

25 MAY 2000



ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΟ Ν. ΓΡΕΒΕΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ Γ.Σ.Π.

αφ. ειλ. 156

Πτυχιακή Εργασία

Γκαλογιάννης Κωνσταντίνος

378982

ΜΥΤΙΛΗΝΗ
ΙΟΥΝΙΟΣ 1994

10061214

Σύνθεση της εξεταστικής επιτροπής :

Ι.Ν. ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ, Καθηγητής Τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π.,
Τμήματος Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αιγαίου.

* Χ. ΓΙΟΥΡΓΑ, Διδάσκουσα Διαχείρισης Οικοσυστημάτων,
Τμήματος Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Α. ΛΟΥΜΟΥ, Επιστημονικός Συνεργάτης,
Τμήμα Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αιγαίου.

* Επιβλέπουσα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχήν θέλω να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της πτυχιακής μου εργασίας Χρ. Γιούργα για την ανάθεση του θέματος σε μένα, την απόλυτη εμπιστοσύνη που μου έδειξε (κάτι που δεν θα ξεχάσω), την αμέριστη συμπαράστασή της, τις πολύτιμες συμβουλές της και γενικά την άψογη συνεργασία που είχαμε. Τον συνάδελφο και φίλο Σ. Κουκούλα ευχαριστώ θερμά για την αμέριστη βοήθεια, για τις πολύτιμες συμβουλές του, για την ηθική συμπαράσταση, για την ..., για τον ..., για τις ..., για πολλούς λόγους τον ευχαριστώ. Τους αξίζουν συγχαρητήρια.

Τον καθ. Τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π. Ι. Χατζόπουλο ευχαριστώ θερμά για τη βοήθειά του και την υποστήριξη της πτυχιακής μου εργασίας.

Την επιστημονικό συνεργάτη Α. Λούμου την ευχαριστώ πολύ, για τη βοήθειά της, τις συμβουλές της και την ηθική συμπαράσταση.

Ευχαριστώ επίσης όλους τους φίλους μου για το δικό τους τρόπο συμπαράστασης και ιδιαίτερα τον Π. Δημητρακόπουλο, το Χ. Μανδουλά και τη Δ. Φραγκούλη.

Τέλος, δεν μπορώ να μη παραλείψω στις ευχαριστίες μου το φίλο Φ. Λάλλο για το πολύτιμο υλικό που μου έστειλε, τον ευχαριστώ πολύ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1 Ο Νομός Γρεβενών
- 1.2 Τηλεπισκόπηση : Ορισμός - Γενικά Στοιχεία
 - 1.2.1 Σχηματισμός Εικόνας μέσω Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας
 - 1.2.2 Ψηφιακή Εικόνα
 - 1.2.3 Δορυφορικό Σύστημα Landsat Δέκτης TM
- 1.3 Σχεδιασμός και Στόχοι της Παρούσας Εργασίας

ΜΕΘΟΔΟΙ - ΤΕΧΝΙΚΕΣ

- 2.1 Μέθοδοι Επεξεργασίας TM
 - 2.1.1 Ραδιομετρική Ενίσχυση - Εξίσωση Ιστογράμματος
 - 2.1.2 Διόρθωση Γεωμετρικής Παραμόρφωσης
 - 2.1.3 Γεωμετρική Διόρθωση Εικόνας
 - 2.1.4 Επιλογή - Δημιουργία Καναλιών για Πολυφασματική Ταξινόμηση
- 2.2 Το Στάδιο της Δειγματοληψείας
- 2.3 Πολυφασματική Ταξινόμηση
 - 2.3.1 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση
 - 2.3.2 Αλγόριθμοι Ταξινόμησης
 - 2.3.3 Μέθοδος της Μεγίστης Πιθανοφάνειας
- 2.4 Εκτίμηση της Ακρίβειας των Αποτελεσμάτων
 - 2.4.1 Πίνακας Λάθους
 - 2.4.2 Λάθη από Παραλήψεις και Λάθη από Επιφορτήσεις
 - 2.4.3 Ποσοτική Εκτίμηση του Πίνακα Λάθους
 - 2.4.4 Καθορισμός Επιπέδου Εμπιστοσύνης

