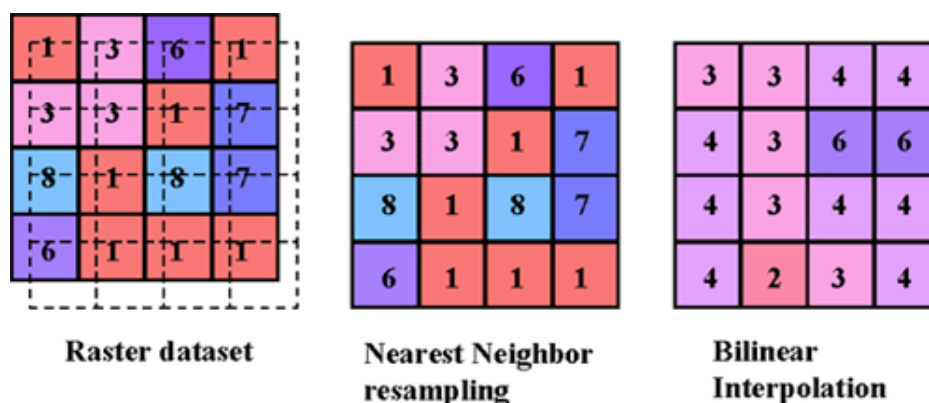
- ❖ Μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (Nearest neighbor)
- ❖ Διγραμμική παρεμβολή (Bilinear interpolation)
- ❖ Δικυβική παρεμβολή ή παρεμβολή κυβικής συνέλιξης (Bicubic interpolation/cubic convolution interpolation).

Στη μέθοδο **Nearest neighbor**, το κάθε σημείο στο νέο πλέγμα συντεταγμένων της εικόνας λαμβάνει την τιμή έντασης από το σημείο εκείνο του αρχικού πλέγματος, το οποίο βρίσκεται πιο κοντά (Εικόνα 8). Η μέθοδος αυτή θεωρείται η αποδοτικότερη από την άποψη του χρόνου υπολογισμού και είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη. Δεδομένου ότι οι τιμές των ψηφίδων παραμένουν ίδιες στη διορθωμένη εικόνα, η μέθοδος προτιμάται εάν μετά την εγγραφή ακολουθεί ταξινόμηση ή εάν μια ταξινομημένη εικόνα χρησιμοποιείται ως δείγμα εκ νέου.



Εικόνα 8: Παρεμβολή με τη μέθοδο του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (Nearest neighbor) (URL1).

Σύμφωνα με την Τσακίρη 2004, η χρησιμοποίηση συνάρτησης παρεμβολής μεγαλύτερης τάξης παρ' όλο που βελτιώνει την οπτική εμφάνιση της εικόνας, αφαιρεί πληροφορίες που είναι χρήσιμες σε τεχνικές ταξινόμησης.



Εικόνα 9: Στα αριστερά φαίνεται το αρχικό raster και η νέα θέση του (περίγραμμα), στο κέντρο φαίνεται το αποτέλεσμα της επαναδειγματοληψίας με τη χρήση της μεθόδου του πλησιέστερου γειτονικού σημείου και δεξιά με τη χρήση της διγραμμικής παρεμβολής (URL3).

3.6.2 Εγγραφή εικόνων Landsat νομού Θεσσαλονίκης

Προκειμένου να επιτευχθεί πλήρης ταύτιση και ακριβέστερος εντοπισμός των αλλαγών στην κάλυψη γης, εφαρμόστηκε στις δορυφορικές εικόνες Landsat-5/ TM του 1987 και του 2009 η τεχνική της εγγραφής της εικόνας. Η δορυφορική εικόνα Landsat-2/ MSS του 1977 δεν υπέστη καμία επεξεργασία διότι η διακριτική της ικανότητα έχει ήδη βελτιωθεί από τα 79m στα 57m.

Η εγγραφή μιας εικόνας στηρίζεται σε μια βάση (αναφορά). Όταν η αναφορά είναι κάποια χαρτογραφική προβολή, η εγγραφή ονομάζεται **απόλυτη εγγραφή** (absolute registration). Αντίθετα, όταν η βάση αυτή είναι μια άλλη εικόνα, όπως στην προκειμένη περίπτωση η εικόνα του 1987 (εικόνα προς εγγραφή/ input image) εγγράφεται στην εικόνα του 2004 (εικόνα αναφοράς/ base image) και η εικόνα του 2009 (εικόνα προς εγγραφή/ input image) εγγράφεται επίσης στην εικόνα του 2004 (εικόνα αναφοράς/ base image), τότε η εγγραφή ονομάζεται **σχετική εγγραφή** (relative registration) της πρώτης στη δεύτερη (Gupta, 2003) (Από Μουρατίδη, 2005). Ως εικόνα αναφοράς επιλέχθηκε η εικόνα του 2004 γιατί χρονολογικά είναι η μεσαία, οπότε δεν εμφανίζει μεγάλες διαφορές συγκρινόμενη τόσο με την παλιότερη (του 1987) όσο και με τη νεότερη (του 2009).

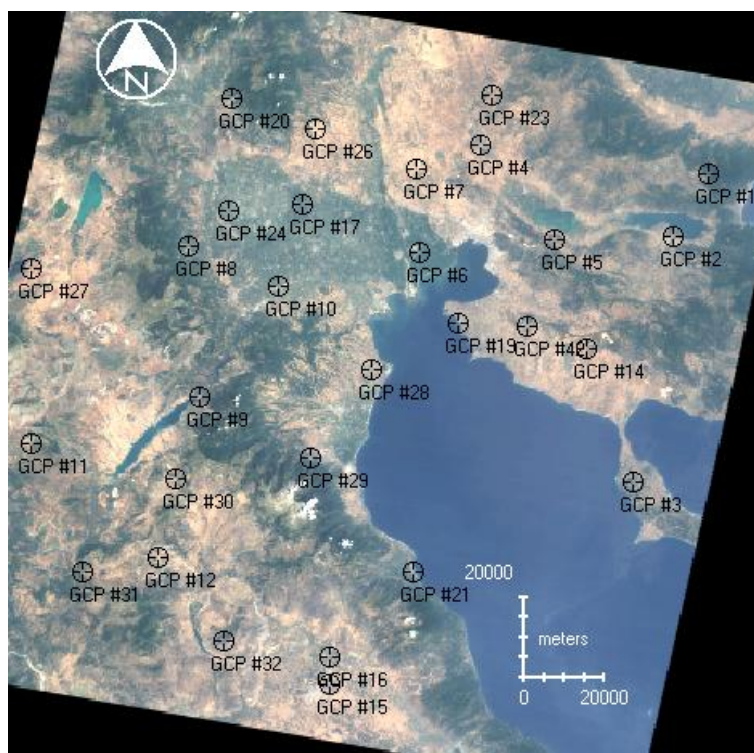
Η επεξεργασία των εικόνων έγινε με το πρόγραμμα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων ERDAS IMAGINE 9.2. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα, η διαδικασία της εγγραφής της εικόνας σε μια άλλη εικόνα, η οποία θεωρείται εικόνα αναφοράς, περιλαμβάνει τα εξής βασικά βήματα:

1. Εμφάνιση εικόνων
2. Εμφάνιση του Geometric Correction Tool
3. Καταγραφή των επίγειων σημείων ελέγχου
4. Υπολογισμός του πίνακα μετασχηματισμού
5. Επαναδειγματοληψία της εικόνας
6. Επαλήθευση/ έλεγχος της αναγωγής (URL5).

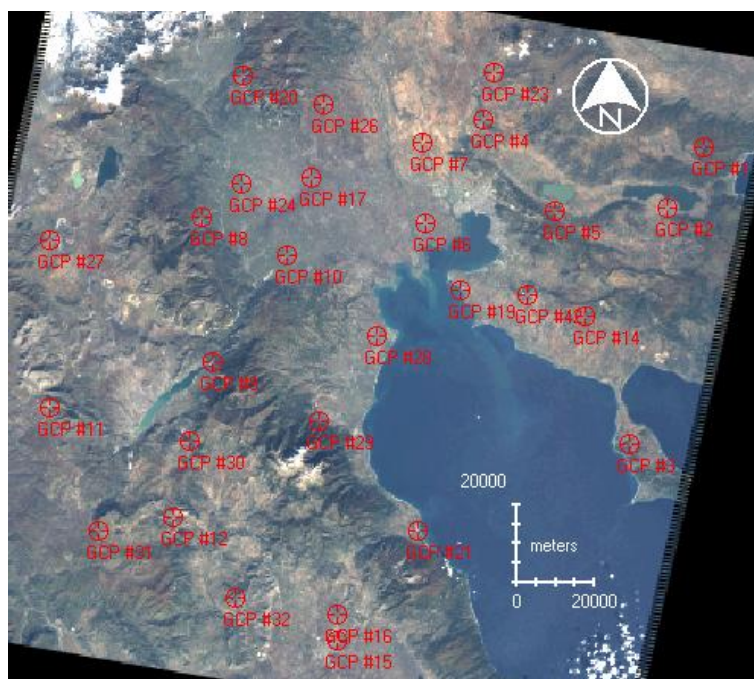
Για τη γεωμετρική διόρθωση κατά τη διαδικασία της εγγραφής των εικόνων επιλέχθηκε το γεωμετρικό μοντέλο **Landsat** και για την επαναδειγματοληψία τους εφαρμόστηκε η μέθοδος **Nearest neighbor** (βλ. παράγραφο 3.6.1). Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου παρεμβολής έγινε βάσει όσων αναφέρονται στην παράγραφο της επαναδειγματοληψίας και σύμφωνα με τους Bahadur 2009, Esbah et al. 2009, Inzana et al. 2003, Macleod and Congalton 1998, Samaniego and Schulz 2009, URL2.

Κατά τη διαδικασία της σχετικής εγγραφής της εικόνας του 1987 ως προς αυτή του 2004 επιλέχθηκαν 32 σημεία ελέγχου με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διασπορά. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (**Root Mean Square error/ RMS**) που προέκυψε ήταν: ολικό **RMS=22.6725m**, (X)=17.3426m και (Y)=14.6040m. Παρακάτω παρουσιάζονται οι θέσεις των σημείων ελέγχου τόσο στην εικόνα του 1987 (Εικόνα 10) όσο και στην εικόνα αναφοράς του 2004 (Εικόνα 11). Οι

συντεταγμένες και τα σφάλματα κάθε σημείου παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα Γ.



Εικόνα 10: Τα 32 σημεία ελέγχου, τα οποία επιλέχθηκαν στην δορυφορική εικόνα Landsat-5/ TM του 1987.



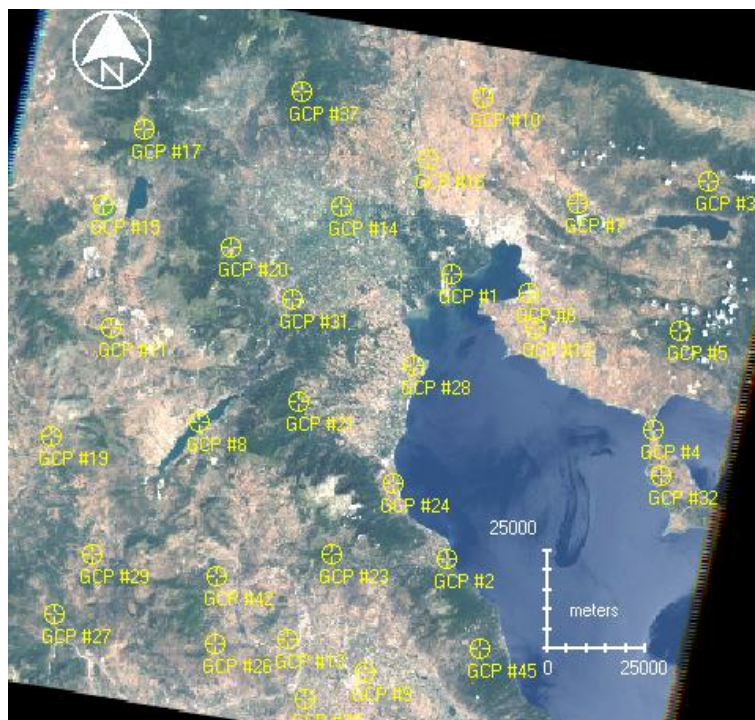
Εικόνα 11: Τα 32 σημεία ελέγχου, τα οποία επιλέχθηκαν στην εικόνα αναφοράς Landsat-5/ TM του 2004 κατά τη εγγραφή της εικόνας του 1987.

Το σφάλμα που προκύπτει ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις εγγραφής σε επίπεδο pixel, που προϋποθέτει ακρίβεια σχετικής εγγραφής μεταξύ των εικόνων μικρότερη του μεγέθους του εικονοστοιχείου (sub-pixel accuracy). Δεδομένου ότι το εικονοστοιχείο στις εικόνες Landsat-5/ TM αντιστοιχεί σε περιοχή 30x30 m, το ολικό RMS που προέκυψε (ολικό $RMS=22.6725m$) κρίνεται ικανοποιητικό. Η εγγεγραμμένη εικόνα Landsat-5/ TM του 1987 παρουσιάζεται παρακάτω:

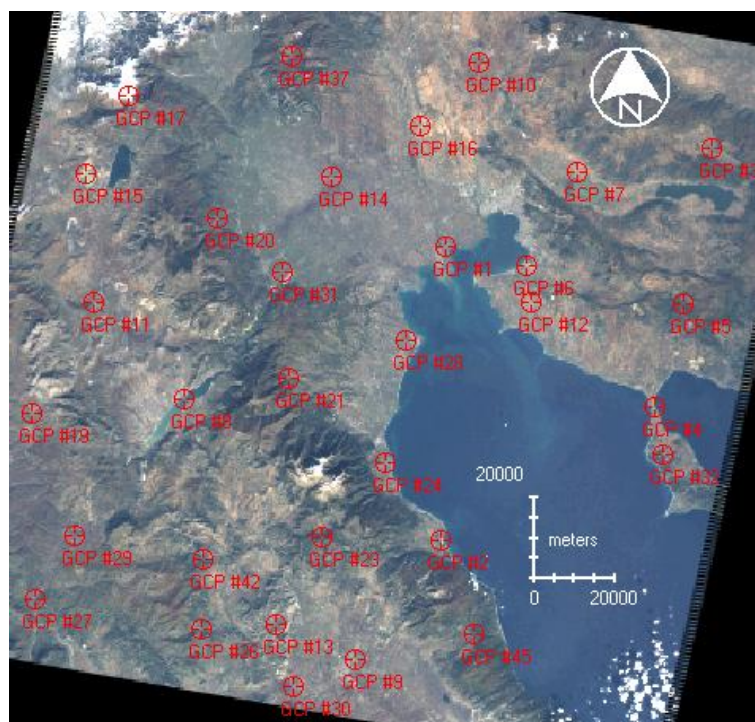


Εικόνα 12: Η εικόνα Landsat-5/ TM του 1987 που προέκυψε μετά τη διαδικασία της εγγραφής.

Κατά τη διαδικασία της σχετικής εγγραφής της εικόνας του 2009 ως προς αυτή του 2004 επιλέχθηκαν επίσης 32 σημεία ελέγχου με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διασπορά. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (**Root Mean Square error/ RMS**) που προέκυψε ήταν: ολικό $RMS=25.7591m$, (X)=19.8908m και (Y)=16.3672m. Παρακάτω παρουσιάζονται οι θέσεις των σημείων ελέγχου τόσο στην εικόνα του 2009 (Εικόνα 13) όσο και στην εικόνα αναφοράς του 2004 (Εικόνα 14). Οι συντεταγμένες και τα σφάλματα κάθε σημείου παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα Γ.



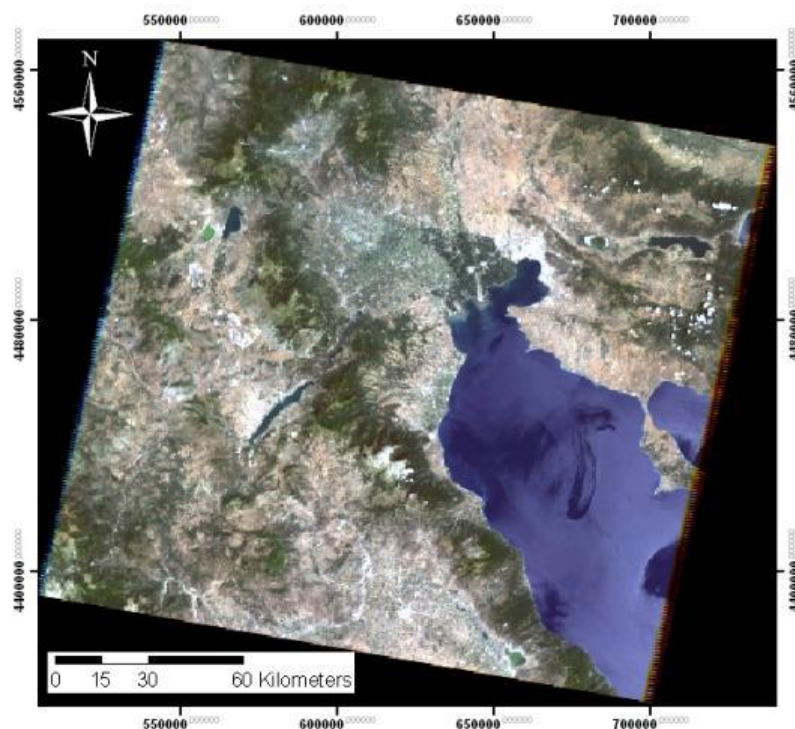
Εικόνα 13: Τα 32 σημεία ελέγχου, τα οποία επιλέχθηκαν στην δορυφορική εικόνα Landsat-5/ TM του 2009.



Εικόνα 14: Τα 32 σημεία ελέγχου, τα οποία επιλέχθηκαν στην εικόνα αναφοράς Landsat-5/ TM του 2004 κατά την εγγραφή της εικόνας του 2009.

Το σφάλμα που προκύπτει, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις εγγραφής σε επίπεδο pixel, που προϋποθέτει ακρίβεια

σχετικής εγγραφής μεταξύ των εικόνων μικρότερη του μεγέθους του εικονοστοιχείου (sub-pixel accuracy). Δεδομένου ότι το εικονοστοιχείο στις εικόνες Landsat-5/ TM αντιστοιχεί σε περιοχή 30x30 m, το ολικό RMS που προέκυψε (ολικό RMS = 25.7591m) κρίνεται ικανοποιητικό. Η εγγεγραμμένη εικόνα Landsat-5/ TM του 2009 παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 15: Η εικόνα Landsat-5/ TM του 2009 που προέκυψε μετά τη διαδικασία της εγγραφής.

3.7 ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

Η χρήση των χρωμάτων στην εμφάνιση των εικόνων αφενός κάνει τις εικόνες πιο ευχάριστες και αφετέρου επιτρέπει την εξαγωγή περισσότερης ποιοτικής πληροφορίας σε σχέση με μη έγχρωμες εικόνες. Η χρωματικοποίηση των πολυφασματικών τηλεπισκοπικών εικόνων μπορεί να γίνει με τη χρήση τριών φασματικών διαύλων της εικόνας, οπότε προκύπτει η **λανθασμένη (false) έγχρωμη εικόνα**. Η επιλογή των τριών διαύλων γίνεται με τη βοήθεια του «μετασχηματισμού στις κύριες συνιστώσες» (**PCT, Principal Components Transformation**) και λαμβάνονται οι τρεις πρώτοι ψευδοδιάυλοι. Σε κάθε διάυλο δίδεται ένα βασικό χρώμα και με τη μείξη των τριών προκύπτει η false έγχρωμη εικόνα (Τσακίρη, 2004).

Πίνακας 5: Κωδικοποίηση των φασματικών ζωνών σε χρώματα, στα έγχρωμα υπέρυθρα φιλμ και στις συνήθεις συνθέσεις λανθασμένων έγχρωμων εικόνων (Gupta, 2003) (Από Αστάρα, 2010).

Απόκριση στη μπλε φασματική ζώνη	Δε φαίνεται (cut off)
Απόκριση στην πράσινη φασματική ζώνη	Φαίνεται με μπλε χρώμα
Απόκριση στην ερυθρή φασματική ζώνη	Φαίνεται με πράσινο χρώμα
Απόκριση στην κοντινή υπέρυθρη (NIR) φασματική ζώνη	Φαίνεται με ερυθρό χρώμα

Η τεχνική της σύνθεσης λανθασμένων έγχρωμων εικόνων χρησιμοποιείται ευρέως συνδυάζοντας πολυφασματικές εικόνες μέσω της «**έγχρωμης κωδικοποίησης/ εγγραφής**» (**colour coding**). Επειδή τα εμφανιζόμενα έγχρωμα επίπεδα, συνήθως, επιλέγονται με τη σειρά: ερυθρό (R), πράσινο (G) και μπλε (B), χρησιμοποιείται η ορολογία «RGB χρωματικές έξοδοι».

Η σύνθεση των φασματικών ζωνών RGB:321 (κόκκινο, πράσινο, μπλε) δημιουργεί μια **φυσική έγχρωμη** εικόνα (natural color image). «Φυσική έγχρωμη» σημαίνει ότι τα αντικείμενα εμφανίζονται στην εικόνα, όπως θα τα έβλεπε το γυμνό μάτι (παρόμοια με μια έγχρωμη φωτογραφία). Στις μικρού μήκους κύματος φασματικές ζώνες του ορατού φάσματος (π.χ. στη μπλε ή σπανιότερα στην πράσινη), οι φυσικές έγχρωμες εικόνες δεν παρουσιάζουν καθαρά τους διάφορους χρωματικούς τόνους των γήινων αντικειμένων, λόγω της ατμοσφαιρικής διάχυσης.

Ο χρωματικός συνδυασμός RGB:432 (κοντινό υπέρυθρο, κόκκινο, πράσινο) δημιουργεί μια **έγχρωμη υπέρυθρη** εικόνα (color InfraRed image). Η εικόνα αυτή εμφανίζεται όμοια με μια υπέρυθρη φωτογραφία, όπου τα αντικείμενα δεν έχουν τα ίδια χρώματα ή αντιθέσεις όπως αν ήταν φυσικά. Για παράδειγμα, σε μια θερμική εικόνα, η βλάστηση εμφανίζεται κόκκινη, το νερό μπλε ή μαύρο κ.λπ. Αντίθετα με τη φυσική έγχρωμη εικόνα, η υπέρυθρη απομακρύνει την ατμοσφαιρική διάχυση, οπότε οι διάφοροι χρωματικοί τόνοι των γήινων αντικειμένων παρουσιάζονται καθαρά σε αυτή.

Τέλος, διάφοροι RGB συνδυασμοί όπως ο RGB:345 ή RGB:653 δημιουργούν μια **ψευδοέγχρωμη** εικόνα, όπου επίσης τα αντικείμενα δεν έχουν τα φυσικά τους χρώματα. Οι συγκεκριμένοι συνδυασμοί χρησιμοποιούνται συχνά για την ταξινόμηση οικιστικών και αγροτικών περιοχών. Ψευδοέγχρωμη είναι και μια θεματική εικόνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση αεροφωτογραφιών και μεγάλης ακρίβειας πλέον δορυφορικών εικόνων συνιστά το κύριο μέσο για τον εντοπισμό και την οριοθέτηση της κάλυψης γης. Ο όρος **κάλυψη γης ή εδαφική κάλυψη (land cover)** αναφέρεται στις φυσικές και τεχνητές οντότητες που αναγνωρίζονται-ερμηνεύονται να καλύπτουν τη στοιχειώδη επιφανειακή μονάδα. Η στοιχειώδης επιφανειακή μονάδα ισούται με το εικονοστοιχείο μιας δορυφορικής εικόνας. Η κάλυψη γης δεν πρέπει να συγχέεται ως έννοια με τη χρήση γης (land use), η οποία αναφέρεται στο είδος των δραστηριοτήτων που λαμβάνει χώρα σε κάποιο τμήμα της γήινης επιφάνειας. Εξάλλου, η χρήση γης δεν προκύπτει άμεσα από τις τηλεπισκοπικές εικόνες γιατί η καταγραφόμενη εδαφική κάλυψη δεν αντιπροσωπεύει πάντα την προτιθέμενη χρήση.

Ένας τρόπος εξαγωγής πληροφοριών για την κάλυψη γης είναι η οπτική ερμηνεία των εικόνων από τον αναλυτή. Συγκεκριμένα, ο αναλυτής πρέπει να αναγνωρίσει και να οριοθετήσει περιοχές της εικόνας, οι οποίες εκφράζονται με ξεχωριστές φασματικές ταυτότητες (**οπτική ταξινόμηση**) (Αστάρας, 2010). Το πλήθος όμως των δεδομένων που λαμβάνονται από τηλεπισκοπικούς δέκτες είναι τόσο μεγάλο, ώστε η οπτική ερμηνεία τους για την εξαγωγή πληροφοριών είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα. Κρίνεται λοιπόν επιτακτική η ανάγκη χρήσης ηλεκτρονικών συστημάτων ψηφιακής επεξεργασίας και αυτόματης αναγνώρισης και ερμηνείας των εικόνων (**ψηφιακή ταξινόμηση**) (Τσακίρη, 2004).

Η ταξινόμηση αντικειμένων με την οπτική μέθοδο χρησιμοποιεί μικρό αριθμό φασματικών ζωνών και στηρίζεται στα φωτοαναγνωστικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων δηλαδή το σχήμα, την υφή και το μέγεθος για το διαχωρισμό σε κατηγορίες. Επιπλέον, είναι υποκειμενική δεδομένου ότι βασίζεται αποκλειστικά στις ικανότητες και στις γνώσεις του αναλυτή. Αντίθετα, η ψηφιακή ταξινόμηση στηρίζεται στα φασματικά χαρακτηριστικά των pixels –που είναι ο τόνος και τα χρώματα- τα οποία χρησιμοποιούνται από αλγορίθμους του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τέλος, εκτός του ότι είναι ταχύτατη ως μέθοδος, χρησιμοποιεί όλες τις διαθέσιμες φασματικές ζώνες αυξάνοντας έτσι την ακρίβεια των αποτελεσμάτων (Αστάρας, 2010). Είναι λοιπόν φανερό ότι η υιοθέτηση ψηφιακών μεθόδων για τον

εντοπισμό και την οριοθέτηση κάλυψης γης υπόσχεται πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, ταχύτερα και με λιγότερο κόπο.

4.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

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

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

Για την ψηφιακή ταξινόμηση υπάρχουν δύο θεμελιώδεις προσεγγίσεις:

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

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση προϋποθέτει αρχικά την ύπαρξη δειγμάτων γνωστής ταυτότητας στην εικόνα (που συνήθως αναγνωρίζονται από εργασίες πεδίου, από αεροφωτογραφίες, από τοπογραφικούς χάρτες κλπ.) και έπειτα, αφού υπολογιστούν τα στατιστικά στοιχεία των γνωστών αυτών δειγμάτων, καταχωρούνται τα υπόλοιπα αταξινόμητα εικονοστοιχεία σε τάξεις. Αντίθετα, στην ανεξάρτητη ταξινόμηση τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας διαχωρίζονται σε φασματικές τάξεις, χωρίς ο αναλυτής να γνωρίζει εκ των προτέρων για την ύπαρξη ή το είδος της πληροφορίας (δάσος, νερό, αστική περιοχή, κ.λπ.) που περιέχεται σε κάθε φασματική τάξη.

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

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

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

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

4.2.1 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση αποτελείται από τα παρακάτω στάδια:

- Ορισμός του πλήθους και του είδους των τάξεων.
- Επιλογή και λήψη των δειγμάτων από κάθε τάξη (λήψη εκπαιδευτικής σειράς και εκπαίδευση του συστήματος).

- Χρήση των δειγμάτων για τον προσδιορισμό των παραμέτρων/κριτηρίων για τη δημιουργία του ταξινομητή.
- Με τη χρήση των κριτηρίων, δηλαδή την υπογραφή της κάθε τάξης, ταξινομούνται όλες οι ψηφίδες της εικόνας στις αντίστοιχες τάξεις.
- Παραγωγή θεματικής εικόνας.