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πίνακες - Χάρτες

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

- * Κριτική της Μεθοδολογικής Προσέγγισης
- * Ερμηνεία Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα - Προτάσεις

1.1 Ο Νομός Γρεβενών

Ο νομός Γρεβενών, ο νεώτερος και ένας από τους πιο ορεινούς νομούς της χώρας μας βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο της Δυτικής Μακεδονίας και περιβάλλεται από τους νομούς Ιωαννίνων, Τρικάλων, Λαρίσης, Κοζάνης και Καστοριάς.

Από τη συνολική έκτασή του (2290,9 χιλ.στρ.) το 20,1% (460.000 στρ.) καλύπτει η γεωργική γη, το 32,7% (755.600 στρ.) καταλαμβάνουν οι βοσκότοποι, το 43,3% (990.300 στρ.) τα δάση, το 1,8% (38.600 στρ.) οι δρόμοι-οικισμοί, το 1,3% (29.700 στρ.) οι εκτάσεις με νερό και το 0,8% (16.700 στρ) καταλαμβάνουν οι άγονες εκτάσεις (Γιαννόπουλος, 1989).

Από τη συνολικά καλλιεργούμενη γεωργική γη, οι αροτριάεις καλλιέργειες καταλαμβάνουν το 95,7% (440.000 στρ.) και οι αρδευόμενες εκτάσεις μόλις το 6,3% (29.047 στρ.). Τα σιτηρά για την παραγωγή καρπού καταλαμβάνουν το 81,3% (374.200 στρ.) της συνολικής γεωργικής γης, με κυρίαρχες τις καλλιέργειες του σιταριού (80,2%) και κριθαριού (19,3%) και τα κτηνοτροφικά φυτά για παραγωγή σανού που καταλαμβάνουν το 6,1% αυτής (Γιαννόπουλος, 1989). Επομένως η γεωργία στο νομό είναι εκτατικής μορφής και η παραγωγική της κατεύθυνση είναι σιτάρι μαλακό και κτηνοτροφικοί καρποί και σανά για την κάλυψη αναγκών της κτηνοτροφίας, η οποία είναι πολύ ανεπτυγμένη.

Πράγματι ο νομός είναι ο πλέον κτηνοτροφικός νομός της Δ. Μακεδονίας. Ο αριθμός των αιγοπροβάτων και βοοειδών που βόσκει στα λιβάδια του Ν. Γρεβενών ανέρχονται σε 206.760 ζώα (Παπαναστάσης, 1989) από τα οποία τα 76.000 είναι νομαδικά ζώα που μετακινούνται κυρίως από τους όμορους νομούς της Θεσσαλίας κατά τη θερινή περίοδο (από 21 Μαΐου έως 5 Οκτωβρίου). Αποτέλεσμα της μετακίνησης των ζώων στους βοσκότοπους του νομού, είναι να αυξάνεται σημαντικά η βοσκοφόρτωση σ'αυτούς. Για να δειχτεί το μέγεθος της υπερεκμετάλλευσης των βοσκοτόπων παρατίθενται

στοιχεία από πέντε περιοχές του Ν. Γρεβενών στον παρακάτω πίνακα.