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

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

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

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

Βέβαια, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση περιλαμβάνει και κάποια μειονεκτήματα όπως το γεγονός ότι ο τρόπος ταξινόμησης των δεδομένων είναι υποκειμενικός με συνέπεια μερικές φορές οι καθορισμένες περιοχές να μη συμβαδίζουν με τις φυσικές πληροφοριακές τάξεις (π.χ. μια περιοχή που καθορίστηκε από τον αναλυτή ως καλλιεργήσιμη, στην πραγματικότητα να αποτελεί βοσκότοπο). Επίσης, η επιλογή

των δεδομένων εκπαίδευσης μπορεί μεν να συνιστά έναν τρόπο ελέγχου, αποτελεί δε χρονοβόρα διαδικασία, δαπανηρή και κουραστική, ακόμη και όταν εκτελείται με τα πιο σύγχρονα μέσα. Εκτός αυτού, οι περιοχές εκπαίδευσης που θα επιλεγούν μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικές για ολόκληρη την εικόνα.

Επιπλέον, δεδομένου ότι τα δεδομένα εκπαίδευσης καθορίζονται κατά κύριο λόγο από τα είδη της πληροφορίας και κατά δεύτερο λόγο από τις φασματικές ιδιότητες τους, είναι πιθανό μια περιοχή εκπαίδευσης που είναι για παράδειγμα καθαρά δασική έκταση, να είναι ακριβής ως προς τον χαρακτηρισμό "δάσος" αλλά να ποικίλλει ως προς την πυκνότητα, την ηλικία κ.λπ. και συνεπώς να αποτελεί "φτωχή" ή "ανεπαρκή" περιοχή εκπαίδευσης του αλγόριθμου ταξινόμησης. Κλείνοντας, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση μπορεί να μην αναγνωρίζει και αντιπροσωπεύει ιδιομορφίες στις κατηγορίες που δεν αποκαλύπτονται στα δεδομένα εκπαίδευσης, ίσως επειδή είναι άγνωστες στον αναλυτή ή επειδή καταλαμβάνουν πολύ μικρές περιοχές στην εικόνα (Αγγελοπούλου, 2003).

4.2.2 Αλγόριθμος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)

Ο αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας συνεκτιμά ποσοτικά τη μεταβλητότητα και τη συμμεταβλητότητα των προτύπων φασματικής απόκρισης των διαφόρων κατηγοριών, όταν ταξινομεί ένα άγνωστο εικονοστοιχείο. Για να επιτευχθεί αυτό, γίνεται η υπόθεση ότι η κατανομή του νέφους των σημείων εκπαίδευσης της κάθε κατηγορίας είναι αυτή του Gauss, δηλαδή είναι κανονική. Κάτω από αυτή την υπόθεση, η κατανομή του φασματικού προτύπου απόκρισης μιας κατηγορίας, μπορεί να περιγραφεί πλήρως από το μέσο διάνυσμα και από τον πίνακα συμμεταβλητότητας. Δεδομένων αυτών των παραμέτρων, μπορεί να υπολογιστεί η στατιστική πιθανότητα ενός μεμονωμένου εικονοστοιχείου να ανήκει σε μια συγκεκριμένη κατηγορία κάλυψης γης (Αλεξάκης, 2008).

Εάν υπάρχει *a priori* γνώση ότι οι πιθανότητες ένα εικονοστοιχείο να ανήκει σε μια τάξη δεν είναι ίσες, μπορούν να οριστούν βάρη για τις συγκεκριμένες τάξεις. Αυτή η παραλλαγή του κανόνα απόφασης μέγιστης πιθανοφάνειας είναι γνωστή ως **Bayesian κανόνας απόφασης** (Hord, 1982) (από URL4). Σε περίπτωση που δεν υπάρχει *a priori* γνώση των πιθανοτήτων, συστήνεται τα βάρη στην εξίσωση να τίθενται ίσα με τη μονάδα.

Η εξίσωση του ταξινομητή μέγιστης πιθανοφάνειας/ Bayesian είναι η εξής (Hord, 1982) (Από URL4):

$$D = \ln(a_c) - [0.5 \ln(|Cov_c|)] - [0.5 (X-M_c)^T (Cov_c^{-1}) (X-M_c)]$$

Όπου:

D= σταθμισμένη απόσταση (πιθανοφάνεια)

c= μια συγκεκριμένη τάξη

X= το διάνυσμα μέτρησης του υποψήφιου pixel

M_c= το μέσο διάνυσμα του δείγματος της τάξης c

a_c= ποσοστό πιθανότητας ένα οποιοδήποτε υποψήφιο pixel να ανήκει στην τάξη c (ισούται με τη μονάδα ή εισάγεται όταν υπάρχει a priori γνώση)

Cov c= πίνακας συμμεταβλητότητας των pixels του δείγματος της τάξης c

|Cov c|= ορίζουσα του πίνακα συμμεταβλητότητας Cov c

1/Cov c= αντίστροφος του πίνακα Cov c

T= συνάρτηση μετατόπισης

Το pixel καταχωρείται στην τάξη c, για την οποία το D είναι το χαμηλότερο.

Το βασικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου ταξινομητή είναι ότι θεωρείται ο πιο ακριβής όλων των ταξινομητών (εφόσον τα δείγματα έχουν κανονική κατανομή), επειδή λαμβάνει υπόψη τις περισσότερες μεταβλητές, καθώς και τη μεταβλητότητα των τάξεων με χρήση του πίνακα συμμεταβλητότητας. Το κύριο μειονέκτημα του είναι ο μεγάλος αριθμός υπολογισμών που απαιτείται για την ταξινόμηση του κάθε εικονοστοιχείου, ο οποίος αυξάνεται όσο περισσότερα φασματικά κανάλια ή κατηγορίες χρησιμοποιούνται.

4.2.3 Δειγματοληψία – Μέγεθος δείγματος

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

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

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

Όπου p = αναμενόμενη % ακρίβεια

$$q = 100 - p$$

E = το επιτρεπόμενο σφάλμα και

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

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

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

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

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

Το πλήθος των δειγμάτων για κάθε κατηγορία μπορεί επίσης να ρυθμιστεί βάσει της σημαντικότητας εκείνης της κατηγορίας σε σχέση με τους στόχους της χαρτογράφησης ή βάσει της έμφυτης μεταβλητότητας καθεμιάς κατηγορίας. Μερικές φορές είναι καλύτερο να επικεντρωθεί η δειγματοληψία στις κατηγορίες ενδιαφέροντος και να αυξηθεί ο αριθμός των δειγμάτων τους, μειώνοντας παράλληλα τον αριθμό των δειγμάτων των λιγότερο σημαντικών κατηγοριών. Επίσης, μπορεί να

είναι χρήσιμο να ληφθούν λιγότερα δείγματα στις κατηγορίες που παρουσιάζουν μικρή μεταβλητότητα όπως το νερό και να αυξηθούν τα δείγματα των κατηγοριών που είναι πιο μεταβλητές, όπως οι παρόχθιες περιοχές. Ο στόχος σε κάθε περίπτωση είναι να ισορροπηθούν οι στατιστικές συστάσεις με το χρόνο, το κόστος και τους πρακτικούς περιορισμούς που συνδέονται με οποιοδήποτε εφαρμόσιμο πρόγραμμα τηλεπισκόπησης.

4.2.4 Χαρακτηριστικά - Πηγές σφαλμάτων ταξινόμησης

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

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

(Μερτίκας, 1999) (Από Αγγελοπούλου, 2003).

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

Στην καθοδηγούμενη ταξινόμηση, τα σφάλματα συνήθως προέρχονται από τη μη-αναγνώριση των τμημάτων του εδάφους, την "υπερβολική" γενίκευση, τα σφάλματα καταγραφής, τις μεταβολές στην ερμηνεία των εικόνων και άλλους παράγοντες. Ίσως η απλούστερη αιτία σφαλμάτων σχετίζεται με την εσφαλμένη

αντιστοίχιση των ειδών της πληροφορίας με τις φασματικές τάξεις. Για παράδειγμα, ο εκτεθειμένος γρανίτης σε ορεινές περιοχές μπορεί εύκολα να μπερδευτεί με τη φασματική εικόνα που δίνει το μπετόν σε κατοικημένες περιοχές.

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

4.2.5 Εκτίμηση της ακρίβειας ταξινόμησης

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

- ❖ Η ανάγκη για **βελτίωση της ποιότητας της πληροφορίας** του χάρτη με τον προσδιορισμό και τη διόρθωση των πηγών σφαλμάτων.
- ❖ Η ανάγκη για τη **σύγκριση ποικίλων τεχνικών**, αλγορίθμων ή και ερμηνειών, προκειμένου να προσδιορισθεί ποια είναι η καλύτερη.
- ❖ Αν η πληροφορία που προέρχεται από τηλεπισκοπικές εικόνες πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε μια **διαδικασία λήψης αποφάσεων**, είναι κρίσιμο να είναι γνωστό κάποιο μέτρο εκτίμησης της ποιότητάς τους (URL14).

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

Ο αναλυτής έχει συνήθως την τάση να επιλέγει τα ίδια σύνολα pixels αναφοράς για τη δοκιμή της ταξινόμησης με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στα

δείγματα εκπαίδευσης. Αυτό όμως προκαταλαμβάνει τη δοκιμή -δεδομένου ότι τα δείγματα εκπαίδευσης αποτελούν τη βάση της ταξινόμησης- και οδηγεί σε υπερεκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης. Όταν όμως τα pixels αναφοράς επιλέγονται τυχαία, η πιθανότητα της προκατάληψης ελαττώνεται ή εξαλείφεται. Ο αριθμός των pixels αναφοράς είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό της ακρίβειας της ταξινόμησης. Έχει αποδειχθεί ότι απαιτούνται περισσότερα από 250 pixels αναφοράς για να υπολογίσουν τη μέση ακρίβεια μιας τάξης με ποσοστό απόκλισης $\pm 5\%$ (URL4).

4.2.5.1 Πίνακας εκτίμησης ακρίβειας

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

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

Παραδοσιακά, το ολικό πλήθος των σωστών ψηφίδων σε μια κατηγορία διαιρείται με το ολικό πλήθος των ψηφίδων της κατηγορίας, όπως ταξινομήθηκε με τα δεδομένα αναφοράς. Αυτό το μέτρο ακρίβειας προσδιορίζει την πιθανότητα ένα pixel αναφοράς να έχει ταξινομηθεί σωστά και αποτελεί στην πραγματικότητα μια μέτρηση του σφάλματος αποφόρτισης/παράλειψης (omission error). Αυτή η μέτρηση

ακρίβειας καλείται συχνά «**ακρίβεια παραγωγού/ αναλυτή**», γιατί ο παραγωγός της ταξινόμησης ενδιαφέρεται για το πόσο καλά μπορεί να ταξινομηθεί μια συγκεκριμένη περιοχή.

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

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

- ολική ακρίβεια
- ακρίβεια παραγωγού
- ακρίβεια χρήστη.

Reference Data					row total
	D	C	BA	SB	
D	65	4	22	24	115
C	6	81	5	8	100
BA	0	11	85	19	115
SB	4	7	3	90	104
column total	75	103	115	141	434

Land Cover Categories

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

OVERALL ACCURACY =
321 / 434 = 74%

PRODUCER'S ACCURACY

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

USER'S ACCURACY

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

Εικόνα 16: Παράδειγμα πίνακα σφάλματος ταξινόμησης με τέσσερις κατηγορίες κάλυψης γης (D:φυλλοβόλα, C:κωνοφόρα, BA:άγονο έδαφος, SB:θάμνοι). Στον πίνακα παρουσιάζεται η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης καθώς και η ακρίβεια του παραγωγού και του χρήστη για καθεμιά κατηγορία (Congalton, 1991).

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

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

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

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

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

1. Κάθε περιοχή που πρόκειται να ταξινομηθεί πρέπει να εμπίπτει σε μία και μοναδική κατηγορία ή τάξη.
2. Κάθε περιοχή πρέπει να συμπεριληφθεί στην ταξινόμηση.
3. Εάν είναι δυνατόν είναι πολύ συμφέρον να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ταξινόμησης που να είναι ιεραρχικό στη φύση. Όταν χρησιμοποιείται ένα τέτοιο σύστημα, ορισμένες κατηγορίες μπορούν να συγχωνευτούν και να σχηματίσουν πιο γενικές κατηγορίες. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαιτέρως σημαντική όταν γίνεται προσπάθεια να διατηρηθούν προκαθορισμένα όρια ακρίβειας. Δύο ή περισσότερες κατηγορίες με ακρίβεια χαμηλότερη από την ελάχιστη απαιτούμενη, μπορεί να χρειαστεί να συγχωνευτούν για να σχηματίσουν μια γενικότερη κατηγορία που υπερβαίνει την ελάχιστη απαραίτητη ακρίβεια.

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

4.2.5.2 Η Kappa ανάλυση

Ο πίνακας σφάλματος είναι ένα παράδειγμα πινάκων γνωστών ως πινάκων πιθανοτήτων (contingency tables) που παρουσιάζουν ταξινομήσεις ανάλογες. Μερικές τεχνικές που αναπτύχθηκαν για την ανάλυση των πινάκων αυτών μπορούν να εφαρμοσθούν στον πίνακα σφάλματος, όπως οι διακριτές αναλυτικές στατιστικές τεχνικές πολλών μεταβλητών. Η **Kappa ανάλυση** είναι μια διακριτή πολυμεταβλητή τεχνική που χρησιμοποιείται στην εκτίμηση της ακρίβειας για τη σύγκριση ενός πίνακα σφάλματος με έναν άλλο. Το αποτέλεσμα είναι ένας στατιστικός συντελεστής K, ο οποίος είναι ένα άλλο μέτρο συμφωνίας ή ακρίβειας.

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

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

Ο στατιστικός αυτός συντελεστής λειτουργεί ως δείκτης μεγέθους/ βαθμού, με τον οποίο οι % σωστές τιμές του πίνακα σφάλματος οφείλονται στις «σωστές»

συμφωνίες έναντι των «πιθανών/ τυχαίων» συμφωνιών. Αν οι σωστές συμφωνίες προσεγγίζουν τη μονάδα και οι πιθανές συμφωνίες προσεγγίζουν το μηδέν, τότε το K προσεγγίζει τη μονάδα. Αυτή είναι η ιδανική περίπτωση. Στην πραγματικότητα συνήθως το K εκτείνεται μεταξύ μηδέν και ένα. Παράδειγμα αν $K = 0.67$, αυτό σημαίνει ότι η ταξινόμηση λόγω των πραγματικών συμφωνιών είναι 67% καλύτερη από την τυχαία ταξινόμηση. Για $K = 0$, η ταξινόμηση δεν είναι καλύτερη από μια τυχαία καταχώρηση των ψηφίδων. Σε περίπτωση που η πιθανή/ τυχαία συμφωνία είναι αρκετά μεγάλη, το K μπορεί να πάρει αρνητικές τιμές με αποτέλεσμα ο δείκτης να εκφράζει φτωχή ταξινόμηση.

Ο στατιστικός δείκτης K ορίζεται από τη σχέση:

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

Όπου N = πλήθος παρατηρήσεων

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

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

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

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

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

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του δείκτη K είναι η ιδιότητά του να χρησιμοποιεί την τιμή αυτή ως βάση για τον προσδιορισμό της στατιστικής σπουδαιότητας κάθε πίνακα ή τις διαφορές μεταξύ πινάκων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του δείκτη K αποτελεί η περίπτωση που το ζητούμενο είναι να συγκριθούν οι πίνακες σφάλματος, οι οποίοι είναι αποτέλεσμα ταξινόμησης εικόνων διαφορετικών ημερομηνιών ή τεχνικών. Τέτοιες εκτιμήσεις βασίζονται στον υπολογισμό της εκτίμησης της μεταβλητότητας των K (URL5).

4.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ LANDSAT ΝΟΜΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

4.3.1 Μεθοδολογία ταξινόμησης

Αρχικά, οι δορυφορικές εικόνες κόπηκαν με μάσκα ακριβώς στα όρια του νομού Θεσσαλονίκης με την εντολή “Subset image” του προγράμματος Erdas Imagine, ώστε να μειωθεί ο χρόνος επεξεργασίας, υπολογισμού και ερμηνείας της εικόνας. Επιπλέον, κατά τη διαδικασία αυτή, εξαιρέθηκε η ζώνη TM_6 (θερμικό υπέρυθρο) από τις επτά φασματικές ζώνες των εικόνων Landsat-5/TM, εξαιτίας της μειωμένης διακριτικής ικανότητας που παρέχει [120 m έναντι των 30 m των υπολοίπων έξι φασματικών ζωνών.

Στη συνέχεια εντοπίστηκαν οι κατηγορίες κάλυψης γης της περιοχής μελέτης με βάση το πρόγραμμα CORINE LAND COVER 2000 (CLC) (βλ. Παράρτημα Δ). Η επιλογή των κατηγοριών που θα συμμετείχαν στην ταξινόμηση έγινε με κριτήρια:

- το στόχο της μελέτης
- το αναμενόμενο συγκεκριμένο ποσοστό ακρίβειας της ταξινόμησης
- της ευκολίας στον προσδιορισμό των κατηγοριών στις δορυφορικές εικόνες.

Σύμφωνα λοιπόν με το χάρτη χρήσεων γης CLC 2000, αναγνωρίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν στις δορυφορικές εικόνες οι κατηγορίες κάλυψης εδάφους. Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι δεδομένου του μεγέθους της ψηφίδας των δορυφόρων Landsat-5/ TM (30m) και κυρίως του Landsat-2/ MSS (79m), υπήρξαν κάποιες γενικεύσεις όσον αφορά στην αναγνώριση των διαφόρων τάξεων.

Οι κατηγορίες κάλυψης γης που διακρίνονται στην περιοχή μελέτης, σύμφωνα με το CLC 2000, είναι οι εξής:

- 1. Υδάτινοι όγκοι και ρεύματα**
- 2. Μη αρδεύσιμες/αρόσιμες εκτάσεις**
- 3. Ετήσιες καλλιέργειες (μόνιμα αρδευόμενη γη, ορυζώνες)**
- 4. Βοσκότοποι**
- 5. Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας**
- 6. Σκληροφυλλική βλάστηση**
- 7. Δάση (πλατύφυλλα, κωνοφόρα, μικτά)**
- 8. Τεχνητές επιφάνειες**
- 9. Έλη**

Οι εννέα αυτές κατηγορίες συναντώνται και στις τέσσερις δορυφορικές εικόνες. Ορισμένες από αυτές καλύπτουν σε μεγάλο βαθμό την περιοχή μελέτης και άλλες αντιστοιχούν σε κάποια μικρή έκτασή της. Στην ταξινόμηση της εικόνας Landsat-5/TM με ημερομηνία λήψης 15 Ιουλίου 2009, συμμετείχαν άλλες δύο κατηγορίες για ακριβέστερα αποτελέσματα. Αυτές είναι:

10. Σύννεφα

11. Σκιές

Για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής, οι επικεφαλίδες (headings) και οι χρησιμοποιούμενοι όροι της ονοματολογίας έπρεπε να μεταφραστούν από τα αγγλικά στα ελληνικά. Η μετάφραση βέβαια παρουσίασε δυσκολίες λόγω της εξειδικευμένης ορολογίας, που αναφέρεται σε επιστημονικά πεδία, όπως είναι η γεωπονία, η δασολογία κ.λπ. Ακολουθούν κάποιοι διευκρινιστικοί ορισμοί του Corine Land Cover για την ονοματολογία των κατηγοριών κάλυψης γης που χρησιμοποιήθηκαν στη διατριβή (η αρίθμηση των ορισμών αντιστοιχεί σε αυτή του CLC 2000):

(2.1.1) Μη αρδεύσιμες/ αρόσιμες εκτάσεις: Δημητριακά, όσπρια, κτηνοτροφικά φυτά, φυτά με βρώσιμες ρίζες, γη σε αγρανάπαυση κι άλλες ετήσιες καλλιέργειες με πάνω από το 75% της συνολικής έκτασης σε αμειψισπορά. Περιλαμβάνεται καλλιέργεια λουλουδιών και δένδρων (φυτώρια) και λαχανικών, είτε σε ανοιχτό χώρο, είτε προστατευμένα κάτω από πλαστικό ή γυαλί σε θερμοκήπια. Περιλαμβάνονται επίσης αρωματικά και θεραπευτικά φυτά και φυτά, από τα οποία παράγονται καρυκεύματα. Εξαιρούνται τα μόνιμα λιβάδια.

(2.1.2) Μόνιμα αρδευόμενη γη: Καλλιέργειες, που αρδεύονται μόνιμα και περιοδικά, με χρήση μόνιμης υποδομής (αρδευτικοί αγωγοί, δίκτυο αποστράγγισης). Οι περισσότερες από αυτές τις καλλιέργειες δεν μπορούν να καλλιεργηθούν χωρίς τεχνητή παροχή ύδατος. Δεν περιλαμβάνεται γη, που αρδεύεται περιστασιακά.

(2.4.2) Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας: Σύνθεση μικρών αγροτεμαχίων διαφόρων ετήσιων καλλιεργειών, βοσκοτόπων και/ή μόνιμων καλλιεργειών. Μπορεί να περιλαμβάνονται διάσπαρτα σπίτια, τα οποία καταλαμβάνουν ποσοστό μικρότερο από 30%.

(3.2.1) Φυσικοί βοσκότοποι: Λιβάδια χαμηλής παραγωγικότητας. Βρίσκονται συχνά σε περιοχές με ανώμαλο έδαφος. Μπορεί να περιλαμβάνουν περιοχές με ρείκια (*Erica ssp.*), χερσότοπους και βραχώδεις περιοχές.

(3.2.3) Σκληροφυλλική βλάστηση: Βλάστηση θαμνωδών σκληρόφυλλων. Περιλαμβάνει αφενός ρεικότοπους (*Erica ssp.*), οι οποίοι είναι συνδυασμοί πυκνής βλάστησης που καλύπτουν όξινα πυριτιούχα εδάφη σε περιοχές της Μεσογείου και αφετέρου διακεκομμένους θαμνώδεις συνδυασμούς μεσογειακών ασβεστολιθικών υψιπέδων. Μπορεί επίσης να υπάρχουν μερικά απομονωμένα δέντρα.

(5.1.2) Συλλογές υδάτων: Φυσικές ή τεχνητές ζώνες ύδατος.

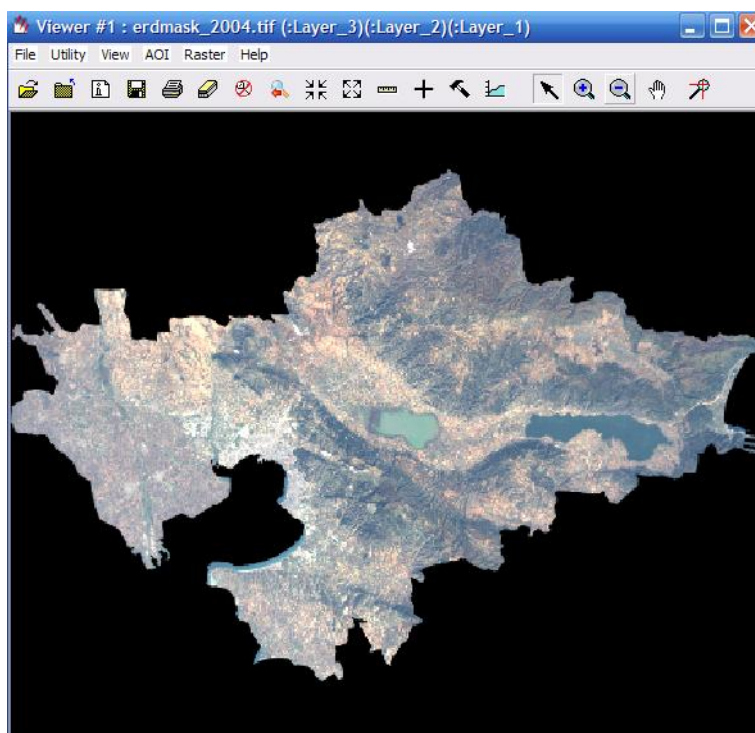
Με βάση τις κατηγορίες κάλυψης γης επιλέχθηκαν τα δείγματα εκπαίδευσης στις εικόνες, με τη μέθοδο στην οποία ο αναλυτής ορίζει ο ίδιος πολύγωνα στην εικόνα. Με τη χρήση των δικών του δυνατοτήτων αναγνώρισης προτύπου (με ή χωρίς συμπληρωματικές πληροφορίες επίγειας επαλήθευσης), ο αναλυτής μπορεί να αναγνωρίσει δείγματα εξετάζοντας τη δορυφορική εικόνα και να σχεδιάσει ένα πολύγωνο γύρω από την περιοχή εκπαίδευσης που τον ενδιαφέρει. Η περιοχή μέσα στο πολύγωνο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της υπογραφής. Τα πολύγωνα ορίζονται με τη χρήση των εργαλείων AOI (AOI tools) του Erdas και στη συνέχεια με την επιλογή «Signature Editor» δημιουργούνται οι υπογραφές από τα δείγματα εκπαίδευσης που αναγνωρίζονται με τα πολύγωνα.

Η ακρίβεια με την οποία επιλέγονται τα δείγματα εκπαίδευσης για καθεμιά κατηγορία κάλυψης γης, καθώς και ο διαχωρισμός των κατηγοριών κάλυψης γης μεταξύ τους σε μια δορυφορική εικόνα, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού φασματικών ζωνών (RGB/ **R**ed, **G**reen, **B**lue) κατά την απεικόνιση της δορυφορικής εικόνας. Είναι σημαντικό ο αναλυτής να δοκιμάσει διαφορετικούς RGB συνδυασμούς έως ότου καταλήξει σε εκείνον που τονίζει και ξεχωρίζει καθεμιά κατηγορία κάλυψης γης από τις υπόλοιπες. Στη διατριβή, μετά από αρκετές δοκιμές, προέκυψε ότι οι καταλληλότεροι RGB συνδυασμοί για κάθε κατηγορία κάλυψης γης η οποία συμμετείχε στην ταξινόμηση, είναι αυτοί που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

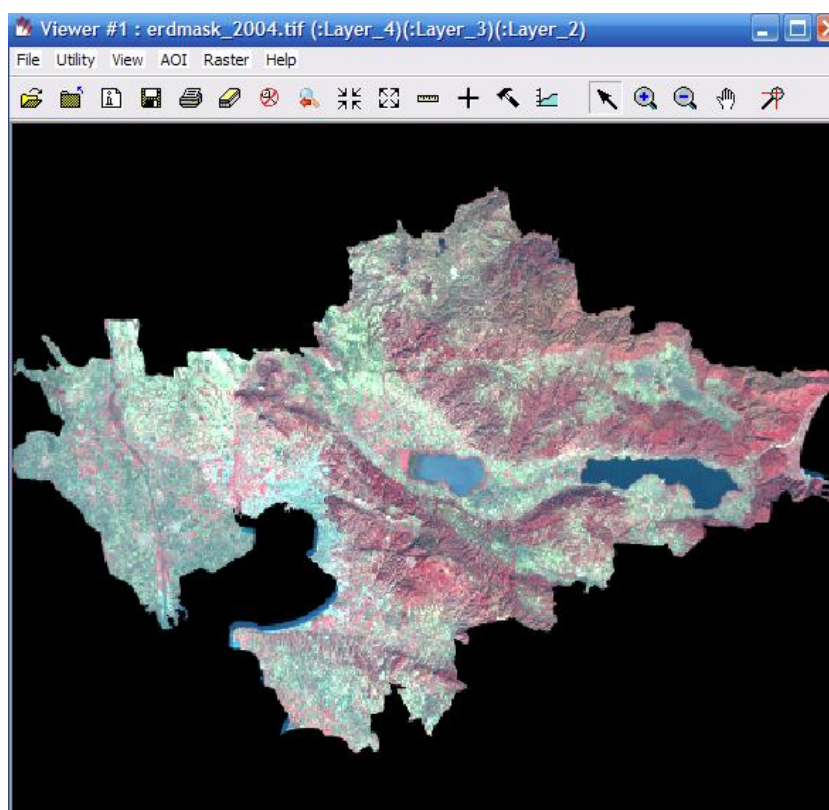
Πίνακας 6: Οι καταλληλότεροι RGB συνδυασμοί για κάθε κατηγορία κάλυψης γης που συμμετείχε στην ταξινόμηση.

Κατηγορία κάλυψης γης	Landsat-2/ MSS	Landsat-5/ TM
Υδάτινοι όγκοι και ρεύματα	RGB: 342	RGB: 432 ή 653
Μη αρδεύσιμες/αρόσιμες εκτάσεις	RGB: 123	RGB: 321
Ετήσιες καλλιέργειες	RGB: 342	RGB: 321
Βοσκότοποι	RGB: 241	RGB: 432
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	RGB: 321	RGB: 321
Σκληροφυλλική βλάστηση	RGB: 241	RGB: 432
Δάση	RGB: 342	RGB: 432
Τεχνητές επιφάνειες	RGB: 123	RGB: 345 ή 653 ή 321
Έλη	RGB: 321	RGB: 321
Σύννεφα	-	RGB: 321
Σκιές	-	RGB: 321

Είναι φανερό ότι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος συνδυασμός είναι ο RGB: 321, με τον οποίο τα γνωρίσματα του εδάφους εμφανίζονται σχεδόν με τα φυσικά τους χρώματα (Εικόνα 17). Έτσι είναι πιο εύκολο για τον αναλυτή να εντοπίσει και να ξεχωρίσει τις διαφορετικές κατηγορίες κάλυψης γης. Επιπρόσθετα, στις εικόνες Landsat-5/ TM για τις κατηγορίες «δάση» και «σκληροφυλλική βλάστηση» χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά ο χρωματικός συνδυασμός RGB: 432 (Εικόνα 18). Η σύνθεση αυτή χρησιμοποιείται διότι αναδεικνύει καλύτερα τη βλάστηση. Αυτό συμβαίνει γιατί η βλάστηση παρουσιάζει μεγάλη ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο (κανάλι 4), μέση ανακλαστικότητα στην περιοχή του πράσινου (κανάλι 2) και μικρή ανακλαστικότητα στην περιοχή του κόκκινου (κανάλι 3). Πιο συγκεκριμένα, η πράσινη βλάστηση (υγιής) ανακλά περίπου το 40-50% της υπέρυθρης ακτινοβολίας, ενώ η χλωροφύλλη στα φυτά απορροφά περίπου το 80-90% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο ορατό μέρος του φάσματος. Η σχετικά μεγάλη ανακλαστικότητα των πράσινων φύλλων στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου οφείλεται στην ασυνέχεια των δεικτών διάθλασης που παρουσιάζουν λόγω της δομής τους, των χώρων αέρα και των κυψελίδων τους με νερό (URL11).



Εικόνα 17: Φυσική έγχρωμη εικόνα (natural color image) Landsat-5/ TM του έτους 2004 της περιοχής μελέτης, που προήλθε από τη σύνθεση των φασματικών ζωνών RGB:321.



Εικόνα 18: Έγχρωμη υπέρυθρη εικόνα (color infrared image) Landsat-5/ TM του έτους 2004 της περιοχής μελέτης, που προήλθε από τη σύνθεση των φασματικών ζωνών RGB:432. Με σκούρο κόκκινο εμφανίζονται οι εκτάσεις σκληροφυλλικής βλάστησης ενώ με το ανοιχτό κόκκινο οι δασικές εκτάσεις.

Σε αυτό το στάδιο καλό είναι να υπολογιστεί και η διαχωριστικότητα (separability) μεταξύ των διαφορετικών τάξεων των πληροφοριών. Οι τύποι που χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν τη διαχωριστικότητα συσχετίζονται με τον αλγόριθμο μέγιστης πιθανοφάνειας. Επομένως, η αξιολόγηση της διαχωριστικότητας των υπογραφών βοηθά στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων μιας ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας. Για τον υπολογισμό της διαχωριστικότητας μετρήθηκε η απόσταση «Jefferies-Matusita» (JM), η οποία λαμβάνει υπόψη τις συνδιακυμάνσεις των υπογραφών στις συγκρινόμενες ζώνες, καθώς επίσης και τα μέσα διανύσματα των υπογραφών. Ο τύπος της απόστασης (JM) είναι (Swain and Davis, 1978) (Από URL4):

$$\alpha = \frac{1}{8}(\mu_i - \mu_j)^T \left(\frac{C_i + C_j}{2} \right)^{-1} (\mu_i - \mu_j) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{|(C_i + C_j)/2|}{\sqrt{|C_i| \times |C_j|}} \right)$$

$$JM_{ij} = \sqrt{2(1 - e^{-\alpha})}$$

Όπου:

i, j = οι δείκτες που αντιπροσωπεύουν τις δύο συγκρινόμενες υπογραφές (τάξεις),

C_i = ο πίνακας συμμεταβλητότητας της υπογραφής i ,

μ_i = είναι το μέσο διάνυσμα της υπογραφής i και

$|C_i|$ = η ορίζουσα του πίνακα C_i .

Η απόσταση (JM) έχει ανώτερα και κατώτερα όρια, λαμβάνοντας τιμές μεταξύ 0 και 1414. Οι τιμές που παρουσιάζει το πρόγραμμα προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό τους με το 1000. Εάν η υπολογισμένη απόκλιση είναι ίση με το κατάλληλο ανώτερο όριο, κατόπιν οι υπογραφές μπορεί να θεωρηθούν τελείως διαχωρίσιμες στις ζώνες που μελετώνται. Μια υπολογισμένη απόκλιση που ισούται με το μηδέν δείχνει ότι οι υπογραφές είναι αδιαχώριστες.

Οι πίνακες διαχωριστικότητας υπολογίστηκαν για τα δείγματα εκπαίδευσης και των τεσσάρων δορυφορικών εικόνων LANDSAT του νομού Θεσσαλονίκης. Οι τιμές που προέκυψαν δείχνουν αρκετά καλή διαχωριστικότητα μεταξύ των τάξεων, με εξαίρεση τις κατηγορίες «Ελη- Τεχνητές επιφάνειες» και «Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας- Ετήσιες καλλιέργειες» στις οποίες η διαχωριστικότητα εμφανίζεται σχεδόν σε όλες τις εικόνες μειωμένη. Η σύγκριση που παρατηρείται μεταξύ των

δειγμάτων των παραπάνω κατηγοριών δικαιολογείται όταν κάποιος εξετάσει τα φασματικά χαρακτηριστικά αυτών των γνωρισμάτων σε όλες τις ζώνες. Τότε θα διαπιστώσει ότι έχουν παρόμοιες φασματικές αποκρίσεις, γεγονός που δυσκολεύει το διαχωρισμό τους και την αποφυγή σύγχυσης όσο εκτελείται η διαδικασία της ταξινόμησης. Οι πίνακες διαχωριστικότητας των δειγμάτων εκπαίδευσης καθεμιάς δορυφορικής εικόνας παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα Ε.

Εφόσον οι διαχωριστικότητες των δειγμάτων εκπαίδευσης ήταν ικανοποιητικές για όλες τις κατηγορίες κάλυψης γης, στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των εικόνων. Σε όλες τις δορυφορικές εικόνες του νομού εφαρμόστηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τον παραμετρικό κανόνα μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood). Εκτός από τον παραμετρικό κανόνα της μέγιστης πιθανοφάνειας, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και αυτός της ελάχιστης απόστασης- που προτείνεται εξίσου για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση κάλυψης γης- αλλά μετά από εφαρμογή και των δύο, διαπιστώθηκε ότι ο κανόνας μέγιστης πιθανοφάνειας έδωσε μεγαλύτερης ακρίβειας αποτελέσματα. Η επιλογή του συγκεκριμένου παραμετρικού κανόνα επιβλεπόμενης ταξινόμησης έγινε επίσης σύμφωνα με τους Gumbricht et al. 1996, Inzana et al. 2003, Jobin et al. 2010, Macleod and Congalton 1998, Palandjian et al. 2009.

Για να θεωρηθεί όμως μια ταξινόμηση ολοκληρωμένη, όπως προαναφέρθηκε, απαιτείται να εκτιμηθεί η ακρίβειά της. Η ακρίβεια (“**accuracy**”) δηλώνει τη «**διόρθωση**», δηλαδή μετράει την απόκλιση μιας ταξινομημένης εικόνας άγνωστης ποιότητας, από κάποιο πρότυπο το οποίο υποθέτουμε ότι είναι ακριβές. Αν η ταξινόμηση της εικόνας ανταποκρίνεται σημαντικά στο πρότυπο, αυτό σημαίνει ότι η ταξινόμηση είναι ακριβής. Μια άλλη έννοια της ακρίβειας (“**precision**”) δηλώνει τη «**λεπτομέρεια**». Η διαφορά μεταξύ των δύο εννοιών της ακρίβειας (accuracy και precision) είναι σημαντική, καθώς είναι δυνατόν κατά την πρώτη έννοια να αυξηθεί η ακρίβεια της ταξινόμησης και παράλληλα να μειωθεί η λεπτομέρεια (URL14). Για παράδειγμα, όταν ο αναλυτής ταξινομεί μια περιοχή δένδρων, όχι ως «ορεινό δάσος κωνοφόρων» αλλά ως «μαύρη πεύκη», «κεφαλληνιακή ελάτη» και «δασική πεύκη», τότε η λεπτομέρεια αυξάνεται και κατά συνέπεια αυξάνεται και η πιθανότητα λάθους.

Ο υπολογισμός της ακρίβειας/ (“accuracy”) σπάνια λαμβάνει υπόψη του τη λεπτομέρεια, ωστόσο θα πρέπει πάντα να αναζητείται ο βαθμός στον οποίο η λεπτομέρεια εξυπηρετεί το σκοπό της έρευνας. Στη διατριβή, αφενός λόγω της μέτριας διακριτικής ικανότητας των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν

(Landsat-2/ MSS στα 79m και Landsat-5/ TM στα 30m) και αφετέρου λόγω του στόχου της μελέτης που ήταν ο εντοπισμός των μεταβολών στην κάλυψη γης και όχι η λεπτομερής διάκριση των καθεαυτών τύπων κάλυψης, δόθηκε βάση στην ακρίβεια με την έννοια της διόρθωσης (accuracy) και όχι της λεπτομέρειας (precision).

Μπορούν να εκτελεσθούν διάφοροι έλεγχοι που δείχνουν εάν τα δεδομένα υπογραφών αποτελούν μια πραγματική αντιπροσώπευση των pixels που πρόκειται να ταξινομηθούν για κάθε τάξη. Είναι δυνατόν να γίνει εκτίμηση των υπογραφών που δημιουργήθηκαν τόσο με επιβλεπόμενη όσο και με μη επιβλεπόμενη εκπαίδευση. Στη διατριβή, η εκτίμηση των υπογραφών έγινε με τον πίνακα πιθανοτήτων (contingency matrix) του λογισμικού Erdas Imagine. Με τη μέθοδο αυτή εκτελείται μια γρήγορη ταξινόμηση των pixels σε ένα σετ δειγμάτων εκπαίδευσης για να ελεγχθεί τι ποσοστό των pixels-δειγμάτων ταξινομούνται πράγματι όπως ήταν αναμενόμενο. Αυτά τα ποσοστά παρουσιάζονται στον πίνακα πιθανοτήτων. Σημειώνεται ότι αυτή η μέθοδος ισχύει μόνο για την επιβλεπόμενη εκπαίδευση για την οποία υπάρχουν πολύγωνα ως δείγματα εκπαίδευσης.

Παρήχθη λοιπόν ένας πίνακας σφάλματος για κάθε ταξινόμηση, προκειμένου να καθοριστεί πόσο καλά ο ταξινομητής μέγιστης πιθανοφάνειας ταξινόμησε την περιοχή εκπαίδευσης. Εκτός από τη συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης, υπολογίστηκε επιπλέον η ακρίβεια του χρήστη και η ακρίβεια του παραγωγού. Η ακρίβεια του χρήστη μετρά τη πιθανότητα ένα pixel που ταξινομείται στο χάρτη/στην εικόνα, να αντιπροσωπεύει πραγματικά εκείνο το pixel στο έδαφος. Η ακρίβεια του παραγωγού προσδιορίζει την πιθανότητα ένα pixel αναφοράς να ταξινομείται σωστά.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση ήταν μια φορτική διαδικασία που θα μπορούσε να βελτιωθεί περαιτέρω. Η ελάχιστη απαιτούμενη ολική ακρίβεια για μια ταξινόμηση που αφορά στην κάλυψη της γης, όπως προαναφέρθηκε, είναι 85%. Προκειμένου να επιτευχθεί η συγκεκριμένη ακρίβεια, χρειάστηκε οι ταξινομήσεις των δορυφορικών εικόνων να επαναληφθούν 2-3 φορές τουλάχιστον. Κάθε φορά επιλέγονταν νέα δείγματα εκπαίδευσης για τη δημιουργία υπογραφών, εφαρμόζονταν η διαδικασία της ταξινόμησης και εκτιμούνταν εκ νέου η ακρίβειά της. Μόνο όταν επιτεύχθηκαν τα ελάχιστα απαιτούμενα όρια ακρίβειας της ταξινόμησης, έγιναν αποδεκτά τα αποτελέσματά της και παράχθηκε η θεματική εικόνα του νομού Θεσσαλονίκης με την κάλυψη γης της εκάστοτε χρονιάς. Η ολική ακρίβεια ταξινόμησης που επιτεύχθηκε για καθεμιά από τις τέσσερις δορυφορικές εικόνες της διατριβής μπορεί να μην ήταν

η μέγιστη δυνατή, εντούτοις λαμβάνοντας υπόψη τους χρονικούς περιορισμούς, την περιοχή που κάλυπτε η σκηνή και το γεγονός ότι κάποιος θα μπορούσε να ξοδέψει μέρες επαναλαμβάνοντας τις ταξινομήσεις μέχρι να κριθούν πλήρως ικανοποιητικές, τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι λογικά.

4.3.2 Αποτελέσματα ταξινόμησης

Σε όλες τις ταξινομημένες εικόνες του νομού Θεσσαλονίκης, το **δυτικό τμήμα** του νομού καλύπτεται σχεδόν εξ ολοκλήρου από καλλιέργειες. Το μεγαλύτερο ποσοστό καλύπτεται από ετήσιες καλλιέργειες και ένα μικρότερο ποσοστό από σύνθετα συστήματα καλλιέργειας. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο δεδομένου ότι στην περιοχή αυτή ρέουν τα μεγαλύτερα ποτάμια του νομού όπως ο Αξιός και ο Λουδίας, με αποτέλεσμα να είναι ιδιαίτερα εύφορη και πλούσια σε νερό. Μάλιστα στο τελευταίο τμήμα του ποταμού Αξιού, όπου εκβάλλει στο Θερμαϊκό κόλπο, σχηματίζεται μια εκτεταμένη βαλτώδης περιοχή γύρω από το δέλτα, η οποία ταξινομείται ως ξεχωριστή κατηγορία κάλυψης γης με την ονομασία «Έλη». Όμως η κατηγορία «Έλη» έχει παρόμοια φασματική απόκριση με την κατηγορία «Τεχνητές Επιφάνειες», με αποτέλεσμα να προκαλεί σύγχυση στον αλγόριθμο και ορισμένες περιοχές στο δέλτα του ποταμού να ταξινομούνται ως αστικές ενώ στην πραγματικότητα αποτελούν βάλτο. Οι τεχνητές επιφάνειες καλύπτουν κυρίως την πόλη της Θεσσαλονίκης.

Στο **βορειοανατολικό τμήμα** του νομού υπάρχουν αρκετές δασικές εκτάσεις οι οποίες περιλαμβάνουν κωνοφόρα, πλατύφυλλα και μικτά δάση. Σκληροφυλλική βλάστηση καθώς επίσης και μη αρδεύσιμες/ αρόσιμες εκτάσεις υπάρχουν διάσπαρτες στο κεντρικό και νότιο τμήμα του νομού. Οι βοσκότοποι εκτείνονται κυρίως στα βόρεια και κεντρικά. Τέλος, στο **κεντρικό και ανατολικό τμήμα** του νομού, βρίσκονται οι δυο μεγάλες λίμνες Κορώνεια και Βόλβη αντίστοιχα, γύρω από τις οποίες αναπτύσσονται κυρίως σύνθετα συστήματα καλλιέργειας.

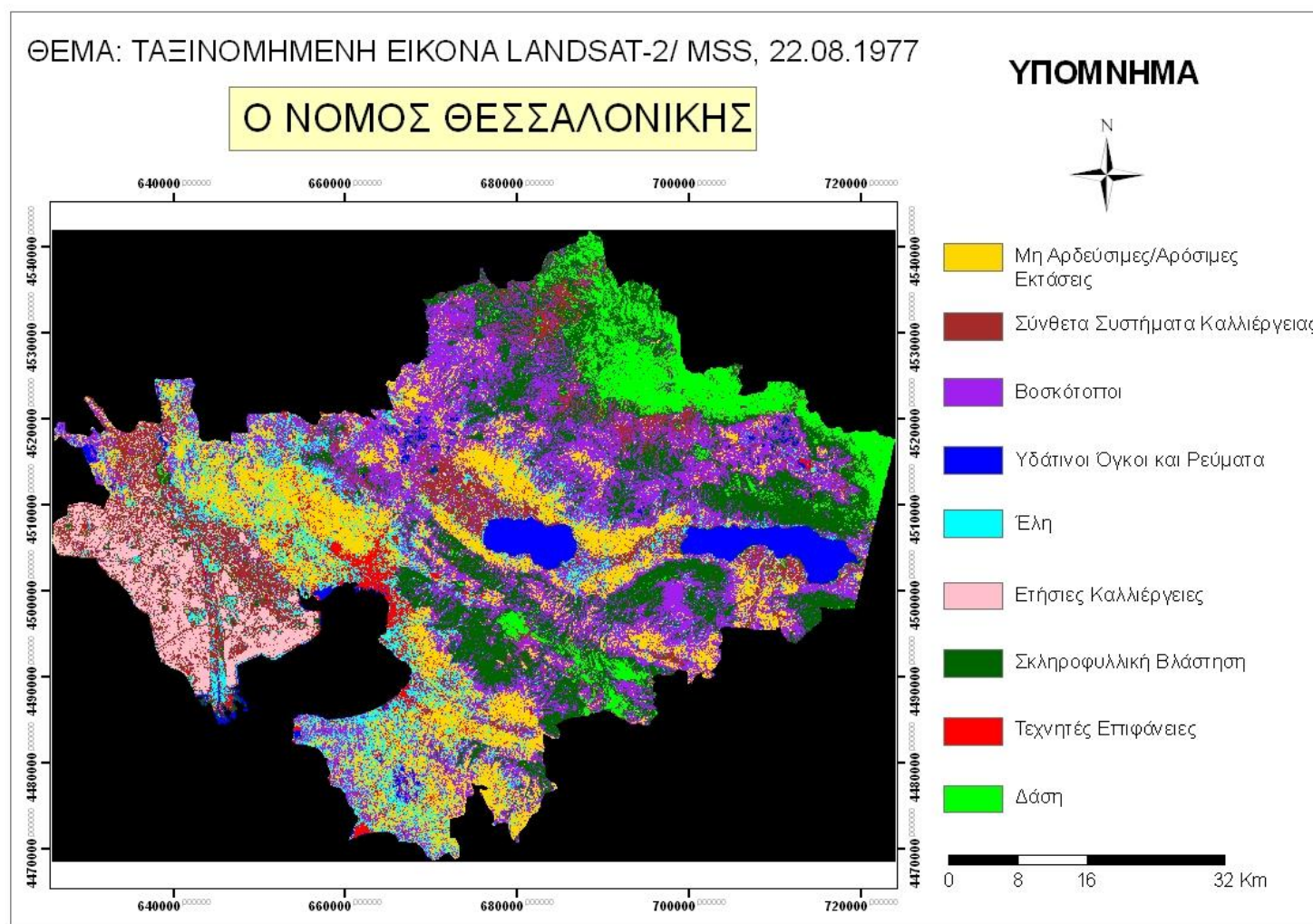
Ακολουθούν οι ταξινομημένες εικόνες του νομού Θεσσαλονίκης με το ποσοστό της συνολικής ακρίβειας ταξινόμησης. Ο πίνακας σφάλματος (Error Matrix), η ολική και επιμέρους ακρίβεια (Accuracy Totals) καθώς και ο στατιστικός συντελεστής K (Kappa Statistics) για καθεμιά δορυφορική εικόνα παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα Ε.

Πίνακας 7: Συνολική ακρίβεια και στατιστικός δείκτης K για καθεμιά ταξινόμηση.

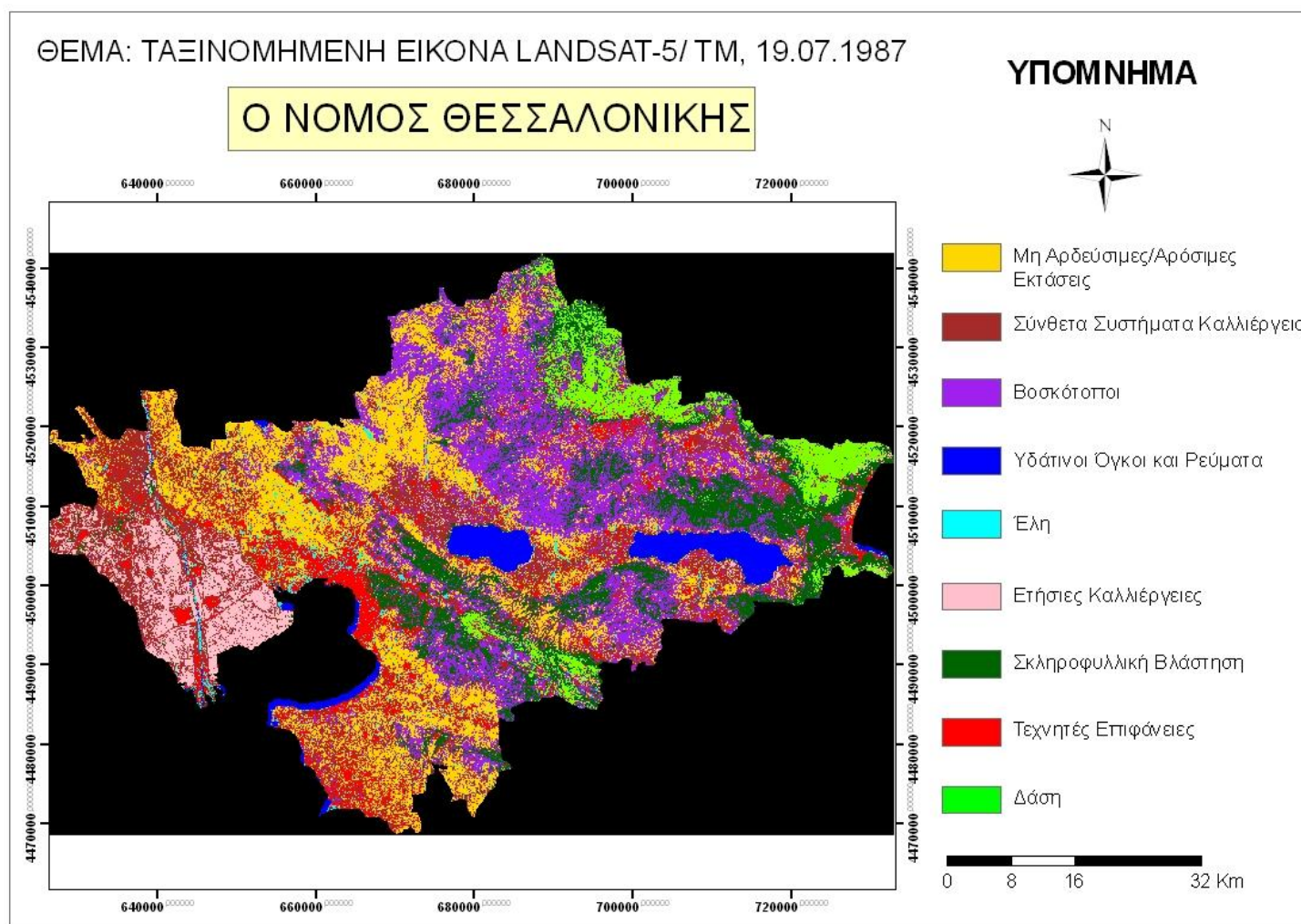
ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (ΠΟΣΟΣΤΟ %)	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ K
Landsat 2/ MSS, 22.08.1977	87.84%	0.8611
Landsat 5/ TM, 19.07.1987	89.54%	0.8802
Landsat 5/ TM, 22.11.2004	87.33%	0.8569
Landsat 5/ TM, 15.07.2009	89.41%	0.8827

Στην ταξινομημένη δορυφορική εικόνα Landsat-2/ MSS με ημερομηνία λήψης 22 Αυγούστου 1977 (Εικόνα 19), παρατηρούμε ότι οι δασικές εκτάσεις καταλαμβάνουν σχεδόν όλο το βορειοανατολικό τμήμα του νομού. Οι τεχνητές επιφάνειες συγκεντρώνονται κυρίως στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Επιπλέον, οι λίμνες Βόλβη και Κορώνεια έχουν μεγάλο βάθος και καταλαμβάνουν αρκετά μεγάλη έκταση. Εκτός από τις δύο λίμνες εντοπίζονται και σε πολλά άλλα σημεία υδάτινες επιφάνειες. Αρκετά μεγάλο κομμάτι του νομού καλύπτεται από φυσικούς βοσκότοπους, ενώ οι μη αρδεύσιμες/αρόσιμες εκτάσεις είναι σχετικά περιορισμένες.