Περιοχή	Βοσκοικανότητα (μονάδες βοσκής)	Βοσκοφόρτωση (μονάδες βοσκής)
Δεσκάτη	51.700	167.850
Παρασκευή	8.290	27.470
Περιβόλι	45.586	100.647
Αβδέλλα	30.672	47.250
Σμίξη	10.016	50.609

(Αδαμακόπουλος και Αδαμακοπούλου 1991,
Τζατζάνης και Θεοχάρης 1989)

Ακόμη τα στρέμματα κατά υψομετρική ζώνη το χρόνο που αναλογούν σε κάθε ζωική μονάδα σύμφωνα με το παραπάνω ζωικό κεφάλαιο στο νομό είναι:

Ζώνη		
Πεδινή	Ημιορεινή	Ορεινή
1.75	6.34	3.20

αν λειφθεί υπόψη ότι τα ζώα χρειάζονται 7 στρέμματα λιβαδιού για κάθε ζωική μονάδα στην πεδινή και ημιορεινή ζώνη και 4 στρέμματα στην ορεινή ζώνη το χρόνο (Παπαναστάσης, 1989).

Η ακολουθούμενη τακτική βόσκησης υποβαθμίζει με επιταχυνόμενο ρυθμό την παραγωγικότητα των βοσκοτόπων λόγω της διάβρωσης και της απώλειας παραγωγικού εδάφους, δυσχεραίνει την αναγέννηση της φυσικής βλάστησης και δεν επιτρέπει τη δασοπονική εκμετάλλευση μεγάλου μέρους των δασικών εκτάσεων. Η παραγωγή των λιβαδιών της

Δ. Μακεδονίας κυμαίνεται μεταξύ 15 και 230 χλγ/στρέμμα στην ημιορεινή ζώνη, μεταξύ 30 και 270 χλγ/στρέμμα στην ορεινή ζώνη και στην πεδινή σε 150 χλγ/στρέμμα (Παπαναστάσης, 1989).

Ο μεγάλος αριθμός ζώων της περιοχής ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες έχει ως αποτέλεσμα να βόσκειται την περίοδο αυτή και ο Εθνικός Δρυμός Πίνδου (Βάλια Κάλντα) παρά την ισχύουσα νομοθεσία που απαγορεύει την είσοδο ζώων σ' αυτόν.

Οι κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις στηρίζονται στην οικογενειακή εργασία και το μέσο μέγεθος των κοπαδιών ανέρχεται σε 250 ζώα.

Τα βουνά του νομού καλύπτονται από μεγάλα δάση μαύρης πεύκης, οξυάς, λευκόδερμου πεύκης (ρόμπολο), ελάτου, ενώ δρυοδάση εκτείνονται σε όλη την ημιορεινή ζώνη.

Πηγαίνοντας προς την ορεινή ζώνη, τη θέση της δρυός παίρνει το μαυροπέυκο. Αυτό το σκληροτράχηλο δέντρο σχηματίζει εκτεταμένα δάση που αποτελούν ένα πολύτιμο φυσικό πόρο για το νομό και συναντάται κυρίως σε υψόμετρο 800 - 1700 μ.

Στις υγρές κοιλάδες ή σε πλαγιές με βόρειο προσανατολισμό υπάρχουν μικρά ή μεγάλα δάση οξυάς που όμως δε φτάνει συνήθως υψηλότερα από τα 1800 μ.

Πάνω από τα 1500 μ. περίπου φυτρώνει το ρόμπολο με το χαρακτηριστικό χοντρό φλοιό του που στα μεγάλης ηλικίας δέντρα σχηματίζει ένα παζλ από μικρά ρομβοειδή κομμάτια. Το ρόμπολο σκιαγραφεί και το όριο του δάσους, ενώ τα λιγοστά στρεβλά ή αστραποκαμμένα άτομα του που σκαρφαλώνουν στις ψηλότερες κορφές μαρτυρούν τη δριμύτητα των συνθηκών που επικρατούν σ' αυτά τα ύψη. Υπάρχουν γέρικα ρόμπολα που η ηλικία τους κυμαίνεται μεταξύ 300 και 500 χρόνων.

Στο όρος Βουνάσα και στην περιοχή του Ζιάκα υπάρχουν τα μοναδικά δάση στο νομό του μακεδονίτικου ελάτου.