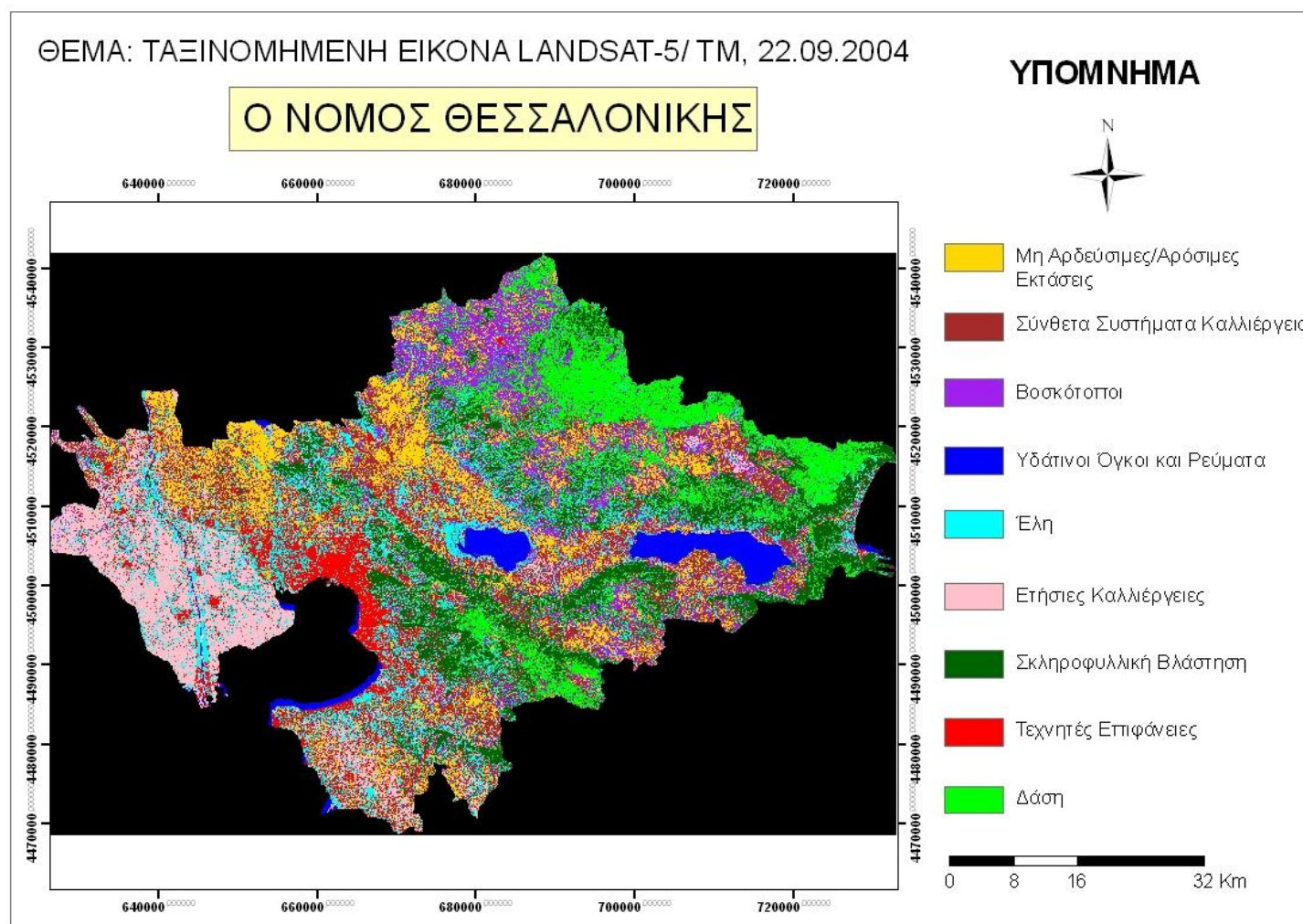
Στην ταξινομημένη δορυφορική εικόνα Landsat-5/ TM με ημερομηνία λήψης 19 Ιουλίου 1987 (Εικόνα 20), παρατηρείται ότι υπάρχει έντονη σύγχυση μεταξύ των κατηγοριών «Τεχνητές Επιφάνειες» - «Έλη», όπως αναφέρθηκε παραπάνω, παρόλο που αποτελούν δύο ξεχωριστές κατηγορίες για τις οποίες λήφθηκαν διαφορετικά δείγματα εκπαίδευσης. Επίσης, είναι πιθανόν να έχει συμβεί και το αντίστροφο, δηλαδή περιοχές που αποτελούν στην πραγματικότητα τεχνητές επιφάνειες να ταξινομηθήκαν ως έλη. Η έκταση όμως που καταλαμβάνουν είναι τόσο μικρή, που η πραγματική κάλυψη μπορεί να διαπιστωθεί μόνο με χρήση GPS για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων και επίγεια επαλήθευση. Τέλος, σε σύγκριση με την ταξινομημένη εικόνα του '77, προκύπτει ότι ο νομός καλύπτεται από περισσότερους βοσκότοπους και μη αρδεύσιμες/αρόσιμες εκτάσεις.



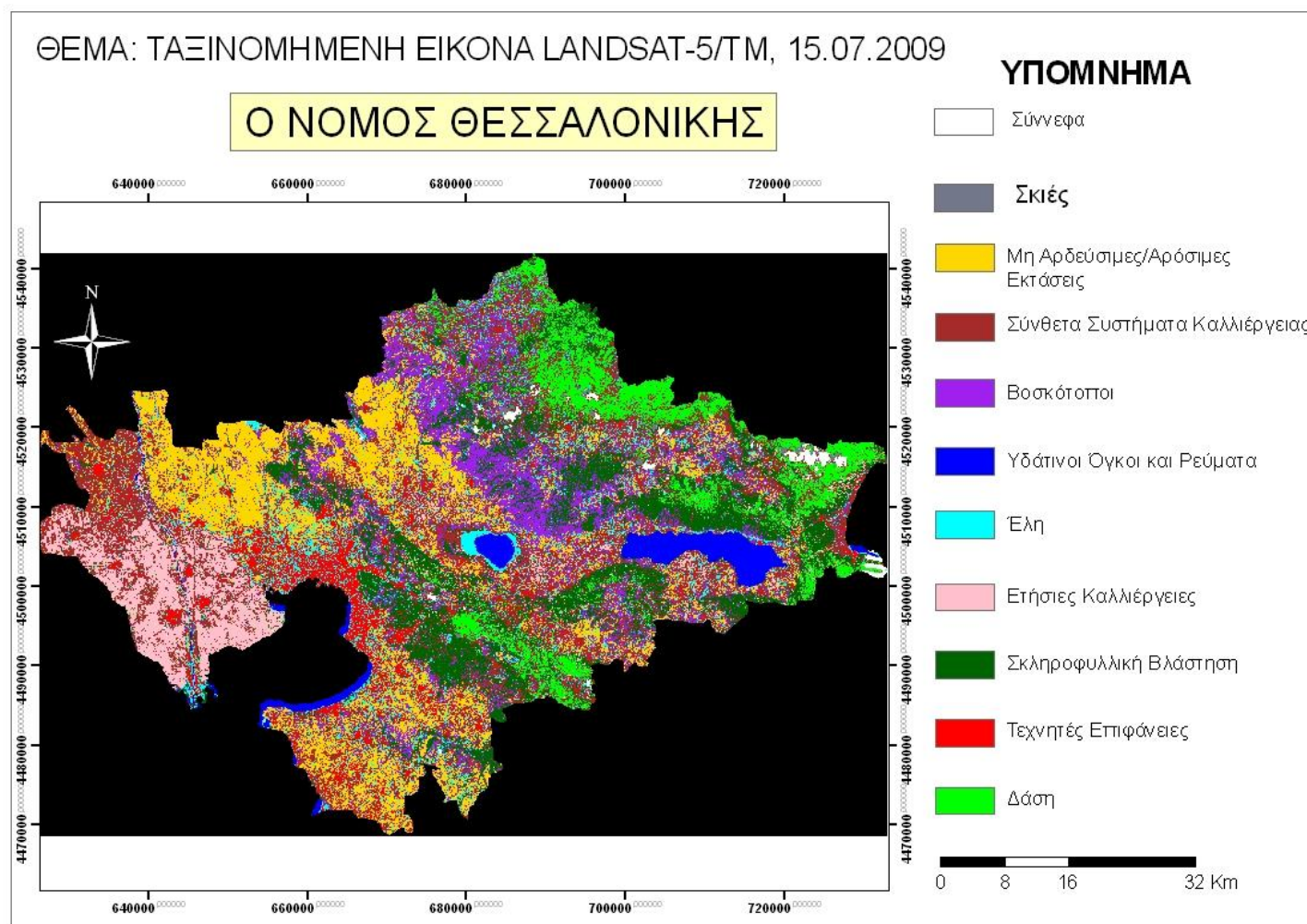
Εικόνα 19: Ταξινομημένη εικόνα Landsat-2/ MSS με ημερομηνία λήψης 22 Αυγούστου 1977.



Εικόνα 20: Ταξινομημένη εικόνα Landsat-5/ TM με ημερομηνία λήψης 19 Ιουλίου 1987.



Εικόνα 21: Ταξινομημένη εικόνα Landsat-5/ TM με ημερομηνία λήψης 22 Νοεμβρίου 2004.



Εικόνα 22: Ταξινομημένη εικόνα Landsat-5/ TM με ημερομηνία λήψης 15 Ιουλίου 2009.

Η δορυφορική εικόνα Landsat-5/ TM με ημερομηνία λήψης 22 Νοεμβρίου 2004 (Εικόνα 21), έχει την ιδιαιτερότητα ότι λήφθηκε το φθινόπωρο σε σχέση με τις υπόλοιπες εικόνες που λήφθηκαν όλες το καλοκαίρι, με αποτέλεσμα να υπάρχει δυσκολία στη διάκριση των διαφορετικών τύπων καλλιέργειας. Παρόλο που χρησιμοποιήθηκαν πολλοί διαφορετικοί RGB συνδυασμοί, ήταν αδύνατο να ξεχωρίσει κάποιος τις καλλιέργειες μεταξύ τους, διότι έδιναν την ίδια οπτική εντύπωση. Έτσι το δυτικό τμήμα του νομού εμφανίζεται να καλύπτεται όλο από ετήσιες καλλιέργειες, ενώ πιθανώς ορισμένες από αυτές τις εκτάσεις να είναι στην πραγματικότητα σύνθετα συστήματα καλλιέργειας. Τέλος, λόγω των αυξημένων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, η υγρασία του εδάφους είναι αυξημένη, με αποτέλεσμα ο αλγόριθμος να μπερδεύεται και να ταξινομεί πάρα πολλές περιοχές σε διαφορετικά σημεία σε όλη την έκταση του νομού ως «έλη», ενώ ανήκουν σε κάποια άλλη κατηγορία κάλυψης γης.

Κλείνοντας, στην ταξινομημένη δορυφορική εικόνα Landsat-5/ TM με ημερομηνία λήψης 15 Ιουλίου 2009 (Εικόνα 22), συναντώνται αρκετά σύννεφα και σκιές κυρίως στο βορειοανατολικό τμήμα του νομού, κάτι που δεν ισχύει για τις υπόλοιπες εικόνες. Αυτός είναι ο λόγος που σε αυτή την ταξινόμηση και μόνο, συμμετείχαν επιπλέον οι κατηγορίες «Σύννεφα» και «Σκιές». Επιπλέον, οι τεχνητές επιφάνειες έχουν τη μεγαλύτερη έκταση από κάθε προηγούμενο έτος, ενώ η λίμνη Κορώνεια έχει υποστεί μεγάλου βαθμού συρρίκνωση. Η έκταση που καλυπτόταν προηγουμένως με το νερό της λίμνης τώρα έχει μετατραπεί σε έλος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βιοφυσικά και τεχνητά χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας καταγράφονται με τη χρήση τεχνικών απογραφής και Τηλεπισκόπησης. Μερικές από αυτές τις πληροφορίες είναι στατικές (αμετάβλητες στο χρόνο), ενώ άλλες έχουν μια δυναμικότητα (μεταβάλλονται στο χρόνο). Είναι σημαντικό να υπάρχει η δυνατότητα οι μεταβολές αυτές να εντοπίζονται και να καταγράφονται με ακρίβεια.

Γενικά, ο εντοπισμός μεταβολών που βασίζεται σε τεχνικές Τηλεπισκόπησης περιλαμβάνει την απόκτηση εικόνων σε ψηφιακή μορφή, την προεπεξεργασία τους και την επιλογή ενός σχετικού αλγορίθμου και εκτίμηση της ακρίβειας του. Σύμφωνα με τον Coppin et al. (2004) (Από Bharti et al., 2011), η απόκτηση εικόνων κατάλληλων ημερομηνιών, η επιλογή αισθητήρων και οι αλγόριθμοι εντοπισμού μεταβολών, αποτελούν εξαιρετικά κρίσιμους παράγοντες για τον εντοπισμό μεταβολών στη βλάστηση μεταξύ διαφορετικών χρονικών περιόδων.

Συχνά χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες ημερομηνίες ώστε να ελαχιστοποιηθούν αφενός οι διαφορές στην ανάκλαση που προκαλούνται από εποχιακές παραλλαγές στα λειτουργικά χαρακτηριστικά της βλάστησης και αφετέρου οι διαφορές λόγω ύψους του ήλιου. Ακόμα και όταν επιλέγονται ημερομηνίες επετείων, φαινολογικές διαφορές εξαιτίας των χρόνων με το χρόνο παραλλαγών στη χιονόπτωση και στην έκθεση, μπορεί να οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα αν δε χρησιμοποιηθούν επαρκείς επίγειες πληροφορίες για την ερμηνεία των εικόνων.

5.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ

Μια όλο και πιο δημοφιλής εφαρμογή των δεδομένων τηλεπισκόπησης είναι ο εντοπισμός μεταβολών. Ο **εντοπισμός μεταβολών (change detection)** είναι η διαδικασία αναγνώρισης διαφορών στην κατάσταση ενός αντικειμένου ή φαινομένου, παρατηρώντας το σε διαφορετικούς χρόνους (Singh, 1989) (Από Macleod and Congalton, 1998).

Μια τεχνική εντοπισμού μεταβολών πάνω σε διαχρονικές εικόνες της ίδιας γεωγραφικής περιοχής, μπορεί να βασισθεί σε ένα σύστημα απεικόνισης που να έχει τις παρακάτω προδιαγραφές:

- Να έχει μια συστηματική περίοδο λήψης (π.χ. 18 ημέρες).
- Οι καταγραφές των εικόνων της ίδιας γεωγραφικής περιοχής να γίνονται την ίδια ώρα της ημέρας για να ελαχιστοποιούνται οι διαφορετικές επιδράσεις λόγω ύψους του ήλιου (βλ. παράγραφο 3.3)
- Να διατηρείται η ίδια κλίμακα (κυκλική τροχιά) και γεωμετρία της εικόνας.
- Να μειώνεται η μετατόπιση του αναγλύφου όσο το δυνατόν περισσότερο.
- Να καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία σε προκαθορισμένες και χρήσιμες φασματικές περιοχές.

Εάν ικανοποιούνται οι παραπάνω συνθήκες, είναι δυνατόν πάνω στα τηλεπισκοπικά δεδομένα να αναλυθούν τα χωρικά, τα φασματικά και τα διαχρονικά χαρακτηριστικά για την παραγωγή στατιστικών στοιχείων, μεταβολών κάλυψης γης και χαρτών μεταβολών κάλυψης γης.

Η εφαρμογή των ψηφιακών τεχνικών εντοπισμού μεταβολών με τη χρήση των τηλεπισκοπικών δεδομένων απαιτεί κάποια γενικά βήματα. Αρχικά προσδιορίζεται από τον αναλυτή η περιοχή μελέτης. Ακολουθεί ο ορισμός της συχνότητας εντοπισμού μεταβολών (π.χ. εποχιακός, ετήσιος κ.λπ.). Τέλος, μια από τις κυριότερες απαιτήσεις είναι ο προσδιορισμός των επιθυμητών τάξεων κάλυψης γης που πρέπει να μελετηθούν για τον εντοπισμό μεταβολών, με τη χρήση ενός κατάλληλου συστήματος ταξινόμησης.

Εκτός από τα παραπάνω γενικά βήματα, πρέπει ταυτόχρονα να γίνουν σημαντικές εκτιμήσεις κατά την εκτέλεση του εντοπισμού μεταβολών. Πρώτον απαιτείται η επιλογή ενός κατάλληλου αλγορίθμου εντοπισμού μεταβολών. Εξίσου σημαντική είναι και η επιλογή κατάλληλης τεχνικής ταξινόμησης (επιβλεπόμενη ή μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση). Τέλος, σε περίπτωση εκτέλεσης εντοπισμού μεταβολών με τη χρήση αλγορίθμων G.I.S., περιλαμβάνεται η χρήση του πίνακα εντοπισμού μεταβολών σε επιλεγμένες κατηγορίες, η δημιουργία χάρτη μεταβολών και ο υπολογισμός στατιστικών μεταβολών (URL14).

5.2.1 Αλγόριθμοι εντοπισμού μεταβολών

Οι τεχνικές εντοπισμού μεταβολών περιλαμβάνουν ένα ευρύ πεδίο μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση, περιγραφή και ποσοτικοποίηση των διαφορών μεταξύ εικόνων της ίδιας περιοχής σε διαφορετικούς χρόνους ή υπό διαφορετικές συνθήκες. Η επιλογή ενός κατάλληλου αλγορίθμου εντοπισμού μεταβολών βασίζεται στην ανάλυση αρκετών παραγόντων. Αρχικά, ο αναλυτής πρέπει να γνωρίζει τα πολιτισμικά και βιοφυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Έπειτα, είναι αναγκαίο να γνωρίζει την ακρίβεια με την οποία καταγράφεται η πολλών ημερομηνιών εικόνα. Τέλος, πρέπει ο αναλυτής να αντιλαμβάνεται την επιλογή αλγορίθμων εντοπισμού μεταβολών, το βαθμό ευλυγισίας και διαθεσιμότητας.

Υπάρχουν περίπου πέντε γενικές ομάδες αλγορίθμων εντοπισμού αλλαγών. Οι αλγόριθμοι αυτοί αφορούν:

- ❖ Την αφαίρεση διαχρονικών εικόνων (band subtraction).
- ❖ Τη διαίρεση διαχρονικών εικόνων (band ratioing).
- ❖ Τη σύγκριση ταξινομημένων διαχρονικών εικόνων.
- ❖ Τη σύγκριση προεπεξεργασμένων διαχρονικών εικόνων.
- ❖ Το διάλυμα ανάλυσης μεταβολών (URL14).

Κάποιες από τις τεχνικές εντοπισμού μεταβολών εφαρμόζονται πριν τη διαδικασία της ταξινόμησης (**τεχνικές Pre-Classification**). Οι τεχνικές αυτές συγκρίνουν διαχρονικές πολυφασματικές εικόνες. Η νέα εικόνα που προκύπτει είναι κατάλληλη για εντοπισμό μεταβολής, αλλά δεν παρέχει πληροφορία για το είδος της μεταβολής. Απλώς, η νέα εικόνα είναι καταλληλότερη για οπτική ερμηνεία. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται μετά την ταξινόμηση (**τεχνικές Post-Classification**) αναγνωρίζουν όχι μόνο τις ψηφίδες που έχουν μεταβληθεί, αλλά και το είδος των μεταβολών που έλαβαν χώρα (Πασιάκου, 2009).

Κλείνοντας, πρέπει να αναφερθεί ότι για τη λήψη αξιόπιστων αποτελεσμάτων, σε μια διαδικασία εντοπισμού μεταβολών, απαιτείται:

- ✓ οι διαχρονικές εικόνες να έχουν ληφθεί την ίδια εποχή (σε διαφορετική χρονολογία).
- ✓ οι διαχρονικές εικόνες να έχουν την ίδια χωρική και φασματική ανάλυση.
- ✓ οι δύο ταξινομημένες εικόνες να απεικονίζουν την ίδια γεωγραφική περιοχή για την απόλυτη ταύτιση των ψηφίδων.

- ✓ η περιοχή μελέτης να είναι μικρή, διότι η μέθοδος είναι αυτόματη και καθυστερεί να βγάλει τα τελικά αποτελέσματα (Πασιάκου, 2009).

5.2.1.1 Αλγόριθμος «Σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων»

Ο αλγόριθμος της «Σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων» αναγνωρίζει μεταβολές συγκρίνοντας δύο ταξινομημένες εικόνες που έχουν δημιουργηθεί ανεξάρτητα. Συγκεκριμένα, ένας αλγόριθμος συγκρίνει τις δύο ταξινομήσεις - χρησιμοποιώντας ζεύγη τάξεων που ορίστηκαν από τον αναλυτή- και δημιουργεί ένα χάρτη με τις περιοχές μεταβολών. Κωδικοποιώντας τα αποτελέσματα της ταξινόμησης της ημερομηνίας 1 και της ημερομηνίας 2, ο αναλυτής μπορεί να παράγει ένα χάρτη μεταβολών καθώς και ένα **πίνακα εντοπισμού μεταβολών (change detection matrix)**. Ως εκ τούτου, είναι δυνατόν να αναγνωρίσει όχι μόνο τις ψηφίδες που έχουν μεταβληθεί μεταξύ των δύο ημερομηνιών, αλλά και τη φύση των μεταβολών (URL14).

Η σύγκριση των τελικών ταξινομημένων εικόνων γίνεται ανά ζεύγος εικόνων με τη βοήθεια του πίνακα εντοπισμού μεταβολών. Η διαδικασία είναι αυτόματη και συγκρίνει ψηφίδα ανά ψηφίδα, γι' αυτό πρέπει να υπάρχει απόλυτη ταύτιση των δύο εικόνων (overlap). Τα κύρια διαγώνια στοιχεία του πίνακα αναπαριστούν τον αριθμό των αμετάβλητων ψηφίδων στις δύο διαχρονικές εικόνες και τα μη διαγώνια στοιχεία δηλώνουν την αλλαγή που έχει υποστεί διαχρονικά. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης μετά την ταξινόμηση μπορούν να εκτιμηθούν με δεδομένα από άλλες μεθόδους ή από επίγειες πληροφορίες σχετικές με τις μεταβολές. Η σύγκριση ταξινομημένων εικόνων είναι πιο χρονοβόρα ως μέθοδος και η ακρίβειά της εξαρτάται από την ακρίβεια της αρχικής ταξινόμησης.

5.2.2 Ακρίβεια τεχνικών εντοπισμού μεταβολών

Οι τεχνικές για εκτέλεση εντοπισμού μεταβολών με δορυφορικές εικόνες έχουν γίνει πολυάριθμες λόγω της αυξανόμενης καθολικής ικανότητας στο χειρισμό των ψηφιακών δεδομένων και της αυξανόμενης υπολογιστικής δύναμης. Παρόλα αυτά έχει διεξαχθεί σχετικά μικρή έρευνα για τον καθορισμό της ποσοτικής ακρίβειας των διαφορετικών μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών. Μέχρι σήμερα δεν έχουν αναπτυχθεί τυποποιημένες τεχνικές εκτίμησης ακρίβειας ή διαδικασίες για ανίχνευση αλλαγών. Είναι ξεκάθαρο ότι όσο πιο δημοφιλείς γίνονται οι έρευνες για ανίχνευση

αλλαγών, η επιτακτικότητα για ανάπτυξη διαδικασιών που καθορίζουν την ακρίβεια των διαφορετικών τεχνικών γίνεται διαρκώς πιο σημαντική.

Δεν υπάρχει κάποιος απλός τρόπος να αξιολογηθούν τα λάθη στην ταξινόμηση που συνδέονται με την ανίχνευση αλλαγών. Εκτός από τα λάθη που παράγονται στη μονής-ημερομηνίας διαδικασία ταξινόμησης, ο αναλυτής πρέπει να «αγωνιστεί» ενάντια στην αναπαραγωγή λαθών στη δεύτερης-ημερομηνίας ταξινόμηση, στον αλγόριθμο εντοπισμού μεταβολών και στις διαφορές εγγραφής και ραδιομετρικές διαφορές μεταξύ των δύο ημερομηνιών. Επίσης, οι έρευνες εντοπισμού μεταβολών είναι δύσκολο να εκτιμήσουν την ακρίβεια λόγω του μεγάλου αριθμού μεταβλητών που σχετίζονται με τη διαδικασία (Macleod and Congalton, 1998).

Η τεχνική της σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων για εντοπισμό μεταβολών είναι πιθανόν η πιο άμεση διαδικασία εντοπισμού μεταβολών, όμως ταυτόχρονα έχει το μεγαλύτερο ενδεχόμενο να είναι η λιγότερο ακριβής. Η ακρίβεια αυτής της μεθόδου είναι φτωχή πιθανόν λόγω του ότι συνδυάζει τα λάθη και των δύο ταξινομήσεων. Άλλες τεχνικές εντοπισμού μεταβολών όπως η PCA, μπορούν να ελαχιστοποιήσουν κάποια από τα λάθη της ταξινόμησης με το να ταξινομούν μόνο τις περιοχές που έχουν μεταβληθεί για τη δεύτερη ημερομηνία. Επιπλέον, για την τεχνική της σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων, πρέπει να υπάρχουν αρκετά βοηθητικά δεδομένα ώστε να ταξινομηθούν και οι δύο ημερομηνίες. Αντίθετα, κατά την ανίχνευση αλλαγών με την τεχνική PCA, το ποσοστό των βοηθητικών δεδομένων για τη δεύτερη ημερομηνία μπορεί να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό λόγω της ταξινόμησης μόνο ενός τμήματος της σκηνής.

5.3 ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΝΟΜΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

5.3.1 Μεθοδολογία εντοπισμού μεταβολών

Στη διατριβή, ο εντοπισμός των μεταβολών έγινε με την τεχνική της «σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων» (Εικόνα 23). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η τεχνική αυτή είναι η πιο άμεση τεχνική εντοπισμού μεταβολών αλλά ενδέχεται να έχει τη μικρότερη ακρίβεια, διότι συνδυάζει τα λάθη και των δύο ταξινομήσεων. Επιπρόσθετα, το βασικό χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι ότι η ακρίβειά της εξαρτάται από την ακρίβεια της αρχικής ταξινόμησης. Έτσι, έχοντας

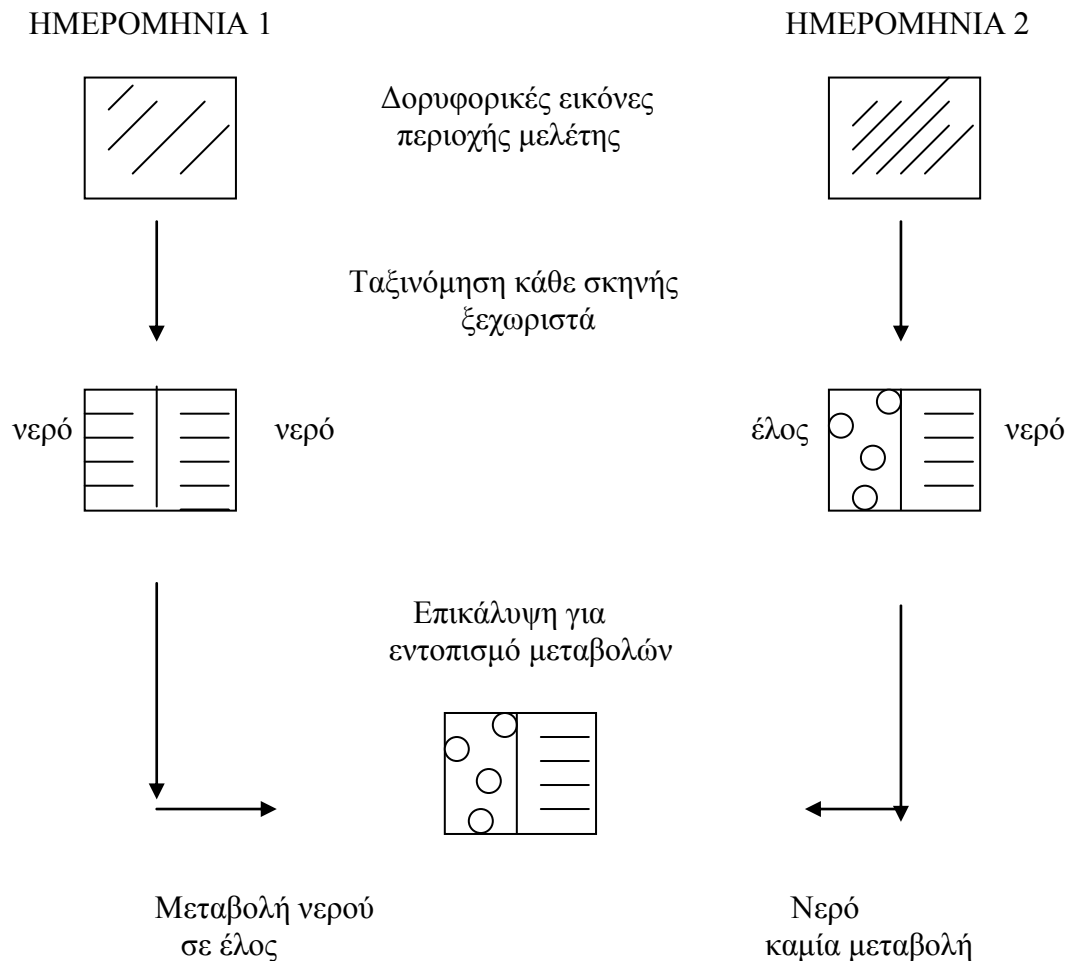
επιπλέον υπόψη ότι δεν υπάρχει κάποιος αλγόριθμος για την εκτίμηση της ακρίβειας του εντοπισμού μεταβολών, δόθηκε εξαρχής ιδιαίτερη βάση στην παραγωγή ταξινομημένων εικόνων όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ακρίβειας.