Σε δύο σημεία του Εθνικού Δρυμού της Πίνδου παρατηρήθηκαν

δύο μικρές συστάδες δασικής πεύκης. Οι συστάδες αυτές περιελάμβαναν γύρω στα 30 αναπτυσσόμενα δέντρα, ηλικίας 50 έως 100 χρόνων περίπου, που ήταν διασκορπισμένα ανάμεσα σε δέντρα μαύρης πεύκης. Η ύπαρξη του είδους αυτού, αποτελεί αξιοσημείωτο φαινόμενο, γιατί είναι το νοτιότερο σημείο εξάπλωσής του στη Βαλκανική.

Από τη μακία βλάστηση, είναι χαρακτηριστική η μεγάλη εξάπλωση του αγριόκεδρου, του πουρναριού και του πυξού, που στο όρος Βούρινο και Φλάμπουρο επικρατούν.

Η σύνθεση των δασών και η έκταση που καταλαμβάνει κάθε είδος δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Είδος	Δάση (στρ.)	Μερ. Δασοσκεπής εκτάσεις (στρ.)	Σύνολο (στρ.)	Ποσοστό %
Μ. Πεύκη	201.120	105.820	306.940	23,69
Λ. Πεύκη	12.830	16.390	29.220	2,25
Ελατο	7.390	-	7.390	0,57
Οξυά	51.300	9.210	60.510	4,67
Δρυς	479.220	377.410	856.630	66,12
Λοιπά Πλατύφυλλ	17.750	17.090	34.840	2,70
Σύνολο	769.610	525.920	1.295.530	100,00

(Βέργος, 1989)

Η παραγωγή στρογγυλής ξυλείας στο Ν. Γρεβενών ήταν 32,6 χιλ. κυβ. μέτρα κατά το 1986. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής

(περίπου 80%) είναι ξυλεία μ. πεύκης και ακολουθεί η ξυλεία οξυάς (10% περίπου). Μεγάλο μέρος από τα δρυοδάση είναι ταλαιπωρημένα από την υπερβόσκηση και τις συγχεείς υλοτομίες, που παράγουν σχεδόν αποκλειστικά καυσόξυλα (Βέργος, 1989).

Ο πρωτογενής τομέας (γεωργία, κτηνοτροφία και δάση) απασχολεί το 45% του ενεργού πληθυσμού, επομένως απασχολείται σ' αυτόν το μεγαλύτερο τμήμα του ενεργού πληθυσμού. Ο νομός δεν έχει ιδιαίτερα ανεπτυγμένη βιομηχανία (ένα εργοστάσιο παραγωγής MDF) και βιοτεχνία και μόλις το 12% του ενεργού πληθυσμού απασχολείται σ' αυτές. Σημαντικός αριθμός ατόμων, 12,2% των απασχολούμενων, απασχολείται στις οικοδομές και στα δημόσια έργα. Στην περιοχή δύσκολα εγκαθίσταται βιομηχανίες και βιοτεχνίες, αφού διαθέτει περιορισμένες πρώτες ύλες και βρίσκεται μακριά από κεντρικούς άξονες μεταφοράς και μεγάλα αστικά κέντρα. Οι εργαζόμενοι στον τριτογενή τομέα αποτελούν το 17,1% του ενεργού πληθυσμού και καλύπτουν κυρίως ανάγκες μεταφοράς, υγείας, εκπαίδευσης, τραπεζικών συναλλαγών και λοιπών υπηρεσιών (Μάργαρης και συνεργάτες, 1993). Όμως δραστηριότητες που θα συνέβαλλαν στην ανάπτυξη της περιοχής από τον τομέα αυτό, όπως ο τουρισμός, δεν είναι σημαντικές. Οι μειωμένες τουριστικές δραστηριότητες που αναπτύσσονται είναι οικοτουριστικές στον Εθνικό Δρυμό της Πίνδου, θερινός τουρισμός στην περιοχή της Σαμαρίνας στα πλαίσια του αγροτουρισμού και χειμερινός τουρισμός στην περιοχή Γρεβενών, που κοντά τους είναι το χιονοδρομικό κέντρο της Βασιλίτσας.

Στη σύνθεση του Α.Ε.Π. ο πρωτογενής τομέας συμμετείχε 29,5%, ο δευτερογενής κατά 27,1% και ο τριτογενής κατά 43,4% το έτος 1979, ενώ την ίδια χρονική περίοδο το Α.Ε.Π. κατά κεφαλή στα Γρεβενά ήταν μόλις το 65,5% του μέσου της χώρας και ο νομός κατείχε την 47^η θέση μεταξύ των νομών της Ελλάδος (Μάργαρης και συνεργάτες, 1993).

Γενικά ο πληθυσμός του νομού παρουσιάζει σταθεροποίηση από το 1971 και μετά, όπως δείχνει και ο παρακάτω πίνακας.

ΕΞέλιξη του πληθυσμού στο νομό Γρεβενών

Ετος	Πληθυσμός	Διαφορά σε ποσοστά
1961	43484	
1971	35275	- 18.80%
1981	36421	+ 3.20%
1991	37017	+ 1.60%

(Μάργαρης και συνεργάτες, 1993)

Η ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων που υπάρχουν στις ορεινές περιοχές είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη φυσική τους βλάστηση και το ορεινό τους ανάγλυφο. Τα δάση και η ποικιλότητά τους αποτελούν για τις περιοχές αυτές τους πλουτοπαραγωγικούς πόρους. Η θεώρηση του δάσους ως συστήματος παραγωγής ξυλείας προωθεί την ανάπτυξη συγκεκριμένων τύπων βλάστησης εις βάρος της ποικιλότητας της χλωρίδας και της πανίδας.

Γίνεται λοιπόν φανερό ότι χρειαζόμαστε έναν τρόπο προσέγγισης της υφιστάμενης κατάστασης πιο αντικειμενικό και πιο αξιόπιστο. Στη μελέτη αυτή έγινε μια προσπάθεια ανάπτυξης του μεθοδολογικού πλαισίου που χρησιμοποιώντας τα υψηλότερα τεχνολογικά επιτεύγματα μας επιτρέπει την καταγραφή της φυτοκάλυψης στο Ν. Γρεβενών.

Αναφερόμαστε βεβαίως στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και στην επεξεργασία δορυφορικών εικόνων για την απόσπαση ποιοτικής και ποσοτικής πληροφορίας, η οποία αφορά το περιβάλλον.

1.2 Τηλεπισκόπηση: Ορισμός - Γενικά Στοιχεία

Η τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) ορίζεται ως η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνολογία που χρησιμοποιεί εικόνες για να πάρει από αυτές αξιόπιστη μετρική ή ποιοτική πληροφορία (Χατζόπουλος 1991).

Ενας πιο λεπτομερής ορισμός διατυπώνεται στο Manual of Photogrammetry της American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) : "Η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνολογία που παίρνουμε αξιόπιστη πληροφορία για φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον, μέσω μιας διαδικασίας που καταγράφει, μετρά και ερμηνεύει εικόνες και πρότυπα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και άλλα φαινόμενα".

Η τηλεπισκόπηση για το περιβάλλον αναγνωρίζει και οριοθετεί τις περιοχές της εικόνας που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την συγκεκριμένη περιβαλλοντική μελέτη (κάλυψη γης, χρώμα θάλασσας, ρύπανση περιοχής κλπ.) και στη συνέχεια η πληροφορία μεταφέρεται σε θεματικό χάρτη.