Συγκεκριμένα, αφιερώθηκε ίσως περισσότερος χρόνος στην κατάλληλη προεπεξεργασία των δορυφορικών εικόνων και στην επιλογή των βέλτιστων παραμέτρων για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης και εκτίμηση της ακρίβειάς της, από ότι για τον εντοπισμό των μεταβολών. Με αυτόν τον τρόπο όμως εξασφαλίστηκε ότι οι εικόνες στις οποίες θα εφαρμόζονταν η τεχνική του εντοπισμού μεταβολών ήταν απαλλαγμένες από πιθανά σφάλματα, ήταν απόλυτα ταυτισμένες μεταξύ τους και είχαν τη μέγιστη δυνατή ολική ακρίβεια ταξινόμησης. Θεωρητικά λοιπόν μπορούσε να επιτευχθεί υψηλή ακρίβεια και κατά τον εντοπισμό μεταβολών με την τεχνική της «σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων».

Η δορυφορική εικόνα Landsat-2/ MSS, με ημερομηνία λήψης 22 Αυγούστου 1977, δε συμμετείχε στη διαδικασία ψηφιακού εντοπισμού μεταβολών λόγω της μειωμένης διακριτικής της ικανότητας σε σχέση με τις άλλες δορυφορικές εικόνες (Landsat-5/ TM). Έτσι, ο εντοπισμός των οποιωνδήποτε μεταβολών ή μη, έγινε αποκλειστικά οπτικά.

Ο εντοπισμός αλλαγών στις νεότερες δορυφορικές εικόνες έγινε ψηφιακά με χρήση της τεχνικής της «σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων». Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, στις εικόνες Landsat-5/ TM του 1987, 2004 και 2009 εφαρμόστηκε η τεχνική της εγγραφής, ώστε να υπάρχει απόλυτη ταύτιση μεταξύ τους. Η ταύτιση των εικόνων αποτελεί βασική προϋπόθεση για τον ψηφιακό εντοπισμό μεταβολών, δεδομένου ότι πρόκειται για αυτόματη διαδικασία που εξετάζει τις εικόνες ψηφίδα προς ψηφίδα προκειμένου να αναγνωριστεί και η φύση της μεταβολής, πέρα από την ίδια τη μεταβολή.

Η τεχνική της «σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων»



Εικόνα 23: Σχηματική περιγραφή της λογικής του αλγορίθμου εντοπισμού μεταβολών που χρησιμοποιείται με την τεχνική της σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων.

Ο εντοπισμός των μεταβολών με την τεχνική της «σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων», πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα ψηφιακής ανάλυσης Erdas Imagine και την εντολή **Interpreter** → **GIS analysis** → **Matrix**. Αρχικά, εισάγονται οι δύο ταξινομημένες εικόνες, οι οποίες έχουν διαφορετική ημερομηνία λήψης αλλά απεικονίζουν ακριβώς την ίδια περιοχή. Ακολουθεί κατάλληλη κωδικοποίηση των κατηγοριών κάλυψης γης που συμμετείχαν στην ξεχωριστή ταξινόμηση των δύο εικόνων, ώστε να έχουν την ίδια σειρά. Τέλος, ο αλγόριθμος εντοπίζει αυτόματα τις όποιες μεταβολές έλαβαν χώρα, όπως επίσης και τις περιοχές που παρέμειναν αμετάβλητες και παράγεται η νέα εικόνα μεταβολών. Επιπλέον, με την εντολή **Raster** → **Attributes**, μπορεί κάποιος να δει τον αριθμό των pixels που δε μεταβλήθηκαν ή

σε περίπτωση που μεταβλήθηκαν «από» ποια κατηγορία «προς» ποια έγινε η μεταβολή.

Με αυτό τον τρόπο, οι δορυφορικές εικόνες συγκρίθηκαν σε ζεύγη και έπειτα παράχθηκε ο πίνακας εντοπισμού μεταβολών για κάθε ζεύγος εικόνων. Τα διαγώνια στοιχεία του πίνακα αντιπροσωπεύουν τα pixels που δε μεταβλήθηκαν, ενώ τα μη διαγώνια απεικονίζουν το είδος της μεταβολής που πραγματοποιήθηκε από μια κατηγορία κάλυψης γης σε άλλη. Βέβαια, δεν ήταν δυνατόν να γίνουν ποσοτικές εκτιμήσεις των μεταβολών λόγω έλλειψης δεδομένων «κυπαίθριας επιβεβαίωσης» των παλαιότερων εικόνων όπως επίσης και λόγω έλλειψης ενός απλού αλγορίθμου που να εκτιμά την ακρίβεια του χάρτη μεταβολών.

5.3.2 Αποτελέσματα εντοπισμού μεταβολών

Στην ταξινομημένη δορυφορική εικόνα **Landsat-2/ MSS με ημερομηνία λήψης 22 Αυγούστου 1977**, όπου ο εντοπισμός των μεταβολών έγινε οπτικά, παρατηρούμε ότι τα πλατύφυλλα, τα κωνοφόρα και τα μικτά δάση καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση, συγκρίνοντας με τις δασικές εκτάσεις στις νεότερες ταξινομημένες δορυφορικές εικόνες. Συγκεκριμένα, όλο σχεδόν το βορειοανατολικό τμήμα του νομού καλύπτεται από δάση, ενώ τα επόμενα έτη, τμήματα αυτών των εκτάσεων αντικαθίστανται από σκληροφυλλική βλάστηση και βοσκότοπους. Παρά το γεγονός ότι η δορυφορική εικόνα έχει ληφθεί το μήνα Αύγουστο, όταν οι θερμοκρασίες και η ξηρασία είναι ιδιαίτερα αυξημένες, οι μη αρδεύσιμες/ αρόσιμες εκτάσεις είναι εντυπωσιακά περιορισμένες και η επιφάνεια του νομού καλύπτεται στην πλειοψηφία της από βοσκότοπους και διαφόρων τύπων καλλιέργειες, γεγονός που δεν παρατηρείται στις νεότερες εικόνες.

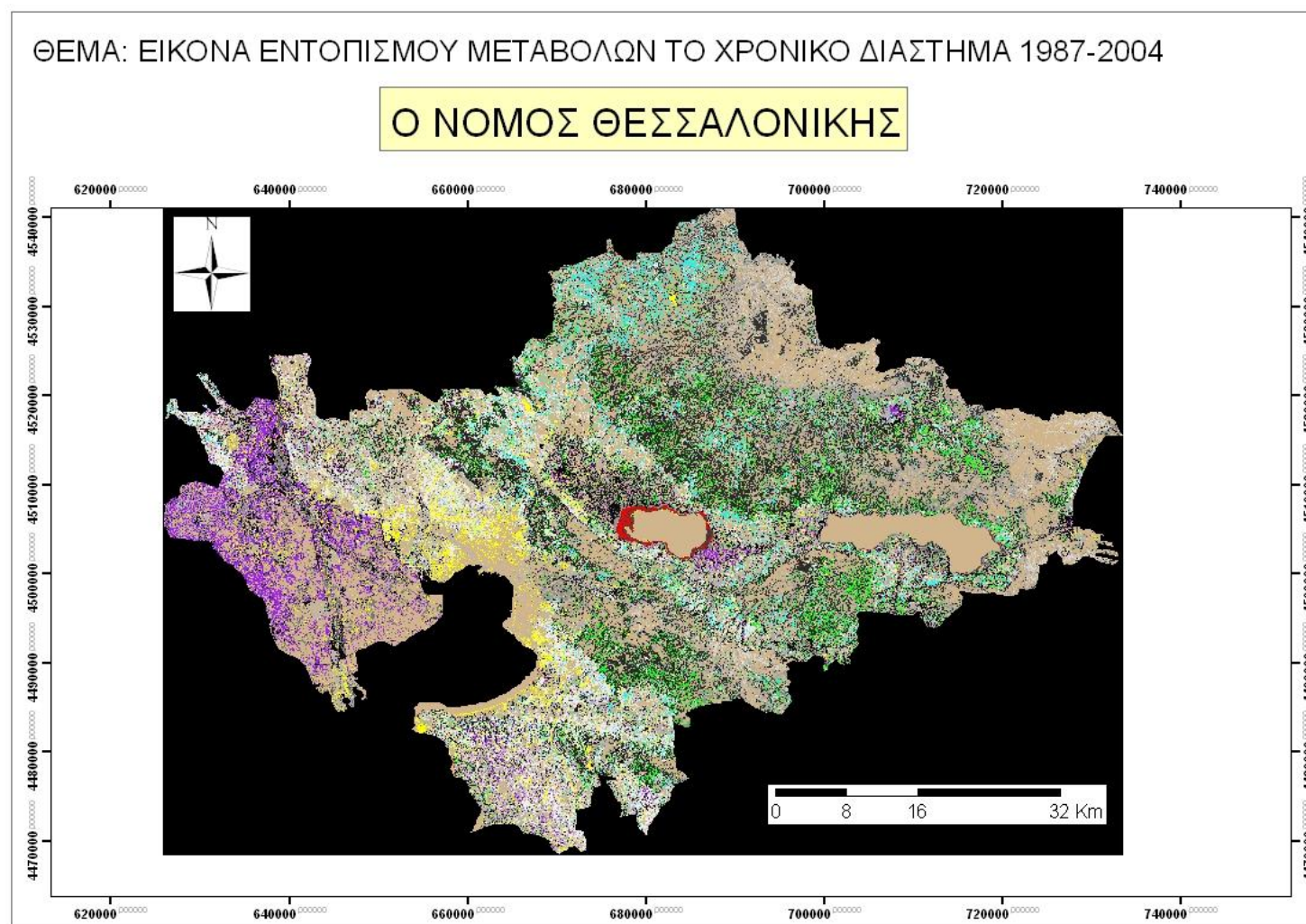
Επιπρόσθετα, δεδομένου ότι η βιομηχανική ανάπτυξη του νομού είχε ξεκινήσει από τις αρχές τις δεκαετίας του '60, ήδη το έτος 1977 οι τεχνητές επιφάνειες καταλαμβάνουν περίπου την έκταση που θα συνεχίσουν να έχουν και τις επόμενες δεκαετίες μέχρι σήμερα. Τέλος, οι λίμνες Βόλβη και Κορώνεια έχουν τη μέγιστη έκταση, καθώς επίσης σε πολλά άλλα σημεία εντοπίζονται υδάτινες επιφάνειες που δεν υπάρχουν στις υπόλοιπες εικόνες. Γενικά, οι μέγιστες μεταβολές παρατηρούνται όταν η εικόνα Landsat-2/ MSS του 1977 συγκρίνεται οπτικά με τη Landsat 5/ TM του 2009, η οποία είναι η πιο πρόσφατη. Όταν γίνεται σύγκριση με τις

ενδιάμεσα χρονικά εικόνες του 1987 και του 2004, οι μεταβολές είναι λιγότερο εμφανείς και όχι άμεσα αντιληπτές.

Ο εντοπισμός μεταβολών στις υπόλοιπες εικόνες έγινε ψηφιακά. Αναλυτικά, ο ψηφιακός εντοπισμός μεταβολών έγινε στα εξής ζεύγη εικόνων:

I. Σύγκριση ταξινομημένης εικόνας Landsat 5/ TM ημερομηνίας λήψης 19/07/1987 με την ταξινομημένη εικόνα Landsat 5/ TM ημερομηνίας λήψης 22/11/2004.

Κατά το χρονικό διάστημα 1987-2004, η πιο σημαντική μεταβολή στην κάλυψη γης του νομού Θεσσαλονίκης είναι η μετατροπή μεγάλου τμήματος περιμετρικά της λίμνης Κορώνειας από υδάτινη έκταση σε έλος. Η μεταβολή αυτή παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα στην εικόνα μεταβολών (Εικόνα 24). Επιπλέον, δεδομένου ότι η εικόνα του 2004 λήφθηκε φθινόπωρο όταν οι βροχοπτώσεις ήταν αυξημένες και υπήρχε μεγάλη ανάπτυξη στη βλάστηση, πολλές από τις εκτάσεις που το καλοκαίρι του 1987 αποτελούσαν μη αρδεύσιμες/αρόσιμες εκτάσεις εμφανίζονται να έχουν μετατραπεί σε εκτάσεις σκληροφυλλικής βλάστησης και βοσκότοπους, μεταβολή που απεικονίζεται με γαλάζιο χρώμα.



Εικόνα 24: Εικόνα εντοπισμού μεταβολών στο νομό Θεσσαλονίκης το χρονικό διάστημα 1987- 2004.

Στον πίνακα εντοπισμού μεταβολών (Πίνακας 8) παρουσιάζονται πολλές κατηγορίες κάλυψης γης να έχουν μεταβληθεί σε «έλη». Όμως δεν είναι λογικό εκτάσεις που πριν καλύπτονταν από σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, βοσκότοπους, τεχνητές επιφάνειες και μη αρδεύσιμες/ αρόσιμες εκτάσεις να έχουν μετατραπεί το έτος 2004 κατά ένα μεγάλο ποσοστό σε έλη. Αυτό που συμβαίνει σε αυτή την περίπτωση είναι ότι λόγω της αυξημένης υγρασίας που υπήρχε στο έδαφος που καλύπτονταν από αυτές τις κατηγορίες κατά το έτος 2004, προκλήθηκε σύγχυση στον αλγόριθμο, ο οποίος εντόπισε ότι υπήρξε μεταβολή αυτών των εκτάσεων σε έλη. Τα αντίστοιχα κελιά στον πίνακα εντοπισμού μεταβολών χρωματίζονται με κόκκινο για να επισημανθεί ότι οι μεταβολές αυτές οφείλονται σε σύγχυση του αλγόριθμου και όχι σε πραγματικές μεταβολές.

Επιπρόσθετα, ενδιαφέρουσες μεταβολές είναι αφενός η μετατροπή μέρους των σύνθετων συστημάτων καλλιέργειας σε ετήσιες καλλιέργειες και αφετέρου των βοσκότοπων σε σύνθετα συστήματα καλλιέργειας. Οι μεταβολές αυτές απεικονίζονται με μωβ και πράσινο χρώμα αντίστοιχα. Επίσης, όλες οι εκτάσεις που το 1989 ανήκαν σε κάποιον από τους εννέα διαφορετικούς τύπους κάλυψης γης ενώ το 2004 αποτελούν τεχνητές επιφάνειες, απεικονίζονται με κίτρινο χρώμα. Τέλος, οι περιοχές που δεν υπέστησαν καμία μεταβολή σημειώνονται με καφέ χρώμα.

Landsat-5/TM, 22/11/2004 Landsat-5/ TM, 19/07/1987	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	Βοσκότοποι	Υδάτινοι όγκοι	Έλη	Ετήσιες καλλιέργειες	Σκληροφυλλική Βλάστηση	Τεχνητές επιφάνειες	Δάση	Μη αρδεύσιμες αρόσιμες εκτάσεις	Class Totals
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	151225	48521	712	110260	159816	30752	26710	16166	71204	615366
Βοσκότοποι	176648	235335	207	157355	27496	137148	12040	160361	92745	999335
Υδάτινοι όγκοι	1332	3116	140704	8404	2456	1678	3557	917	44	162208
Έλη	18465	5117	3379	16898	11160	2678	29330	1277	10699	99003
Ετήσιες καλλιέργειες	18688	5778	309	36600	173248	5071	7363	1205	4315	252577
Σκληροφυλλική Βλάστηση	49042	35742	1048	58323	11417	318879	5326	145880	6837	632494
Τεχνητές επιφάνειες	97595	28711	1183	80992	62452	14223	118577	21174	54707	479614
Δάση	2703	9175	51	5883	587	43052	397	179166	344	241358
Μη αρδεύσιμες αρόσιμες εκτάσεις	241018	108492	104	113264	75655	17213	53794	15889	268890	894319
Class Totals	756716	479987	147697	587979	524287	570694	257094	542035	509785	4376274

Πίνακας 8: Πίνακας εντοπισμού μεταβολών μεταξύ των εικόνων **Landsat-5/ TM** με ημερομηνίες λήψης **19/07/1987 και 22/11/2004**. Τα χρωματισμένα κελιά είναι οι σημαντικότερες μεταβολές, ενώ τα κόκκινα είναι αυτές που οφείλονται σε σύγχυση του αλγόριθμου.

II. Σύγκριση ταξινομημένης εικόνας Landsat-5/ TM ημερομηνίας λήψης 22/11/2004 με την ταξινομημένη εικόνα Landsat-5/ TM ημερομηνίας λήψης 15/07/2009.

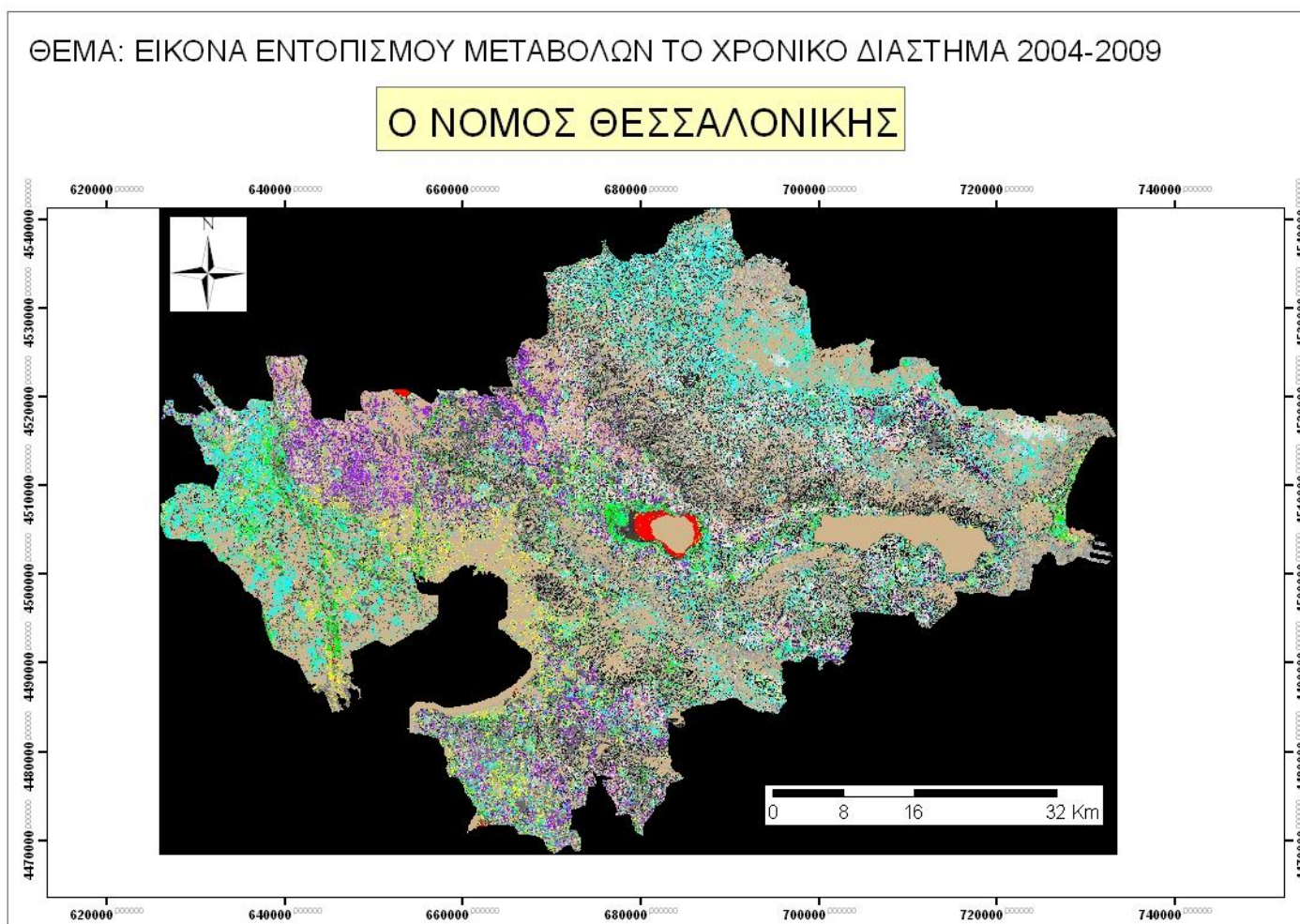
Κατά το χρονικό διάστημα 2004-2009, ένα νέο κομμάτι της λίμνης Κορώνειας έχει μετατραπεί σε έλος, με συνέπεια η έκταση της λίμνης να συρρικνωθεί ακόμη περισσότερο. Η παλαιά υδάτινη έκταση που πλέον αποτελεί βαλτώδη περιοχή απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα (Εικόνα 25). Με κίτρινο χρώμα εμφανίζονται όλες οι εκτάσεις που το 2004 ανήκαν σε κάποιον από τους εννέα διαφορετικούς τύπους κάλυψης γης, ενώ το 2009 μετατράπηκαν σε τεχνητές επιφάνειες.

Επιπλέον, σύμφωνα με τον πίνακα εντοπισμού μεταβολών (Πίνακας 9) εκτάσεις ελών έχουν μεταβληθεί σε σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, μια ιδιαιτέρως ενδιαφέρουσα αλλαγή η οποία στην εικόνα μεταβολών σημειώνεται με πράσινο χρώμα. Οι βαλτώδεις περιοχές που στην πλειοψηφία τους εκτείνονται στις όχθες του ποταμού Αξιού, σε όλο το μήκος ροής του, αποτελούν εξαιρετικά εύφορες εκτάσεις τις οποίες εκμεταλλεύτηκαν οι κάτοικοι και μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα ανέπτυξαν εκεί σύνθετα συστήματα καλλιέργειας.

Βέβαια, οι εκτάσεις ελών που στον πίνακα μεταβολών φαίνονται να έχουν μεταβληθεί σε βοσκότοπους, σκληροφυλλική βλάστηση και μη αρδεύσιμες/ αρόσιμες εκτάσεις δεν ισχύουν στην πραγματικότητα ως μεταβολές. Ο εντοπισμός των εν λόγω μεταβολών οφείλεται σε σύγχυση του αλγόριθμου, διότι η εικόνα του 2004 λήφθηκε φθινόπωρο, ενώ η εικόνα του 2009 με την οποία έγινε η σύγκριση λήφθηκε καλοκαίρι. Έτσι οι μεταβολές αυτές δεν ισχύουν και γι' αυτό δεν απεικονίζονται.

Επιπρόσθετα, σημαντική μεταβολή αποτελεί η μετατροπή κάποιων περιοχών που το 2004 καλύπτονταν από βοσκότοπους, ετήσιες καλλιέργειες και δάση σε σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, μέχρι το έτος 2009. Η μεταβολή αυτή απεικονίζεται με γαλάζιο. Επίσης, η μεταβολή σημαντικής έκτασης σύνθετων συστημάτων καλλιέργειας σε μη αρδεύσιμες/αρόσιμες εκτάσεις απεικονίζεται με μωβ χρώμα. Τέλος, όπως και στην εικόνα μεταβολών του προηγούμενου διαστήματος παρακολούθησης, έτσι και σε αυτή οι αμετάβλητες περιοχές έχουν καφέ χρώμα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το συνολικό άθροισμα των class totals των γραμμών και των στηλών δεν ταυτίζεται, διότι στην ταξινόμηση της εικόνας του 2009 συμμετείχαν επιπλέον οι τάξεις «σύννεφα» και «σκιές». Γι' αυτό το λόγο το τελευταίο διαγώνιο κελί, στο κάτω δεξιά μέρος του πίνακα δεν έχει συμπληρωθεί.



Εικόνα 25: Εικόνα εντοπισμού μεταβολών στο νομό Θεσσαλονίκης το χρονικό διάστημα 2004- 2009.

Landsat-5/TM, 15/07/2009	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	Βοσκότοποι	Υδάτινοι όγκοι	Έλη	Ετήσιες καλλιέργειες	Σκληροφυλλική βλάστηση	Τεχνητές επιφάνειες	Δάση	Μη αρδεύσιμες αρόσιμες εκτάσεις	Class Totals
Landsat-5/ TM, 22/11/2004										
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	191250	84952	703	62316	28193	74906	59104	6213	195245	702882
Βοσκότοποι	131932	124974	256	39167	8039	50311	9854	19341	60091	443965
Υδάτινοι όγκοι	2862	540	115116	13802	864	2660	1435	57	27	137363
Έλη	134952	97263	811	55932	39316	87510	49051	9552	70215	544602
Ετήσιες καλλιέργειες	133946	16771	1210	31500	186374	16339	39117	1611	61525	488393
Σκληροφυλλική βλάστηση	58559	46091	1600	12866	14392	294687	8398	80387	7847	524827
Τεχνητές επιφάνειες	26936	5468	3513	49776	8141	6185	113298	588	23190	237095
Δάση	107652	44288	232	14189	3897	108078	4414	196081	6356	485187
Μη αρδεύσιμες αρόσιμες εκτάσεις	94996	48433	48	44706	9199	10736	22646	1774	241802	474340
Class Totals	883049	468780	123489	324254	298415	651412	307317	315604	666298	

Πίνακας 9: Πίνακας εντοπισμού μεταβολών μεταξύ των εικόνων **Landsat 5/ TM** με ημερομηνίες λήψης **22/11/2004** και **15/07/2009**. Τα χρωματισμένα κελιά είναι οι σημαντικότερες μεταβολές, ενώ τα κόκκινα είναι αυτές που οφείλονται σε σύγχυση του αλγόριθμου.

III. Σύγκριση ταξινομημένης εικόνας Landsat-5/ TM ημερομηνίας λήψης 19/07/1987 με την ταξινομημένη εικόνα Landsat-5/ TM ημερομηνίας λήψης 15/07/2009.

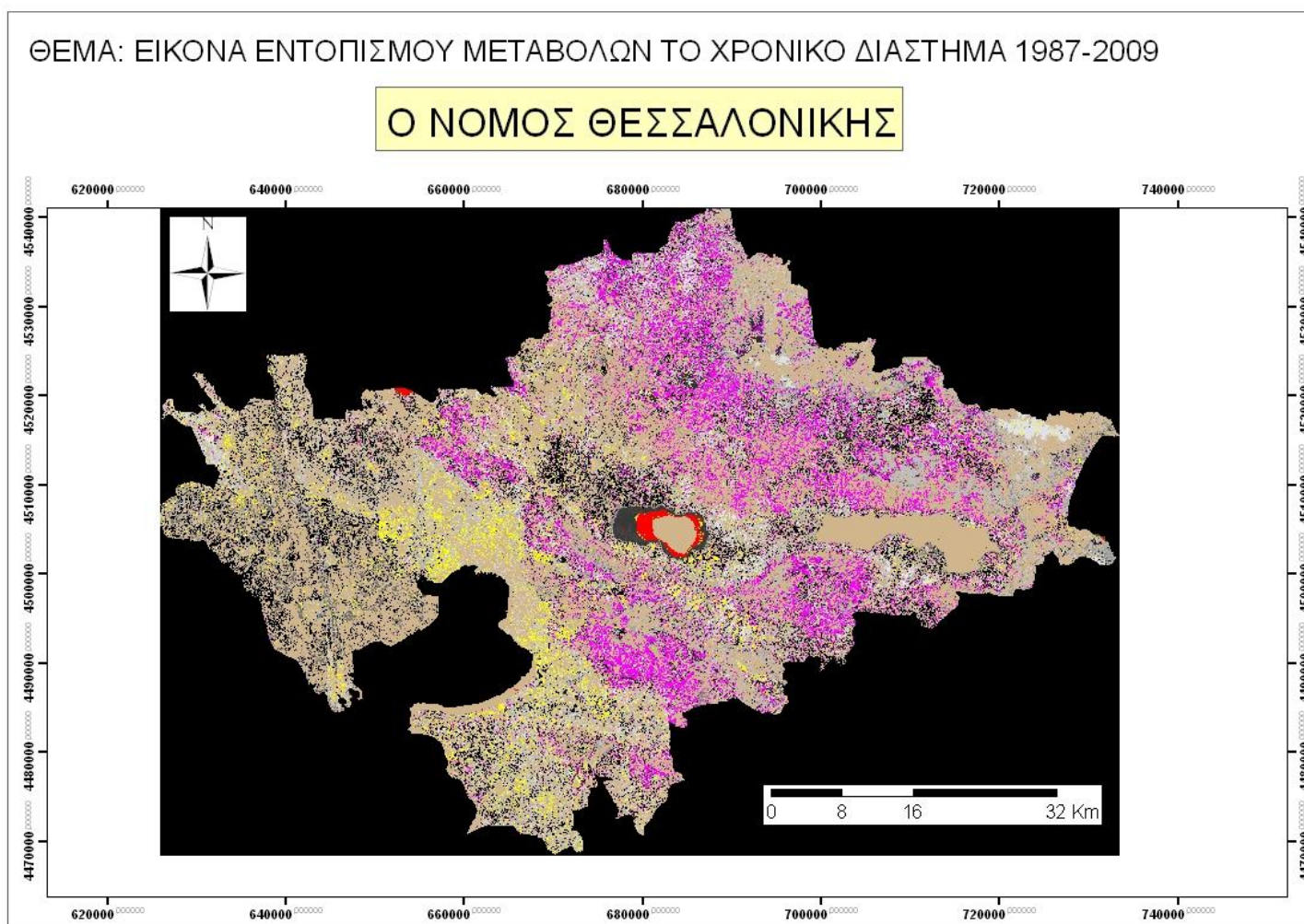
Κατά τη χρονική περίοδο 1987-2009, εξετάζονται οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν σε ολόκληρο το διάστημα παρακολούθησης της κάλυψης γης του νομού Θεσσαλονίκης και όχι σπαστά όπως στα δύο προηγούμενα χρονικά διαστήματα. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνουμε την εξέταση των μεταβολών σε μεγαλύτερο εύρος χρόνου, άρα πιο σφαιρικά και ολοκληρωμένα. Εντοπίζονται λοιπόν και απεικονίζονται μεταβολές που εξελίσσονταν κατά τη διάρκεια ολόκληρης αυτής της περιόδου και δεν εμφανίστηκαν για ένα μικρό διάστημα και έπειτα σταμάτησαν. Επίσης, εξετάζονται στο σύνολό τους τα δύο πιο ανησυχητικά φαινόμενα για το φυσικό περιβάλλον του νομού Θεσσαλονίκης, τα οποία είναι αφενός η συρρίκνωση της λίμνης Κορώνειας και αφετέρου η μετατροπή εκτάσεων με φυσική βλάστηση σε τεχνητές επιφάνειες. Τέλος, δεδομένου ότι απεικονίζεται η συνολική μεταβολή που έλαβε χώρα, γίνεται καλύτερα αντιληπτή η έκταση και η σημαντικότητά της.

Συγκεκριμένα, όπως και στις προηγούμενες εικόνες μεταβολών, με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μετατροπή των υδάτινων εκτάσεων σε έλη, η οποία είναι χαρακτηριστική περιμετρικά της λίμνης Κορώνειας (Εικόνα 26). Επιπλέον, με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που από το 1987 μέχρι το 2009, μεταβλήθηκαν σταδιακά από εκτάσεις που ανήκαν σε οποιαδήποτε κατηγορία κάλυψης γης σε τεχνητές επιφάνειες.

Επιπρόσθετα, σημαντική είναι η μεταβολή μεγάλου ποσοστού βοσκότοπων σε σύνθετα συστήματα καλλιέργειας και σκληροφυλλική βλάστηση. Οι μεταβολές αυτές απεικονίζονται με ροζ χρώμα. Τέλος, οι αμετάβλητες περιοχές έχουν καφέ χρώμα.

Και σε αυτόν τον πίνακα εντοπισμού μεταβολών (Πίνακας 10), το συνολικό άθροισμα των class totals των γραμμών και των στηλών δεν ταυτίζεται, διότι στην ταξινόμηση της εικόνας του 2009 συμμετείχαν επιπλέον οι τάξεις «σύννεφα» και «σκιές». Γι' αυτό το λόγο το τελευταίο διαγώνιο κελί, στο κάτω δεξιά μέρος του πίνακα δεν έχει συμπληρωθεί.

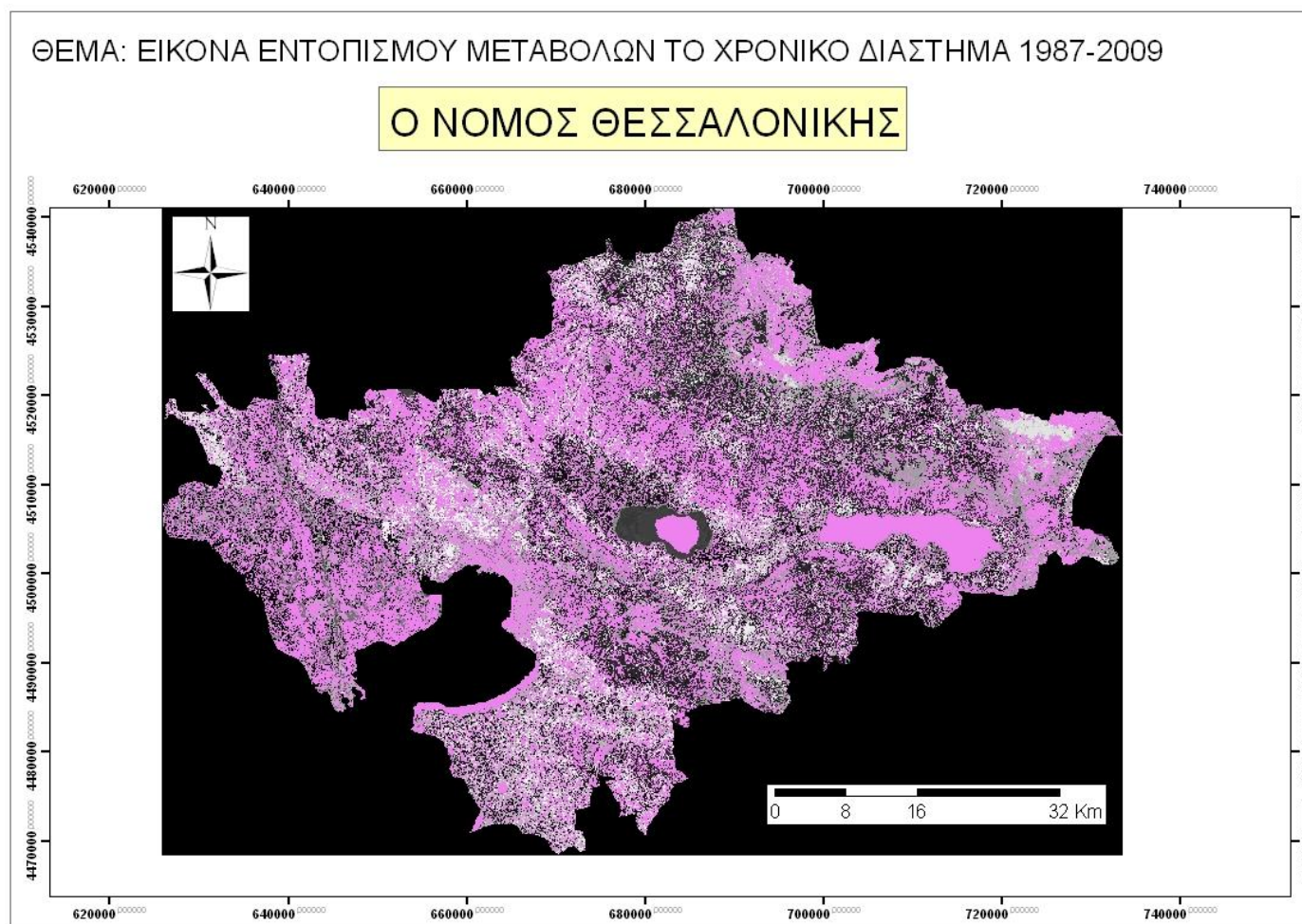
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εικόνα, όπου παρουσιάζονται αποκλειστικά οι περιοχές που δε μεταβλήθηκαν καθόλου κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1987-2009 (Εικόνα 27). Οι αμετάβλητες περιοχές χρωματίστηκαν με ροζ χρώμα.



Εικόνα 26: Εικόνα εντοπισμού μεταβολών στο νομό Θεσσαλονίκης το χρονικό διάστημα 1987- 2009.

Landsat-5/TM, 15/07/2009 Landsat-5/ TM, 19/07/1987	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	Βοσκότοποι	Υδάτινοι όγκοι	Έλη	Ετήσιες καλλιέργειες	Σκληροφυλλική βλάστηση	Τεχνητές επιφάνειες	Δάση	Μη αρδεύσιμες αρόσιμες εκτάσεις	Class Totals
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	237709	39802	522	45993	95343	36526	41603	6921	106629	611048
Βοσκότοποι	235412	308408	88	69142	7069	234072	20702	28718	85591	989202
Υδάτινοι όγκοι	10315	2290	125859	13964	1819	5946	1732	4	42	161971
Έλη	14927	4932	2879	23571	3049	4260	28700	152	14932	97402
Ετήσιες καλλιέργειες	59855	1763	395	4139	168705	3713	4837	4188	3959	251554
Σκληροφυλλική βλάστηση	83086	24593	1483	11331	19207	366403	6646	106209	2101	621059
Τεχνητές επιφάνειες	111970	22008	977	73815	13907	19197	147769	8902	76505	475050
Δάση	26715	536	0	803	2771	10403	887	181942	29	224086
Μη αρδεύσιμες αρόσιμες εκτάσεις	165111	97051	38	104189	7526	16306	75898	1741	422945	890805
Class Totals	945100	501383	132241	346947	319396	696826	328774	338777	712733	

Πίνακας 10: Πίνακας εντοπισμού μεταβολών μεταξύ των εικόνων **Landsat-5/ TM** με ημερομηνίες λήψης **19/07/1987 και 15/07/2009**.



Εικόνα 27: Εικόνα που παρουσιάζει τις περιοχές του νομού Θεσσαλονίκης που παρέμειναν αμετάβλητες (ροζ χρώμα) το χρονικό διάστημα 1987-2009.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το φυσικό περιβάλλον, εξαιτίας των παραγόντων που επιδρούν στον κύκλο ζωής του, είτε αυτοί είναι φυσικοί είτε ανθρωπογενείς, όπως η κλιματική αλλαγή και τα τεχνικά έργα αντίστοιχα, είναι φυσιολογικό να υφίσταται μεταβολές με διάφορα επίπεδα έντασης. Η διαχρονική παρακολούθηση των μεταβολών μπορεί να οδηγήσει στα πραγματικά τους αίτια, με στόχο τη λήψη κατάλληλων μέτρων προστασίας.

Η τηλεπισκόπηση και τα GIS αποτελούν σημαντικά εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ευρέως τις τελευταίες δεκαετίες για τη διαχρονική παρακολούθηση της κάλυψης γης και των αλλαγών που έλαβαν χώρα σε αυτή. Η ανίχνευση αλλαγών περιλαμβάνει τη χρήση διαχρονικών εικόνων πολυφασματικών δεδομένων για την αξιολόγηση των διαφορών στην κάλυψη γης μεταξύ των ημερομηνιών απόκτησης των εικόνων. Η ακριβής χαρτογράφηση είναι εφικτή μόνο με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων υψηλής χωρικής και φασματικής ανάλυσης.

Παρά το μεγάλο αριθμό τεχνικών εντοπισμού μεταβολών που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα, έχει διεξαχθεί σχετικά μικρή έρευνα για τον καθορισμό της ποσοτικής ακρίβειας των τεχνικών αυτών. Η ίδια η φύση της ανίχνευσης αλλαγών καθιστά δύσκολη την ποσοτική ανάλυση της ακρίβειάς της. Για παράδειγμα, πώς μπορεί κάποιος να αποκτήσει δεδομένα αναφοράς για εικόνες που λήφθηκαν στο παρελθόν; Πώς μπορεί κάποιος να δειγματίσει ικανοποιητικά περιοχές που θα μεταβληθούν στο μέλλον ώστε να έχει στατιστικά έγκυρη εκτίμηση; Ποιά τεχνική εντοπισμού μεταβολών θα λειτουργήσει καλύτερα για μια δεδομένη αλλαγή στο περιβάλλον; Από τα παραπάνω ερωτήματα προκύπτει ότι είναι δύσκολο να καθοριστεί ποια μέθοδος εντοπισμού μεταβολών είναι η αποτελεσματικότερη.

6.1 Συμπεράσματα για την κάλυψη γης του νομού Θεσσαλονίκης

Τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διαχρονική παρακολούθηση της κάλυψης γης του νομού Θεσσαλονίκης είναι ιδιαίτερος σημαντικά. Συγκεκριμένα, από την πραγματοποίηση κλασικού οπτικού εντοπισμού μεταβολών και την εφαρμογή της ψηφιακής τεχνικής της «σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων», προκύπτει ότι:

1. Τις τελευταίες δεκαετίες, υπάρχει μικρού βαθμού αύξηση της έκτασης των τεχνητών επιφανειών εις βάρος δασικών εκτάσεων και περιοχών με σκληροφυλλική βλάστηση και βοσκοτόπων.

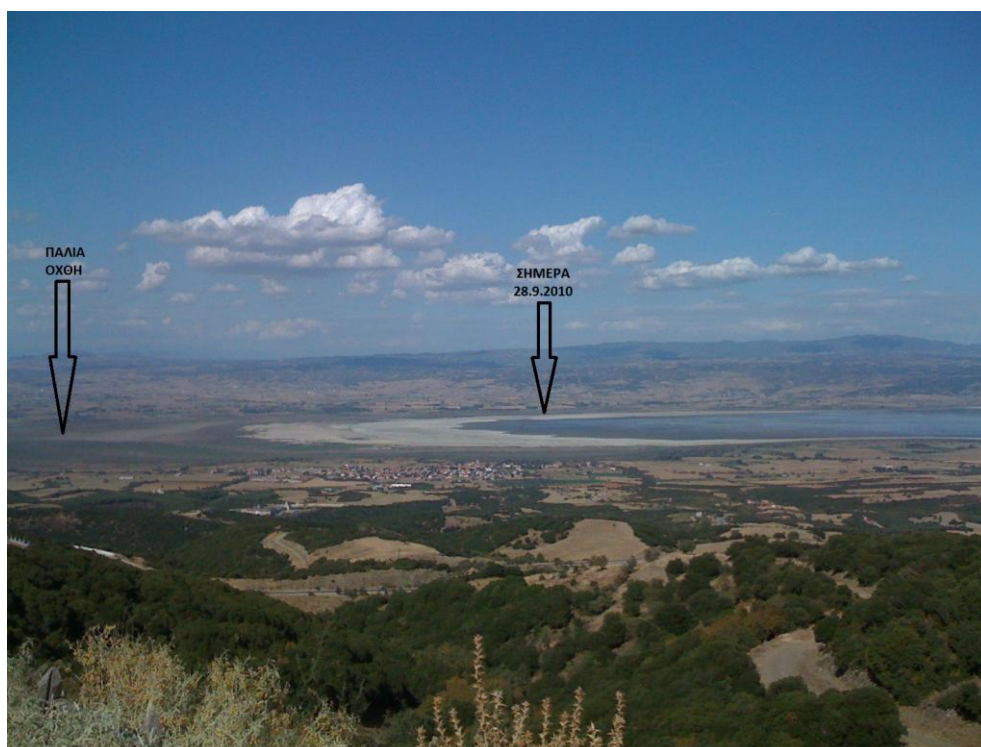
Το αποτέλεσμα της ανίχνευσης αλλαγής στην αστική κάλυψη γης μπορεί να φανεί χρήσιμο στους υπεύθυνους και στους φορείς χάραξης πολιτικής για την αναγνώριση περιοχών ευαίσθητων στην αστική ανάπτυξη του εδάφους. Επίσης, μπορούν να μελετηθούν στρατηγικές βιώσιμης ανάπτυξης και διαχείρισης των αστικών περιοχών για την προστασία οριοθετημένων περιοχών εδάφους.

2. Ίσως η σημαντικότερη και πιο ανησυχητική μεταβολή που εντοπίστηκε, ήταν η συρρίκνωση της λίμνης Κορώνειας (Εικόνες 28, 29). Ενώ η λίμνη Βόλβη φαίνεται να διατηρεί σχετικά σταθερή τη στάθμη της, η λίμνη Κορώνεια τις τελευταίες δεκαετίες και ιδιαίτερα μετά το 1980, υπέστη σημαντικές παρεμβάσεις με συνέπεια τη μείωση του όγκου των υδάτων της και τη γενικότερη αλλαγή των χαρακτηριστικών της. Οι διακυμάνσεις των χαρακτηριστικών της λίμνης υπήρξαν έντονες και καταστροφικές για την περιοχή της λίμνης αλλά και για το φυσικό περιβάλλον γύρω από αυτή.

Από τη διαπίστωση αυτής της μεταβολής προκύπτει το συμπέρασμα ότι η δυνατότητα διαχείρισης προβληματικών περιοχών που έχουν υποστεί έντονα τις παρεμβάσεις του ανθρώπου μέσω της διαχρονικής παρακολούθησης, αποκτά ιδιαίτερη σημασία όταν πρόκειται για οικοσυστήματα τα οποία είναι υδάτινα και υπόκεινται σε ειδικό καθεστώς προστασίας, όπως η λίμνη Κορώνεια (Συνθήκη Ramsar, 1971) (Από URL16).



Εικόνα 28: Φωτογραφία της λίμνης Κορώνειας το έτος 2009. Φαίνεται χαρακτηριστικά η μετατροπή της έκτασης που παλαιότερα καλύπτονταν από τα ύδατα της λίμνης σε ελώδεις εκτάσεις (URL6).



Εικόνα 29: Φωτογραφία της λίμνης Κορώνειας που λήφθηκε στις 28.09.2010. Τα βέλη προσδιορίζουν την παλαιά όχθη της λίμνης στη δυτική πλευρά της καθώς και την όχθη την ημέρα της λήψης (URL6).

3. Παρατηρείται σταδιακή μείωση της βλάστησης, των δασών και σε μικρότερο βαθμό των γεωργικών καλλιεργειών. Οι εκτάσεις αυτές φαίνεται να έχουν μετατραπεί σε τεχνητές επιφάνειες, βοσκότοπους και μη αρδεύσιμες/αρόσιμες εκτάσεις. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αυξημένη βιομηχανική ανάπτυξη και οικιστική επέκταση, στην εκδήλωση πυρκαγιών και πιθανόν στη μείωση του όγκου των υδάτων της λίμνης Κορώνειας.

Συνοπτικά λοιπόν θα λέγαμε ότι με εξαίρεση τη σημαντική μείωση της έκτασης της λίμνης Κορώνειας, οι μεταβολές στην κάλυψη γης του νομού Θεσσαλονίκης τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, είναι σχετικά περιορισμένες και όχι ιδιαίτερα αρνητικές προς το φυσικό περιβάλλον.

6.2 Συμπεράσματα για τεχνικές ταξινόμησης και εντοπισμού μεταβολών

Εκτός από τα παραπάνω ιδιαίτερης σημασίας συμπεράσματα που αφορούν αποκλειστικά στην κάλυψη γης του νομού Θεσσαλονίκης, προέκυψαν εξίσου ενδιαφέροντα συμπεράσματα που αφορούν στο γενικότερο κομμάτι της εκτέλεσης ταξινόμησης και ψηφιακού εντοπισμού μεταβολών.

Αρχικά, με βάση τα αποτελέσματα της διατριβής, προκύπτει ότι η χρήση της Τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τα Γ.Σ.Π. προσφέρει τη δυνατότητα παρακολούθησης των διαχρονικών αλλαγών στην κάλυψη γης. Επιπρόσθετα, μετά από δοκιμή διαφόρων συστημάτων ταξινόμησης για εφαρμογές που αφορούν στην κάλυψη γης, τα οποία προτείνονται από παλαιότερες μελέτες, επιβεβαιώνεται τελικά η υπόθεση ότι δεν υπάρχει ιδανικό σύστημα ταξινόμησης και κάθε αναλυτής είναι προτιμότερο να αναπτύσσει το δικό του σύστημα ταξινόμησης προσαρμοσμένο απόλυτα στις ανάγκες και απαιτήσεις της έρευνάς του.

Επιπλέον, είναι δύσκολο να επιτευχθούν υψηλά ποσοστά ακρίβειας μέσω των τεχνικών ψηφιακού εντοπισμού μεταβολών λόγω φασματικών, χωρικών και διαχρονικών περιορισμών. Συγκεκριμένα, πιθανόν να είχε επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα της διατριβής, εάν η δορυφορική εικόνα Landsat-5/ TM του 2004 είχε ληφθεί καλοκαίρι και εάν είχαν χρησιμοποιηθεί δορυφορικές εικόνες καλύτερης διακριτικής ικανότητας. Η επιλογή όμως των δορυφορικών εικόνων που συμμετείχαν στη διατριβή έγινε από ένα περιορισμένο αριθμό εικόνων, οι οποίες ήταν διαθέσιμες από το πανεπιστήμιο. Η παραγγελία νέων δορυφορικών εικόνων με

κατάλληλες ημερομηνίες λήψης και από νεότερους, καλύτερης ακρίβειας δορυφόρους είχε πολύ μεγάλο κόστος.

Ένας άλλος τρόπος να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα θα ήταν η εφαρμογή ψηφιακού αντί οπτικού εντοπισμού μεταβολών στην εικόνα Landsat-2/MSS του 1977. Αυτό συμβαίνει διότι ο οπτικός εντοπισμός μεταβολών περιλαμβάνει ορισμένα μειονεκτήματα. Πρώτον, είναι χρονοβόρος και κουραστικός. Δεύτερον, είναι υποκειμενικός άρα λιγότερο ακριβής, δεδομένου ότι βασίζεται αποκλειστικά στις γνώσεις και στην εμπειρία του αναλυτή. Τέλος, επαναλαμβάνεται δύσκολα και απαιτεί σημαντικό κόστος απόκτησης δεδομένων.

Γενικότερα, σε μελέτες εντοπισμού μεταβολών στην κάλυψη γης προτείνονται τα εξής:

- ❖ Δεδομένου ότι υπάρχει μια ποικιλία αλγορίθμων τόσο για την εκτέλεση ψηφιακής ταξινόμησης όσο και για τον ψηφιακό εντοπισμό μεταβολών, ο αναλυτής -αναλόγως κάθε φορά με τα διαθέσιμα δεδομένα και το στόχο της μελέτης- πρέπει να επιλέγει τον καταλληλότερο αλγόριθμο που θα του εξασφαλίσει ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα.
- ❖ Η σύγκριση ταξινομημένων εικόνων για εντοπισμό μεταβολών είναι μια αυτόματη διαδικασία, της οποίας η ακρίβεια εξαρτάται από την ακρίβεια της αρχικής ταξινόμησης. Πρέπει να δοθεί λοιπόν ιδιαίτερο βάρος στην επιλογή κατάλληλου αλγορίθμου για τη εκτέλεση και εκτίμηση της ταξινόμησης, προκειμένου να παραχθεί ταξινομημένη εικόνα υψηλής ακρίβειας. Μόνο τότε μπορεί να εκτελεστεί με ακρίβεια ο εντοπισμός μεταβολών.
- ❖ Οι μέθοδοι σύγκρισης ταξινομημένων εικόνων είναι χρήσιμες μόνο με την προϋπόθεση ότι οι ταξινομημένες εικόνες κάλυψης γης έγιναν με ακρίβεια.
- ❖ Όταν εκτός από τον απλό εντοπισμό των μεταβολών στην περιοχή μελέτης ζητείται επιπλέον η φύση των μεταβολών, επιλέγονται τεχνικές Post-Classification αντί των Pre-Classification.
- ❖ Οι μελετητές που διεξάγουν ψηφιακό εντοπισμό μεταβολών, πρέπει να είναι βαθιά οικείοι με το περιβάλλον που μελετούν, την ποιότητα των δεδομένων και τα χαρακτηριστικά των αλγορίθμων εντοπισμού μεταβολών.
- ❖ Απαιτείται ακόμη πολύ έρευνα για την εκτίμηση των βέλτιστων αλγορίθμων εντοπισμού μεταβολών για μελέτες κάλυψης γης.

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

7.1 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:

Η λίμνη Κορώνεια

Την περίοδο 1970-1980, η λίμνη Κορώνεια είχε έκταση 46.000 στρέμματα με μέγιστο βάθος 5 m και όγκο νερού $300 \times 10^6 \text{ m}^3$. Το ισοζύγιο της λίμνης την περίοδο αυτή ήταν θετικό με αποτέλεσμα την υπερχειλίση ενός πλεονάσματος νερού ετησίως στο ρέμα «Δερβένι». Η τελευταία εμφάνιση ψαριών ήταν το 1995. Τον Αύγουστο του 2002 ολόκληρη σχεδόν η επιφάνεια της λίμνης αποτελούσε αποκαλυφθείσα έκταση. Τα επόμενα έτη, λόγω των υψηλών βροχοπτώσεων που ακολούθησαν, η λίμνη εμφάνισε σημάδια ανάκαμψης με μεγάλο μέρος της να έχει βάθος νερού περίπου 1,40 m και έκταση περίπου 30.000 στρέμματα. Δυστυχώς όμως το καλοκαίρι του 2007 πέθαναν 30.000 πουλιά και το 2008 αποξηράνθηκε για ακόμη μια φορά (Εικόνα 30).



Εικόνα 30: Η λίμνη Κορώνεια εντελώς αποξηραμένη (URL6).

Η άρδευση έχει αναμφισβήτητα τη μεγαλύτερη συμβολή στην ποσοτική υποβάθμιση της λίμνης Κορώνειας. Η συμβολή αυτή οφείλεται στην ύπαρξη μεγάλου αριθμού, νόμιμων και παράνομων γεωτρήσεων περιφερειακά της λίμνης, ο αριθμός των οποίων είναι της τάξης των 2.000. Οι περισσότερες από αυτές αν και αρχικά κατασκευάστηκαν ρηχές για εκμετάλλευση μόνο του φρεάτιου υδροφόρου (βάθος μέχρι 60 m) σήμερα αντλούν νερό κατά μεγάλο ποσοστό και από το βαθύτερο υδροφορέα. Αυτό αποδεικνύει την ταπείνωση της πιεζομετρικής επιφάνειας με αποτέλεσμα οι επιφανειακές απορροές από τα υδρορέματα (Μπογδάνας, Κολχικό,

Ανάληψη, κ.λπ.) να διηθούνται στα χαλαρά ιζήματα της πεδινής περιοχής τείνοντας να αναπληρώσουν τα κενά των υπόγειων ιζηματογενών υδροφορέων. Έτσι ελάχιστες μόνο ποσότητες νερού φθάνουν μέχρι τη λίμνη.

Παράλληλα, έντονη είναι και η ποιοτική υποβάθμιση της λίμνης Κορώνειας, δεδομένου ότι κανένα αποδημητικό πουλί δεν έρχεται πλέον στη λίμνη, προτιμώντας τη λίμνη Βόλβη. Η λίμνη Βόλβη με τη σειρά της, αδυνατεί να καλύψει την ανάγκη για τροφή ενός τόσο μεγάλου αριθμού αποδημητικών πουλιών. Είναι λοιπόν φανερό ότι η ισορροπία του οικοσυστήματος έχει διαταραχθεί.

Η ελπίδα για αναβίωση της λίμνης δεν έχει βέβαια παρέλθει. Τα τελευταία τρία χρόνια οι έντονες βροχοπτώσεις σε συνδυασμό με το έργο εκτροπής των χειμάρρων Σχολαρίου και Λαγκαδικίων και την ενωτική τάφρο με τη λίμνη Βόλβη, είχαν ως αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης των υδάτων της λίμνης Κορώνειας. Η λύση αυτή όμως είναι καθαρά προσωρινή και δε διασφαλίζει τη μελλοντική διατήρηση της στάθμης της λίμνης σε ικανοποιητικά επίπεδα. Εκτός αυτού, σύμφωνα με το τμήμα Βιολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, η δημιουργία της ενωτικής τάφρου μεταξύ Κορώνειας- Βόλβης έχει επιβαρύνει με τοξικές ουσίες και μικροοργανισμούς τα νερά της Βόλβης, λόγω των μαζικών θανάτων πουλιών στη λίμνη Κορώνεια τα προηγούμενα χρόνια.

Οι τοπικοί φορείς έχουν προτείνει κατά περιόδους διάφορες λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Μια ακραία λύση με την οποία θα αντιμετωπιζόταν πλήρως το πρόβλημα της πτώσης της στάθμης της λίμνης, θα ήταν να απαγορευτεί εντελώς η άρδευση. Μια τέτοια όμως προσέγγιση θα είχε σοβαρότατες οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες στους κατοίκους της περιοχής. Η μόνη σημαντική μέθοδος επίτευξης είναι η αλλαγή της αρδευτικής πρακτικής σε αποδοτικότερες μεθόδους και η ανάπτυξη καλλιεργειών κατάλληλων για το περιβάλλον χάρη στη χαμηλή τους ζήτηση σε νερό (URL7).

Η λίμνη Βόλβη

Η λίμνη Βόλβη βρίσκεται 11,5 km ανατολικά της λίμνης Κορώνειας και 38 m χαμηλότερα από αυτή. Η Βόλβη είναι η δεύτερη μεγαλύτερη λίμνη της Ελλάδας με έκταση 65.000 στρέμματα και μέγιστο βάθος 18-20 m. Σύμφωνα με τη μυθολογική παράδοση Βόλβη ήταν το όνομα νύμφης, η οποία με τον Ηρακλή απέκτησαν ένα γιο, τον Όλινθο. Από τη νύμφη αυτή πήρε το όνομά της η λίμνη.

Η λίμνη διαθέτει πλούσια ιχθυοπανίδα, περιλαμβάνοντας 24 είδη ψαριών - ανάμεσά τους τα ψάρια λιπαριά, γελάρτζα και λακόψαρο που είναι ενδημικά της λίμνης, δηλαδή δε συναντώνται σε κανένα άλλο μέρος του κόσμου. Στις περιοχές γύρω από τη λίμνη Βόλβη υπάρχουν υγρότοποι (Εικόνα 31), μεγάλη ποικιλία υδροχαρών φυτών και δέντρων, καθώς και πολλά είδη πουλιών όπως πελαργοί, φλαμίνγκο, ερωδιοί κ.ά. Η λίμνη Βόλβη αποτελεί έναν από τους έντεκα ελληνικούς υγροτόπους που προστατεύονται από τη συνθήκη Ramsar (URL10).

Συγκρινόμενη με τη λίμνη Κορώνεια, η λίμνη Βόλβη παραμένει σε μέτρια κατάσταση, παρουσιάζοντας σχετική σταθερότητα στην ποιότητα των υδάτων της. Οι συγκεντρώσεις τοξικών βακτηρίων βρίσκονται σε επίπεδα χαμηλής επικινδυνότητας, ενώ αύξηση των κυνοβακτηρίων έχει διαπιστωθεί μόνο σε ιδιαίτερα ξηρές και άνυδρες περιόδους.



Εικόνα 31: Ο υγρότοπος της λίμνης Βόλβης (URL15).

7.2 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:

Δορυφόροι LANDSAT 1ης γενιάς (LANDSAT 1-3)

Τη δεκαετία του 1970, τέθηκαν σε τροχιά τρεις δορυφόροι τηλεπισκόπησης (καταγραφής) των φυσικών διαθεσίμων της Γης, οι οποίοι αρχικά ονομάστηκαν ERTS 1-3 (Earth Resources Technology Satellites) και στη συνέχεια LANDSAT 1-3 (Land Satellites 1-3). Οι ημερομηνίες εκτόξευσης ήταν αντίστοιχα: 23/7/1972, 22/1/1975 και 5/3/1978. Ο LANDSAT-1 λειτούργησε επιτυχώς μέχρι τις 6/1/78 και έδωσε χιλιάδες εικόνες που κατέγραψαν τα χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας, μέσω των επίγειων σταθμών λήψης δεδομένων. Οι LANDSAT-2 και LANDSAT-3 λειτούργησαν επιτυχώς μέχρι 27/7/83 και 7/9/83.

Οι δορυφόροι LANDSAT 1-2 μετέφεραν τις εξής συσκευές καταγραφής δεδομένων και μετάδοσής τους στη Γη:

- I. Έναν πολυφασματικό σαρωτή (MSS: Multispectral Scanner)
- II. Τρεις εικονοληπτικές κάμερες τηλεοράσεως, τύπου RBV (Κάμερες επιστρεφόμενης δέσμης: Return Beam Vidicon cameras)
- III. Συστήματα καταγραφής (αποθήκευσης) των δεδομένων (σε βίντεο κασετόφωνα: video tape recorders) και μετάδοσης στους επίγειους σταθμούς τηλεμετρικά.

Ο πολυφασματικός σαρωτής (MSS) ήταν ένα ραδιόμετρο τεσσάρων φασματικών ζωνών (καναλιών) το οποίο σάρωνε τη γήινη επιφάνεια και κατέγραφε την ένταση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας των αντικειμένων και φαινομένων πάνω στην επιφάνεια της Γης (Αστάρας, 2010). Η συσκευή RBV παρείχε τη δυνατότητα υψηλής γεωμετρικής αλλά και χαμηλής φασματικής και ραδιομετρικής ανάλυσης. Δηλαδή, οι γεωμετρικές θέσεις των διαφόρων χαρακτηριστικών της Γης αντιπροσωπεύονταν με ακρίβεια, αλλά χωρίς λεπτομέρεια όσον αφορά στο χρώμα και στη φωτεινότητα τους. Αντίθετα, το όργανο MSS ήταν σχεδιασμένο να παρέχει "υψηλή ακρίβεια" για τα φασματικά επιφανειακά χαρακτηριστικά της Γης, αλλά μικρότερη ακρίβεια εντοπισμού. Εξαιτίας τεχνικών προβλημάτων, η χρήση του RBV περιορίστηκε και ο κύριος δέκτης για τους δορυφόρους Landsat έγινε η συσκευή MSS (Αγγελοπούλου, 2003).

Οι δυο τύποι δεκτών τηλεπισκόπησης των δορυφόρων LANDSAT 1-3: RBV και MSS, χρησιμοποίησαν συνολικά επτά φασματικές ζώνες στο ορατό (0.4-0.7 μm), κοντινό υπέρυθρο (0.7-1.1 μm) και θερμικό υπέρυθρο (10.4-12.6). Οι τρεις

φασματικές ζώνες, στις 3 RBV κάμερες (Bands 1, 2 και 3) κάλυπταν τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που περιλαμβάνεται στο σαρωτή MSS (bands 4-7).

Οι τέσσερις (4) φασματικές ζώνες των MSS στους LANDSAT 1-3 και παραδείγματα για τα αντικείμενα, στα οποία οι φασματικές ζώνες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες, είναι τα ακόλουθα:

- Φασματική ζώνη 4 (Band 4, 0.5-0.6 μm , πράσινη), στο ορατό τμήμα του φάσματος. Έχει την καλύτερη ικανότητα, μεταξύ των τεσσάρων ζωνών, να διαπερνά το νερό και να διακρίνει (τονίζει) τη θολότητα (αιωρούμενα ιζήματα) σε υδάτινες μάζες, να διακρίνει την πράσινη βλάστηση από άλλες "γήινες επιφάνειες" (έδαφος, πετρώματα) και να αναγνωρίζει γεωλογικές δομές.
- Φασματική ζώνη 5 (Band 5, 0.6-0.7 μm , ερυθρή), επίσης στο ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό τοπογραφικών χαρακτηριστικών του εδάφους και τεχνητών κατασκευασμάτων (cultural features), όπως αεροδρόμια, πόλεις κ.λπ.
- Φασματική ζώνη 6 (Band 6, 0.7-0.8 μm , κοντινή υπέρυθρη). Αυτή η ζώνη καταλαμβάνει την περιοχή μεταξύ του ορατού και υπέρυθρου τμήματος του φάσματος και είναι κατάλληλη για την αναγνώριση διαφόρων χρήσεων Γης και την ανίχνευση (καταγραφή) της πράσινης βιομάζας.
- Φασματική ζώνη 7 (Band 7, 0.8-1.1 μm , κοντινή υπέρυθρη). Βρίσκεται στην περιοχή του κοντινού υπέρυθρου και είναι κατάλληλη για την οριοθέτηση μεταξύ υδάτινων και χερσαίων περιοχών, των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής και τη διαφορά μεταξύ γυμνού εδάφους και βλάστησης.

Ο MSS-σαρωτής του LANDSAT-3 είχε μια πέμπτη φασματική ζώνη, την ζώνη 8 (Band 8), η οποία κατέγραφε τα (επίγεια) δεδομένα στη θερμική περιοχή (10.4-12.6 μm) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Ένα «εικονοστοιχείο» στην εικόνα LANDSAT αναπαριστάει μια περιοχή 80X80 m στην επιφάνεια της Γης. Με άλλα λόγια, αντικείμενα ή χαρακτηριστικά του ανάγλυφου, μεγέθους μικρότερου από ένα τετράγωνο πλευράς 80 m, δεν ήταν δυνατόν να αναγνωρισθούν (καταγραφούν) από τους δέκτες MSS των δορυφόρων LANDSAT 1-3. Μια πλήρης εικόνα (scene) LANDSAT καλύπτει έκταση 185x185 km και αποτελείται από 7.500.000 εικονοστοιχεία (pixels), δηλαδή συνολικά αποτελείται από 30.000.000 pixels για τις τέσσερις (4) φασματικές περιοχές (Αστάρης, 2010).

Δορυφόροι LANDSAT 2ης γενιάς (LANDSAT 4 & 5)

Οι δορυφόροι Landsat 4 και 5 αποτελούν τους δεύτερης γενιάς (μετά τους Landsat 1,2 και 3) μη επανδρωμένους ερευνητικούς δορυφόρους της γης, οι οποίοι εκτοξεύθηκαν στις 16/7/82 και 1/3/84 αντίστοιχα. Οι εν λόγω δορυφόροι φέρουν τα ακόλουθα συστήματα καταγραφής:

- I. έναν πολυφασματικό σαρωτή (**MSS: Multi Spectral Scanner**), όπως και οι Landsat 1–3
- II. ένα σαρωτή προχωρημένης τεχνολογίας το «Θεματικό Χαρτογράφο» (**Thematic Mapper/TM**), ο οποίος προσφέρει καλύτερη διακριτική ικανότητα και μεγαλύτερο εύρος φάσματος.

Συγκεκριμένα, οι 64 στάθμες πυκνότητας (λαμπρότητας) στις εικόνες Landsat 1–3 έχουν μετατραπεί, στους Landsat 4 και 5, σε 256 και τα 80 m διακριτικής ικανότητας σε 30 m.

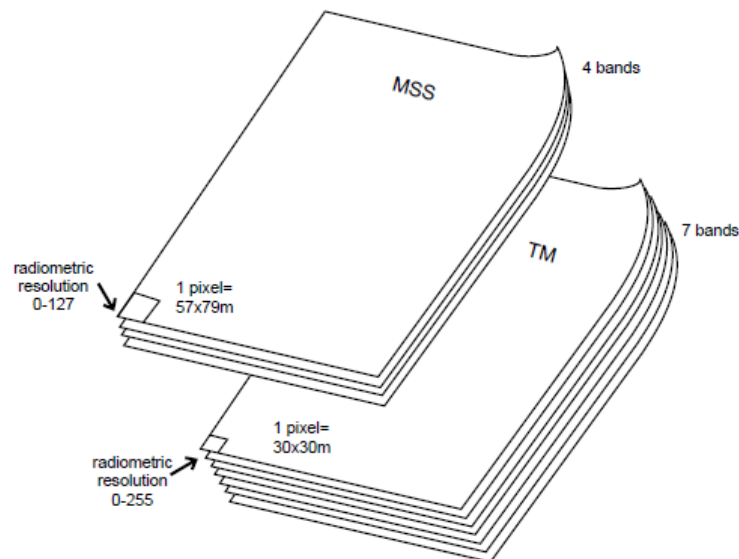
Με τον TM καταγράφονται ραδιομετρικά δεδομένα από τη Γη σε επτά φασματικές ζώνες, με διακριτική ικανότητα 30x30m στις έξι ζώνες του ορατού φάσματος και 120x120m στη θερμική υπέρυθρη φασματική ζώνη (ζώνη 6). Αυτό σημαίνει, ότι για το ορατό τμήμα του φάσματος, κάθε pixel αντιπροσωπεύει μια έκταση 30x30m στην επιφάνεια της γης, ενώ στο θερμικό υπέρυθρο η επιφάνεια αυτή ανέρχεται στα 120x120m. Για κάθε pixel συλλέγονται δεδομένα για καθεμιά από τις 7 φασματικές ζώνες (TM1-TM7).

Οι επτά φασματικές ζώνες του Thematic Mapper καθώς και οι εφαρμογές της κάθε ζώνης σε επίγεια αντικείμενα ή φαινόμενα είναι οι ακόλουθες :

-Φασματική ζώνη 1 (Band 1, 0.45–0.52 μm , μπλε–πράσινη). Κατάλληλη να διεισδύει μέσα στις υδάτινες μάζες και να δίδει πληροφορίες για τη θολότητα τους και άλλες παραμέτρους. Επίσης είναι κατάλληλη για τη χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών, τη διάκριση της βλάστησης από το έδαφος και το διαχωρισμό μεταξύ κωνοφόρων και φυλλοβόλων δένδρων.

-Φασματική ζώνη 2 (Band 2, 0.52–0.60 μm , πράσινη). Κατάλληλη για τη μέτρηση της ορατής πράσινης ακτινοβολίας που καθορίζει την υγιή βλάστηση.

-Φασματική ζώνη 3 (Band 3, 0.63–0.69 μm , ερυθρή). Κατάλληλη για τη διάκριση μεταξύ διαφόρων ειδών βλάστησης λόγω διαφορετικής απορρόφησής της από τη χλωροφύλλη των φυτών.



Εικόνα 32: Οι διαφορές των συστημάτων καταγραφής MSS και TM (URL4).

-Φασματική ζώνη 4 (Band 4, 0.76–0.90 μm , ηλιακή υπέρυθρη). Κατάλληλη για τον υπολογισμό της βιομάζας και την οριοθέτηση των υδάτινων μαζών.

-Φασματική ζώνη 5 (Band 5, 1.55–1.75 μm , ηλιακή υπέρυθρη). Κατάλληλη για τον υπολογισμό της υγρασίας στα φυτά και το έδαφος, καθώς και το διαχωρισμό της νεφοκάλυψης από τα χιόνια.

-Φασματική ζώνη 6 (Band 6, 10.40–12.50 μm , θερμική υπέρυθρη). Κατάλληλη για τη συλλογή θερμικών στοιχείων (θερμική χαρτογράφηση) στους γεωλογικούς σχηματισμούς, τη χαρτογράφηση περιοχών με διαφορετική υγρασία εδάφους και τη συλλογή πληροφοριών για τις υποβαθμισμένες φυτοκοινωνίες. Η ζώνη αυτή αν και παρουσιάζει διακριτική ικανότητα 120 m, συμπληρώνει τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τις άλλες φασματικές ζώνες.

-Φασματική ζώνη 7 (Band 7, 2.08–2.35 μm , ηλιακή υπέρυθρη). Κατάλληλη για τη διάκριση των διαφόρων τύπων πετρωμάτων και για υδροθερμική χαρτογράφηση.

Όπως προκύπτει από τις παραπάνω περιγραφές ο σαρωτής TM προσφέρει αρκετές πληροφορίες στις γεωεπιστήμες. Οι εικόνες TM του Landsat 5 (ο Landsat 4 μετά από μικρό χρονικό διάστημα έπαψε να μεταδίδει δεδομένα TM λόγω βλάβης), ασπρόμαυρες και ψευδοχρωματικές, προσφέρονται και σε κλίμακα 1:125.000, με δυνατότητα κατόπιν παραγγελίας να γίνουν 1:100.000, ώστε να ταυτιστούν με τους ίδιας κλίμακας χάρτες της Γ.Υ.Σ. (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού) (Αστάρας, 2010).

7.3 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ:

Πίνακες RMS εγγραφής εικόνων Landsat 5/TM 1987, 2009

Κατά τη διαδικασία της σχετικής εγγραφής της εικόνας του 1987 ως προς αυτή του 2004 επιλέχθηκαν 32 σημεία ελέγχου με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διασπορά. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (**Root Mean Square error/ RMS**) που προέκυψε ήταν: ολικό RMS =22.6725m, (X) =17.3426m και (Y) =14.6040m. Κατά τη διαδικασία της σχετικής εγγραφής της εικόνας του 2009 ως προς αυτή του 2004 επιλέχθηκαν επίσης 32 σημεία ελέγχου. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (**Root Mean Square error/ RMS**) που προέκυψε ήταν: ολικό RMS =25.7591m, (X) =19.8908m και (Y) =16.3672m. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά στους δύο πίνακες οι συντεταγμένες και τα σφάλματα των σημείων που προέκυψαν κατά την εγγραφή της εικόνας του 1987 ως προς τη 2004 και της εικόνας του 2009 ως προς τη 2004 αντίστοιχα.

GCP Tool : (Input : tm_1987_stack.tif) (Reference : ffrefer.gcc)

FileViewEditHelp

Πίνακας 11: Οι συντεταγμένες και τα σφάλματα των σημείων που προέκυψαν κατά την εγγραφή της εικόνας του 1987 ως προς την εικόνα αναφοράς του 2004.

GCP Tool : (Input : tm_2009_stack.tif) (Reference : nrefer.gcc)

File View Edit Help

Control Point Error: (X) 19.8908 (Y) 16.3672 (Total) 25.7591

Point #	Point ID	>	Color	X Input	Y Input	>	Color	X Ref.	Y Ref.	Z Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error	Contrib.
1	GCP #1		Yellow	646928.656	4492081.211		Red	647232.100	4491205.442	0.000	Control	6.382	-21.973	22.881	0.888
2	GCP #2		Yellow	645616.072	4419157.042		Red	645907.286	4418340.651	0.000	Control	-3.016	19.667	19.897	0.772
3	GCP #3		Yellow	712672.268	4516130.650		Red	713106.040	4515340.688	0.000	Control	21.449	-0.673	21.459	0.833
4	GCP #4		Yellow	698740.315	4452174.909		Red	699074.470	4451364.577	0.000	Control	-26.761	-19.513	33.119	1.286
5	GCP #5		Yellow	705616.329	4477693.266		Red	706002.336	4476890.088	0.000	Control	7.978	-17.306	19.056	0.740
6	GCP #6		Yellow	666939.116	4487282.422		Red	667276.049	4486458.192	0.000	Control	23.807	1.455	23.851	0.926
7	GCP #7		Yellow	679387.500	4510342.500		Red	679739.117	4509519.775	0.000	Control	18.035	-1.340	18.084	0.702
8	GCP #8		Yellow	582194.836	4454461.382		Red	582466.464	4453506.500	0.000	Control	14.849	-29.640	33.151	1.287
9	GCP #9		Yellow	624699.415	4390123.987		Red	624958.659	4389277.536	0.000	Control	-20.386	12.795	24.068	0.934
10	GCP #10		Yellow	655164.681	4537533.732		Red	655458.693	4536671.900	0.000	Control	-8.960	10.289	13.643	0.530
11	GCP #11		Yellow	559700.576	4478503.858		Red	559902.498	4477535.812	0.000	Control	-17.461	6.736	18.716	0.727
12	GCP #12		Yellow	668245.666	4478430.050		Red	668554.820	4477598.522	0.000	Control	-4.122	-10.632	11.403	0.443
13	GCP #13		Yellow	604995.276	4398557.957		Red	605235.250	4397663.821	0.000	Control	-23.113	-16.128	28.184	1.094
14	GCP #29		Yellow	555065.300	4420474.748		Red	555302.989	4419520.683	0.000	Control	33.776	-10.000	35.226	1.368
15	GCP #15		Yellow	557847.738	4510169.631		Red	558007.049	4509167.945	0.000	Control	-32.049	2.231	32.126	1.247
16	GCP #16		Yellow	640738.580	4521714.870		Red	641028.412	4520852.647	0.000	Control	-0.547	19.805	19.812	0.769
17	GCP #17		Yellow	568350.264	4529520.863		Red	568541.307	4528490.608	0.000	Control	-0.389	-25.410	25.413	0.987
18	GCP #37		Yellow	608729.161	4539270.300		Red	608996.193	4538335.570	0.000	Control	18.604	13.020	22.708	0.882
19	GCP #19		Yellow	544564.943	4450799.084		Red	544748.530	4449840.057	0.000	Control	-4.938	16.919	17.625	0.684
20	GCP #20		Yellow	590580.087	4499247.967		Red	590843.357	4498327.748	0.000	Control	6.719	23.352	24.299	0.943
21	GCP #21		Yellow	607978.623	4459637.321		Red	608226.024	4458758.517	0.000	Control	-29.509	12.566	32.073	1.245
22	GCP #42		Yellow	586767.603	4414865.985		Red	587019.754	4413978.686	0.000	Control	1.046	14.424	14.462	0.561
23	GCP #23		Yellow	616345.368	4420235.695		Red	616622.360	4419375.098	0.000	Control	1.110	6.588	6.681	0.259
24	GCP #24		Yellow	631881.810	4438413.268		Red	632186.706	4437581.058	0.000	Control	18.845	20.084	27.541	1.069
25	GCP #45		Yellow	654123.750	4396128.750		Red	654434.430	4395300.238	0.000	Control	2.604	5.522	6.105	0.237
26	GCP #26		Yellow	586376.957	4397463.759		Red	586601.692	4396561.501	0.000	Control	-18.249	-3.673	18.615	0.723
27	GCP #27		Yellow	545371.687	4404923.359		Red	545586.921	4403977.526	0.000	Control	45.765	3.259	45.881	1.781
28	GCP #28		Yellow	637098.472	4469014.745		Red	637396.406	4468157.048	0.000	Control	7.292	-1.932	7.543	0.293
29	GCP #14		Yellow	618692.236	4509485.125		Red	618928.062	4508578.500	0.000	Control	-40.796	0.509	40.799	1.584
30	GCP #30		Yellow	609315.483	4383283.880		Red	609588.358	4382383.594	0.000	Control	8.725	-25.621	27.066	1.051
31	GCP #31		Yellow	606317.843	4485910.222		Red	606608.971	4484968.617	0.000	Control	16.568	-32.284	36.287	1.409
32	GCP #32		Yellow	700530.403	4440419.198		Red	700873.900	4439654.288	0.000	Control	-24.328	27.157	36.460	1.415

Πίνακας 12: Οι συντεταγμένες και τα σφάλματα των σημείων που προέκυψαν κατά την εγγραφή της εικόνας του 2009 ως προς την εικόνα αναφοράς του 2004.

7.4 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ:

Το Πρόγραμμα CORINE

Με πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, στις 17 Ιουνίου του 1985 υιοθετήθηκε η απόφαση για την εκπόνηση του περιβαλλοντικού προγράμματος CORINE (**COoRdination of INformation on the Environment**). Το CORINE αποτελεί ένα πειραματικό σχέδιο (project), το οποίο παρέχει αντικειμενικές, αξιόπιστες και συγκρίσιμες πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τα κράτη-μέλη. Οι τρεις βασικοί και θεμελιώδεις στόχοι του προγράμματος CORINE είναι οι εξής:

- ❖ Συλλογή πληροφοριών για διάφορους τομείς και θεματολογίες σχετικές με το περιβάλλον, που αποτελούν προτεραιότητες για όλα τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Κοινότητας.
- ❖ Συντονισμός της συλλογής των δεδομένων και οργάνωση των πληροφοριών σε ευρωπαϊκό ή διεθνές επίπεδο.
- ❖ Διασφάλιση της συμβατότητας των δεδομένων και της συνοχής των πληροφοριών, έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η σύγκριση μεταξύ αυτών.

Ουσιαστικά, το CORINE συμβάλλει στην ενοποίηση και στη συστηματοποίηση όλων των προσπαθειών, που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια σε διεθνές, σε εθνικό ή σε τοπικό επίπεδο, για την απόκτηση και συγκέντρωση πληροφοριών για το περιβάλλον. Παράλληλα, το πρόγραμμα CORINE καταγράφει, μέσω συστηματικής παρακολούθησης, και τις μεταβολές, που λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον και οφείλονται σε ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες.

Τα πιο σημαντικά μέρη, από τα οποία απαρτίζεται το πρόγραμμα CORINE, είναι τα εξής:

- ❖ **CORINAIR**: Αποσκοπεί στον καθορισμό των πηγών εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων και στην ανάπτυξη μιας αξιόπιστης μεθοδολογίας για τη μέτρηση και παρακολούθηση αυτών.
- ❖ **CORINE biotopes**: Περιλαμβάνει την αναγνώριση, καταγραφή και περιγραφή τοποθεσιών, των οποίων η προστασία είναι ιδιαίτερα σημαντική λόγω μεγάλης βιολογικής, οικολογικής, αισθητικής ή γεωμορφολογικής αξίας.
- ❖ **CORINE land cover**: Αφορά στην απεικόνιση της χρήσης/ κάλυψης γης και βασίζεται στην ανάλυση δορυφορικών εικόνων.

7.4.1 Το πρόγραμμα CORINE Land Cover, CLC (κάλυψης γης)

Συνιστώσα του προγράμματος CORINE αποτελεί το πρόγραμμα **CORINE Land Cover**, CLC τον συντονισμό του οποίου έχει αναλάβει ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (European Environmental Agency - EEA). Το CLC αντικατοπτρίζει την ευαισθητοποίηση γύρω από τα περιβαλλοντικά προβλήματα. Επίσης, υποστηρίζει την ανάπτυξη και χρήση μεθόδων συλλογής και διαχείρισης δεδομένων για την απεικόνιση της κάλυψης γης και για τη δημιουργία μιας σημαντικής βάσης δεδομένων για τις χρήσεις γης και τις μεταβολές στο σύνολο του εδάφους της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Το πρόγραμμα CLC αποσκοπεί στη δημιουργία θεματικών χαρτών κάλυψης γης, σε κλίμακα 1:100.000, με φωτοερμηνεία εκτυπωμένων δορυφορικών δεδομένων και χρήση συμπληρωματικών εξωγενών στοιχείων. Οι χάρτες σε ψηφιακή μορφή, όλων των κρατών της Ευρώπης που εκπονούν το πρόγραμμα, εντάσσονται στη γεωγραφική βάση δεδομένων της DGXI και της EUROSTAT. Το σύστημα ταξινόμησης του CLC δεν ασχολείται μόνο με την παρατηρούμενη (βιο)φυσική κάλυψη της γήινης επιφάνειας, αλλά και με τη χρήση γης.

Πίνακας 13: Γενικά χαρακτηριστικά του CORINE Land Cover (URL9).

Περιοχή κάλυψης	2.3 εκατομμύρια km²
Πηγές πληροφοριών	Landsat MSS, TM, Spot XS, Pan
Κλίμακα	1: 100.000
Έκταση της μικρότερης χαρτογραφικής ενότητας	25 εκτάρια
Ονοματολογία κάλυψης γης	3 επίπεδα- 44 επικεφαλίδες στο 3^ο επίπεδο

Η συλλογή στοιχείων για τη σύνθεση των καταγραφών κάλυψης γης πραγματοποιήθηκε με την αξιοποίηση των δορυφορικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων των προγραμμάτων LANDSAT (ΗΠΑ) και SPOT (Γαλλία). Ακολουθεί η περιγραφή των τριών βασικών στοιχείων του CLC project, τα οποία έχουν καθοριστεί με σκοπό οι παραγόμενες πληροφορίες κάλυψης γης να είναι ομοιογενείς, συγκρίσιμες και ανανεώσιμες:

I. Κλίμακα χαρτογράφησης

Ως κλίμακα χαρτογράφησης έχει επιλεγεί και χρησιμοποιείται η 1:100.000, διότι:

- ❖ Έχει τον επιθυμητό βαθμό λεπτομέρειας.
- ❖ Μπορεί να αποτελέσει βάση για προκαταρκτικές μελέτες μεγαλύτερης κλίμακας σε μια χώρα, όπως για παράδειγμα για την εκπόνηση σχεδίων αστικής ανάπτυξης ή περιβαλλοντικής προστασίας.
- ❖ Μπορεί να ενταχθεί και σε άλλα projects του προγράμματος CORINE, τα οποία χρησιμοποιούν την ίδια κλίμακα.
- ❖ Είναι συμβατή με projects, που χρησιμοποιούν μικρότερες κλίμακες (π.χ. 1:1.000.000), εφόσον η τηλεπισκοπική μεθοδολογία επιτρέπει τη γενίκευση.
- ❖ Είναι σύμφωνη με τους περιορισμούς του προϋπολογιστικού σχεδιασμού και με τα όρια του χρονικού ορίζοντα, που έχουν τεθεί για την εκπόνηση του προγράμματος.
- ❖ Οι χάρτες μπορούν εύκολα και γρήγορα να ανανεωθούν και να ενημερωθούν.
- ❖ Αποτελεί τη συνήθη κλίμακα χαρτογράφησης των περισσότερων κρατών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας.

II. Ορισμός χαρτογραφικής μονάδας

Το εμβαδόν της ελάχιστης χαρτογραφικής μονάδας έχει καθοριστεί να είναι 25 εκτάρια, δηλαδή 250 στρέμματα ή εναλλακτικά 250.000 m². Στην κλίμακα 1:100.000, τα 25 εκτάρια αντιστοιχούν στο χάρτη σε ένα τετράγωνο με διαστάσεις 5x5 mm ή σε ένα κύκλο με ακτίνα 2.8 mm.

III. Ονοματολογία

Η καθορισμένη ονοματολογία CLC περιγράφει και κατηγοριοποιεί την κάλυψη γης (και μερικώς τη χρήση γης) σε τρία ιεραρχικά επίπεδα:

- ❖ Το **πρώτο επίπεδο** περιλαμβάνει πέντε 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 αναφέρονται σε μεγάλο βαθμό γενίκευσης και αφαιρετικότητας.
- ❖ Το **δεύτερο επίπεδο** καλύπτει φυσικές και φυσιογνωμικές οντότητες σε μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας. Χρησιμοποιείται για κλίμακες 1:500.000 και 1:1.000.000 και περιλαμβάνει 15 κατηγορίες κάλυψης γης.
- ❖ Το **τρίτο επίπεδο** απευθύνεται στην κλίμακα 1:100.000 του project. Περιλαμβάνει 44 τύπους βιοφυσικής κάλυψης εδάφους.

Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3
1. Τεχνητές επιφάνειες	1.1 Αστική οικοδόμηση	1.1.1 Συνεχής αστική οικοδόμηση 1.1.2 Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση
	1.2 Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα επικοινωνίας	1.2.1 Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες 1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη 1.2.3 Ζώνες λιμένων
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1 Χώροι εξόρυξης ορυκτών 1.3.2 Χώροι απόρριψης απορριμμάτων 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
	1.4 Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσιμη γη	2.1.1 Μη αρδύσιμη-αρόσιμη γη 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη 2.1.3 Ορυζώνες
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1 Αμπελώνες 2.2.2 Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς 2.2.3 Ελαιώνες
	2.3 Λιβάδια	2.3.1 Λιβάδια
	2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες 2.4.2 Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας 2.4.3 Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης 2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές
3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων 3.1.3 Μικτό δάσος
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι 3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις 3.3.5 Παγετώνες και αιώνιο χιόνι
4. Υγρές ζώνες	4.1 Εσωτερικές υγρές ζώνες	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα 4.1.2 Τυφώνες
	4.2 Παραθαλάσσιες υγρές ζώνες	4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι 4.2.2 Αλυκές 4.2.3 Παλιρροιακά επίπεδα
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Ροές υδάτων 5.1.2 Συλλογές υδάτων
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες 5.2.2 Εκβολές ποταμών 5.2.3 Θάλασσα και ωκεανός

Πίνακας 14: Ονοματολογία του προγράμματος CLC (URL9).

7.5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε:

Πίνακες διαχωριστικότητας και σφάλματος ταξινόμησης των εικόνων Landsat του νομού Θεσσαλονίκης.

Πίνακας 15: Πίνακας διαχωριστικότητας της εικόνας Landsat-2/ MSS, με ημερομηνία λήψης 22 Αυγούστου 1977.

Separability CellArray

Distance Measure: Jeffries-Matusita

Using Layers: 1 2 3 4

Taken 4 at a time

Best Minimum Separability: 603.71

Combination: 1 2 3 4

Signature Name		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Etisies_kalliergeies	1	0	1362.76	1414.21	1187.57	1411.86	1413.47	1411.71	1414.04	1413.77
Dash	2	1362.76	0	1413.95	1339.85	1409.38	1367.22	1408.93	1413.13	1406.38
Ydatinoi_ogkoi&reumata	3	1414.21	1413.95	0	1406.62	1377.8	1379.95	1351.48	1404.07	1394.17
Sunth_susthm_kalliergeias	4	1187.57	1339.85	1406.62	0	1068.59	1333.8	1210.52	1163.65	1090.47
Elh	5	1411.86	1409.38	1377.8	1068.59	0	1345.59	603.71	984.661	1114.83
Sklirofullikh_vlastisi	6	1413.47	1367.22	1379.95	1333.8	1345.59	0	1358.16	1357.48	1104.64
Texnites_Epifaneies	7	1411.71	1408.93	1351.48	1210.52	603.71	1358.16	0	1021.2	1231.94
Mh_ardeusimes/arosimes_ektaseis	8	1414.04	1413.13	1404.07	1163.65	984.661	1357.48	1021.2	0	864.101
Voskotopos	9	1413.77	1406.38	1394.17	1090.47	1114.83	1104.64	1231.94	864.101	0

Close

Η μέση ελάχιστη διαχωριστικότητα έχει τιμή **603.71**. Η πλειοψηφία των τάξεων παρουσιάζει καλή διαχωριστικότητα με εξαίρεση τα ζεύγη: «Έλη- Τεχνητές επιφάνειες» (603.71), «Βοσκότοποι- Μη αρδεύσιμες/ αρόσιμες εκτάσεις» (864.101) και «Έλη- Μη αρδεύσιμες/ αρόσιμες εκτάσεις» (984.661).

Πίνακας 16: Πίνακας σφάλματος ταξινόμησης της εικόνας Landsat-2/ MSS, με ημερομηνία λήψης 22 Αυγούστου 1977. Η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης είναι 87.84%.

Κατηγορία	Σημεία αναφοράς	Ταξινομημένα σημεία	Αριθμός ταυτίσεων	Ακρίβεια παραγωγού	Ακρίβεια χρήστη	Δείκτης K
Μη αρδεύσιμες/ αρόσιμες εκτάσεις	25	21	20	80%	95.24%	0.9427
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	13	16	12	92.31%	75%	0.7259
Βοσκότοποι	28	28	24	85.71%	85.71%	0.8238
Υδάτινοι όγκοι	11	11	11	100%	100%	1.00
Έλη	10	15	9	90%	60%	0.5710
Τεχνητές Επιφάνειες	11	10	8	72.73%	80%	0.7839
Ετήσιες καλλιέργειες	15	12	12	80%	100%	1.00
Σκληροφυλλική βλάστηση	22	22	21	95.45%	95.45%	0.9466
Δάση	13	13	13	100%	100%	1.00
Συνολικά	148	148	130			0.8611

Πίνακας 17: Πίνακας διαχωριστικότητας της εικόνας Landsat-5/ TM με ημερομηνία λήψης 19 Ιουλίου 1987.

Separability CellArray									
Distance Measure: Jefferies-Matusita									
Using Layers: 1 2 3 4 5 6									
Taken 6 at a time									
Best Minimum Separability: 1100.23									
Combination: 1 2 3 4 5 6									
Signature Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Udatinoi oqkoi k. reumata 1	0	1414.21	1414.21	1414.21	1414.21	1414.21	1414.21	1414.21	1414.21
Elh 2	1414.21	0	1414.21	1373.84	1414.01	1414.21	1147.03	1413.23	1410.97
Etisies kalliergeies 3	1414.21	1414.21	0	1414.21	1400.51	1382.96	1414.09	1100.23	1414.17
Mh_ardeusimes/arosimes_ektaseis 4	1414.21	1373.84	1414.21	0	1414.17	1414.21	1406.41	1411.71	1352.4
Skliroulukh Vlastisi 5	1414.21	1414.01	1400.51	1414.17	0	1398.52	1411.64	1371.28	1364.88
Dash 6	1414.21	1414.21	1382.96	1414.21	1398.52	0	1414.17	1395.04	1413.99
Texnites_Epifaneies 7	1414.21	1147.03	1414.09	1406.41	1411.64	1414.17	0	1395.31	1408.53
Synth_systhm_kalliergeias 8	1414.21	1413.23	1100.23	1411.71	1371.28	1395.04	1395.31	0	1385.82
Voskotopoi 9	1414.21	1410.97	1414.17	1352.4	1364.88	1413.99	1408.53	1385.82	0

Η μέση ελάχιστη διαχωριστικότητα είναι **1100.23**, ενώ γενικά όλες σχεδόν οι τάξεις παρουσιάζουν υψηλή διαχωριστικότητα. Τις χαμηλότερες τιμές έχουν τα ζεύγη: «Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας- Ετήσιες καλλιέργειες» (1100.23) και «Ελη- Τεχνητές επιφάνειες» (1147.03).

Πίνακας 18: Πίνακας σφάλματος ταξινόμησης της εικόνας Landsat-5/ TM με ημερομηνία λήψης 19 Ιουλίου 1987. Η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης είναι 89.54%.

Κατηγορία	Σημεία αναφοράς	Ταξινομημένα σημεία	Αριθμός ταυτίσεων	Ακρίβεια παραγωγού	Ακρίβεια χρήστη	Δείκτης K
Μη αρδεύσιμες/ αρόσιμες εκτάσεις	26	25	25	96.15%	100%	1.00
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	20	19	14	70%	73.68%	0.6973
Βοσκότοποι	29	27	27	93.10%	100%	1.00
Υδάτινοι όγκοι	11	11	11	100%	100%	1.00
Έλη	6	9	6	100%	66.67%	0.6531
Τεχνητές Επιφάνειες	11	16	8	72.73%	50%	0.4613
Ετήσιες καλλιέργειες	13	13	13	100%	100%	1.00
Σκληροφυλλική βλάστηση	23	20	20	86.96%	100%	1.00
Δάση	14	13	13	92.86%	100%	1.00
Συνολικά	153	153	137			0.8802

Πίνακας 19: Πίνακας διαχωριστικότητας της εικόνας Landsat-5/ TM με ημερομηνία λήψης 22 Σεπτεμβρίου 2004.

Separability CellArray									
Distance Measure: Jeffries-Matusita									
Using Layers: 1 2 3 4 5 6									
Taken 6 at a time									
Best Minimum Separability: 1010.73									
Combination: 1 2 3 4 5 6									
Signature Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mh_ardeus/arosim_ektaseis 1	0	1414.21	1359.52	1413.71	1405.89	1377.09	1336.71	1188.32	1333.13
Ydatinoi_ogkoi&reumata 2	1414.21	0	1410.53	1398.21	1410.27	1413.46	1411.77	1412.83	1414.18
Texnites_epifaneies 3	1359.52	1410.53	0	1383.27	1388.29	1235.58	1194.94	1221.07	1387.28
Sklirofullikh_vlastisi 4	1413.71	1398.21	1383.27	0	1294.01	1351.37	1393.88	1367.53	1398.93
Dash 5	1405.89	1410.27	1388.29	1294.01	0	1292.7	1405.32	1357.96	1288.93
Elh 6	1377.09	1413.46	1235.58	1351.37	1292.7	0	1027.23	1099.13	1213.14
Etisies_kalliergeies 7	1336.71	1411.77	1194.94	1393.88	1405.32	1027.23	0	1010.73	1333.07
Sunth_susthm_kalliergeias 8	1188.32	1412.83	1221.07	1367.53	1357.96	1099.13	1010.73	0	1172.04
Voskotopoi 9	1333.13	1414.18	1387.28	1398.93	1288.93	1213.14	1333.07	1172.04	0

Η μέση ελάχιστη διαχωριστικότητα έχει τιμή **1010.73**, ενώ οι διαχωριστικότητες των υπόλοιπων τάξεων είναι ικανοποιητικές. Τις χαμηλότερες τιμές παρουσιάζουν τα ζεύγη: «Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας- Ετήσιες καλλιέργειες» (1010.73), «Ετήσιες καλλιέργειες- Έλη» (1027.23) και «Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας- Έλη» (1099.13).

Πίνακας 20: Πίνακας σφάλματος ταξινόμησης της εικόνας Landsat-5/ TM με ημερομηνία λήψης 22 Σεπτεμβρίου 2004. Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης είναι 87.33%.

Κατηγορία	Σημεία αναφοράς	Ταξινομημένα σημεία	Αριθμός ταυτίσεων	Ακρίβεια παραγωγού	Ακρίβεια χρήστη	Δείκτης K
Μη αρδεύσιμες/ αρόσιμες εκτάσεις	16	17	16	100%	94.12%	0.9342
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	22	22	20	90.91%	90.91%	0.8935
Βοσκότοποι	29	17	17	58.62%	100%	1.00
Υδάτινοι όγκοι	10	10	10	100%	100%	1.00
Έλη	9	16	6	66.67%	31.58%	0.2721
Τεχνητές Επιφάνειες	12	12	11	91.67%	91.67%	0.9094
Ετήσιες καλλιέργειες	15	17	15	100%	88.24%	0.8693
Σκληροφυλλική βλάστηση	18	18	18	100%	100%	1.00
Δάση	19	18	18	94.74%	100%	1.00
Συνολικά	150	150	131			0.8569

Πίνακας 21: Πίνακας διαχωριστικότητας της εικόνας Landsat-5/ TM με ημερομηνία λήψης 15 Ιουλίου 2009.

Separability CellArray											
Distance Measure: Jeffries-Matusita											
Using Layers: 1 2 3 4 5 6											
Taken 6 at a time											
Best Minimum Separability: 760.208											
Combination: 1 2 3 4 5 6											
Signature Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sunnēfa 1	0	1414.08	1386.68	1379.82	1413.64	1414.21	1413.19	1409.41	1412.17	1395.24	1412.17
Skies 2	1414.08	0	1413.78	1413.35	1414.21	1379.47	1414.12	1370.92	1413.94	1413.86	1413.58
Elh 3	1386.68	1413.78	0	760.208	1334.7	1413.9	1414.15	1376.16	1413.83	1324.35	1335.53
Texnites_epifaneies 4	1379.82	1413.35	760.208	0	1365.95	1414.15	1414.02	1381.4	1413.44	1336.9	1383.14
Mh_ardeus/arosim_ektaseis 5	1413.64	1414.21	1334.7	1365.95	0	1414.21	1414.21	1412.29	1414.21	1352.78	1385.3
Ydatinoi_ogkoi&reumata 6	1414.21	1379.47	1413.9	1414.15	1414.21	0	1414.21	1414.2	1414.21	1414.21	1414.21
Dash 7	1413.19	1414.12	1414.15	1414.02	1414.21	1414.21	0	1412.28	1384.01	1347.87	1414.2
Sklirofulikh_vlastisi 8	1409.41	1370.92	1376.16	1381.4	1412.29	1414.2	1412.28	0	1407.53	1353.81	1225.07
Etisies_kalliergeies 9	1412.17	1413.94	1413.83	1413.44	1414.21	1414.21	1384.01	1407.53	0	1181.78	1414.08
Sunth_susthm_kalliergeias 10	1395.24	1413.86	1324.35	1336.9	1352.78	1414.21	1347.87	1353.81	1181.78	0	1307.62
Voskotopoi 11	1412.17	1413.58	1335.53	1383.14	1385.3	1414.21	1414.2	1225.07	1414.08	1307.62	0

Η μέση ελάχιστη διαχωριστικότητα είναι **760.208**, ενώ οι τιμές διαχωριστικότητας των υπόλοιπων τάξεων είναι ικανοποιητικές. Τις χαμηλότερες τιμές παρουσιάζουν τα ζεύγη: «Τεχνητές επιφάνειες- Έλη» (760.208) και «Ετήσιες καλλιέργειες- Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας» (1181.78).

Πίνακας 22: Πίνακας σφάλματος ταξινόμησης της εικόνας Landsat-5/ TM με ημερομηνία λήψης 15 Ιουλίου 2009. Η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης είναι 89.41%.

Κατηγορία	Σημεία αναφοράς	Ταξινομημένα σημεία	Αριθμός ταυτίσεων	Ακρίβεια παραγωγού	Ακρίβεια χρήστη	Δείκτης K
Μη αρδεύσιμες/ αρόσιμες εκτάσεις	24	20	20	83.33%	100%	1.00
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	19	24	18	94.74%	75%	0.7185
Βοσκότοποι	18	17	14	77.78%	82.35%	0.8026
Υδάτινοι όγκοι	12	12	12	100%	100%	1.00
Έλη	9	15	9	100%	60%	0.5776
Τεχνητές Επιφάνειες	17	14	12	70.59%	85.71%	0.8413
Ετήσιες καλλιέργειες	15	14	14	93.33%	100%	1.00
Σκληροφυλλική βλάστηση	22	20	20	90.91%	100%	1.00
Δάση	16	15	15	93.75%	100%	1.00
Σύννεφα	9	10	9	100%	90%	0.8944
Σκιές	9	9	9	100%	100%	1.00
Συνολικά	170	170	152			0.8827

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ελληνικές

1. Αγγελοπούλου, Ε., 2003: Επεξεργασία Δορυφορικών Εικόνων ASTER για την Περιοχή της Κρήτης, Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Κρήτης, Χανιά.
2. Αλεξάκης, Δ., 2008: Η Συμβολή της Γεωμορφολογίας με τη βοήθεια της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη Χαρτογράφηση Αρχαιολογικών Θέσεων, Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.
3. Αστάρης, Θ., 1980: Ποσοτική Γεωμορφολογική Μελέτη Τμήματος των Δ. Πλευρών του όρους Βερτίσκον (Κ. Μακεδονία), Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ.
4. Αστάρης, Θ., 2010: Τηλεπισκόπηση- Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες, πανεπ. σημειώσεις, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
5. Καρτέρης, Μ.Α., 2004: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Δασικής Διαχείρισης και Τηλεπισκόπησης.
6. Μερτίκας, Σ., Π., 1999: Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
7. Μουντράκης, Δ., 1985: Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 36-91
8. Μουρατίδης, Α., 2005: Συγκριτική Αξιολόγηση των Δορυφορικών Εικόνων Ραντάρ και των Πολυφασματικών Δορυφορικών Εικόνων στον Εντοπισμό και τη Χαρτογράφηση Φωτογραμμώσεων: Παραδείγματα από Περιοχές της Β. Ελλάδας, Διατριβή ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.
9. Μουρατίδης, Φ. Α., 2010: Συμβολή της Υποστηριζόμενης από GPS και GIS Διαστημικής Τηλεπισκόπησης στη Μορφοτεκτονική Έρευνα της Κεντρικής Μακεδονίας, Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.
10. Ντάφης, Α. Σ., 1973: Ταξινόμησης της Δασικής Βλαστήσεως της Ελλάδος, Γεωπονική και Δασολογική σχολή, τόμος 15, νούμε. 2, 90 σελ., Α.Π.Θ.

11. Πασιάκου, Χ., 2009: Αξιολόγηση Αλγόριθμων Εντοπισμού Μεταβολών για Διαχρονική Περιβαλλοντική Μελέτη του Φράγματος Πολυφύτου του Ποταμού Αλιάκμονα, Διατριβή ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
12. Συνθήκη Ramsar, 1971: Υγροβιότοποι Διεθνούς Σημασίας για την Ελλάδα Ν.Δ. 191/74.
13. Τσακίρη- Στρατή, Μ., 2004: Τηλεπισκόπηση, πανεπ. σημειώσεις, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ.85-158.
14. Φωτίου, Α., 2007: Γεωμετρική Γεωδαισία, Θεωρία και Πράξη, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
15. Ψιλοβίκος, Α., 1977: Παλαιογραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας, Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ.

Ξενόγλωσσες

1. Anderson, J. R., 1971: Land use classification schemes used in selected recent geographic applications of remote sensing, Photogramm.Eng., v. 37, no. 4, p. 379-387.
2. Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J.T., and Witmer, R.E., 1976: A land use and land cover classification system for use with remote sensor data, U.S. Geol. Survey Prof. Paper 964, 28 pp.
3. Astaras, T., and Silleos, N., 1984: Land Classification of Part of Central Macedonia (Greece) by the use of Remote Sensing Techniques, INT. J. REMOTE SENSING, 1984, vol.5, no.1, 289-302.
4. Avery, T. E., 1968, Interpretation of aerial photographs [2nd ed.]: Minneapolis, Burgess Pub. Co., 329 p.
5. 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 Sens. 2009, 1, 1257-1272; doi:10.3390/rs1041257
6. Bharti, R.R., Rai, D.I., Adhikari, S.B., Rawat, S.G., 2011: Timberline change detection using topographic map and satellite imagery: a critique, Tropical Ecology 52(1): 133-137.

7. Congalton, R., 1991: A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46
8. Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., 2004: Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review, *International Journal of Remote Sensing* 38: 2017-2031.
9. Critchfield, H.J, 1974: *General Climatology*, 3rd edition Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J.
10. Dikau, R., 1989: The Application of a Digital Relief Model to Landform Analysis. In: Raper, J.F. (Ed.), *Three dimensional applications in Geographical Information Systems*, Taylor and Francis, London, 51-77.
11. Esbah, H., Deniz, B., Kara, B., Kesgin, B., 2009: Analyzing landscape changes in the Bafa Lake Nature Park of Turkey using remote sensing and landscape structure metrics, *Environ Monit Assess* (2010) 165:617–632 DOI 10.1007/s10661-009-0973-y
12. Gumbricht, T., McCarthy, J., Mahlander, C., 1996: Digital Interpretation and Management of Land Cover- A Case Study of Cyprus, *Ecological Engineering* 6 (1996) 273-279.
13. Gupta, R. P., 2003: *Remote Sensing Geology*, second edition, Springer, Berlin, 655 p.
14. Hord, R. M., 1982: *Digital Image Processing of Remotely Sensed Data*. New York: Academic Press.
15. Inzana, J., Kusky, T., Higgs, G., Tucker, R., 2003: Supervised classifications of Landsat TM band ratio images and Landsat TM band ratio image with radar for geological interpretations of central Madagascar, *Journal of African Earth Sciences* 37, 59–72.
16. Jobin, B., Latendresse, C., Grenier, M., Maisonneuve, C., Sebbane, A., 2010: Recent Landscape Change at the Ecoregion Scale in Southern Québec (Canada) 1993–2001, *Environ Monit Assess* (2010) 164:631–647 DOI 10.1007/s10661-009-0918-5.
17. Loeffler, E., Honecker, U., Stabel, E., 2005: *Geographie und Fernerhundung*, Gebrueder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin.
18. Macleod, R. D., and Congalton, R. G., 1998: A Quantitative Comparison of Change-Detection Algorithms for Monitoring Eelgrass from Remotely

- Sensed Data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 64, No.3, March 1998, pp. 207-216.
19. Palandjian, D., Gitas Z., I., Wright, R., 2009: Burned Area Mapping and Post-fire Impact Assessment in the Kassandra Peninsula (Greece) using Landsat TM and Quickbird data, Geocarto International_Vol. 24, No. 3, June 2009, 193–205.
 20. Samaniego, L., and Schulz, K., 2009: Supervised Classification of Agricultural Land Cover Using a Modified *k*-NN Technique (MNN) and Landsat Remote Sensing Imagery, Remote Sens. 2009, 1, 875-895; doi:10.3390/rs1040875
 21. Singh, A., 1989: Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed data, International Journal of Remote Sensing, 10(6): 989-1003.
 22. Story, M., and Congalton, R., 1986: Accuracy assessment: a user's perspective, Photogramm. Eng. Remote Sens. 52(3): 397-399.
 23. Swain, P. H., and Shirley M. Davis, 1978: *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. New York: McGraw Hill Book Company.

Πηγές από το διαδίκτυο

URL1:

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

URL2: <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=6356>

URL3:

<http://webhelp.esri.com/arcgisDEsktop/9.1/index.cfm?TopicName=Raster%20performance%20tuning>

URL4: <http://www.gis.usu.edu/unix/imagine/FieldGuide.pdf>

URL5: [http://e-](http://e-topo.web.auth.gr/TOMEIS_INDEX/TOMEASB/Tsakiri/give/exam_6_pdf/thema_erdas_05.pdf)

[topo.web.auth.gr/TOMEIS_INDEX/TOMEASB/Tsakiri/give/exam_6_pdf/thema_erdas_05.pdf](http://e-topo.web.auth.gr/TOMEIS_INDEX/TOMEASB/Tsakiri/give/exam_6_pdf/thema_erdas_05.pdf)

URL6:

<http://www.google.gr/search?q=%CE%9B%CE%8A%CE%9C%CE%9D%CE%97+%CE%9A%CE%9F%CE%A1%CE%A9%CE%9D%CE%95%CE%99%CE%91&hl=el&prmd=imvns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=xQ0CT-jVCoeBOpzQvMUH&ved=0CDEQsAQ&biw=1366&bih=673>

URL7:

http://www.topo.auth.gr/greek/ORG_DOMI/EMERITUS/TOMOS_TZIMOPOULOS/papers/Papadopoulos_Papadopoulos_Metaxa.pdf

URL8:

http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CF%82_%CE%98%CE%B5%CF%83%CF%83%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CE%AF%CE%BA%CE%B7%CF%82

URL9: <http://ecourses.dbnet.ntua.gr/10605.html>

URL10: <http://www.anemos-volvi.gr/koroneia.asp>

URL11: ecourses.dbnet.ntua.gr/fsr/10764/askisi_1B_tutorial.pdf

URL12:

<http://www.google.gr/search?q=%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%BF%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%83%CF%83%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%B7%CF%82&hl=el&prmd=imvns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=d-kBT-PPIfOrOe8KIB&sqi=2&ved=0CCwQsAQ&biw=1366&bih=673>

URL13: <http://diocles.civil.duth.gr/links/home/database/thessaloniki/pr20ec.pdf>

URL14: [http://e-](http://e-topo.web.auth.gr/TOMEIS_INDEX/TOMEASB/Tsakiri/give/mps/5_mps_accuracy_cd2_pdf_05.pdf)

[topo.web.auth.gr/TOMEIS_INDEX/TOMEASB/Tsakiri/give/mps/5_mps_accuracy_cd2_pdf_05.pdf](http://e-topo.web.auth.gr/TOMEIS_INDEX/TOMEASB/Tsakiri/give/mps/5_mps_accuracy_cd2_pdf_05.pdf)

URL15:

http://www.google.de/search?q=%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%BD%CE%B7+%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%B2%CE%B7&hl=el&prmd=imvns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=RxICT5T_FsGbOof9oaMB&ved=0CC8QsAQ&biw=1366&bih=673

URL16:

http://www.wfdd.teilar.gr/15_th_Panhellenic_Forestry_CONFERENCE/Presentations/Ainali.pdf

URL17:

http://www.google.com/search?hl=el&q=%CE%B3%CE%B5%CF%89%CF%84%CE%B5%CE%BA%CF%84%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%82+%CE%87%CE%B1%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%82+%CE%B5%CE%B%CE%BB%CE%B1%CE%B4%CE%B1&gs_sm=12&gs_upl=2824l18347l0l22050l35l35l5l4l4l0l160l3418l0.26l26l0&um=1&ie=UTF-8&tbm=isch&source=og&sa=N&tab=wi&ei=Y6NKT-vVPITusgaL78iUBQ&biw=1280&bih=638&sei=ZqNKT9yaDov4sga90aCUBQ