Τα πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης συνοψίζονται στα εξής:

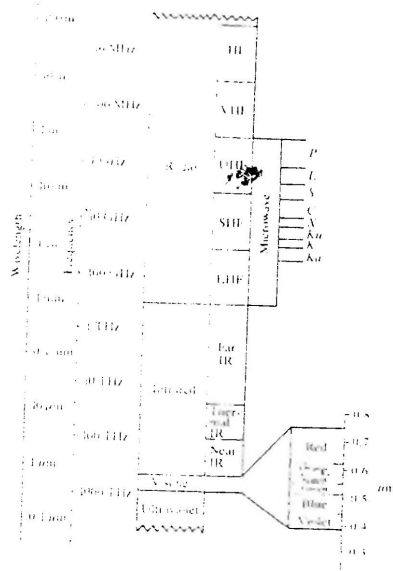
1. Ελαχιστοποίηση των εργασιών της υπαίθρου.
2. Απόσπαση πληροφορίας χωρίς άμεση επαφή με το αντικείμενο.
3. Ελεγχόμενη επιθυμητή ακρίβεια.
4. Ομοιογένεια στον προσδιορισμό ή ερμηνεία μεγάλου αριθμού σημείων του αντικειμένου.
5. Επιδέχεται σε μεγάλο βαθμό αυτοματοποίηση.
6. Μεγάλη ταχύτητα.
7. Σχετικά ελάχιστο κόστος.
8. Δημιουργία μόνιμου αρχείου καταγραφής του περιβάλλοντος κατά τη στιγμή της λήψης της εικόνας.

Οι κύριες συνιστώσες της τηλεπισκόπησης είναι:

1. Φωτοερμηνεία με συμβατική φωτογραφία.
2. Τηλεπισκόπηση με γενικευμένες εικόνες (Landsat, Spot, Meteosat, κλπ.) με εφαρμογές στο περιβάλλον.
3. Επίγειες λήψεις από φωτογραφικές μηχανές μικρού πλαισίου και εφαρμογές στο περιβάλλον.

1.2.1 Σχηματισμός εικόνας μέσω Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας

Άμεσο ενδιαφέρον παρουσιάζει για όλες σχεδόν τις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ΗΜΑ) (σχήμα 1). Κι αυτό διότι αποτελεί την αφετηρία σχηματισμού της εικόνας.



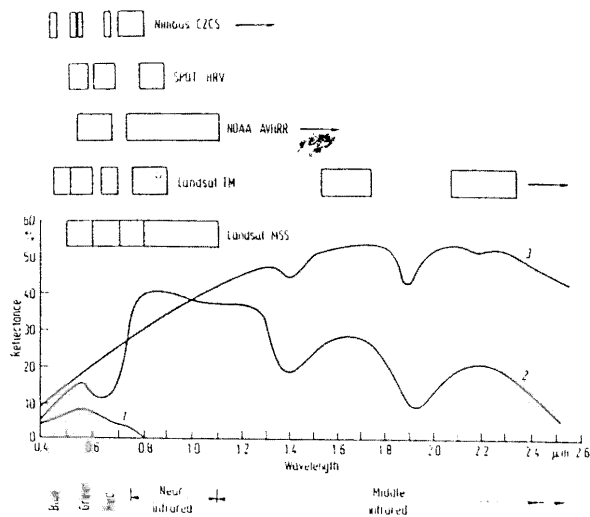
Σχήμα 1. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Ο ήλιος (ραδιομετρική πηγή) εκπέμπει ΗΜΑ η οποία όταν συναντήσει στη γη κάποιο αντικείμενο ή στόχο ένα μέρος της απορροφάται και το υπόλοιπο μέρος ανακλάται από το στόχο. Το μέρος της ΗΜΑ που ανακλάται, μέσω της ατμόσφαιρας φτάνει σε δέκτη ο οποίος διαθέτει σύστημα ανίχνευσης και καταγραφής ώστε να δημιουργηθεί η εικόνα (Χατζόπουλος 1991).

Η δημιουργία της εικόνας πετυχαίνεται από την επεξεργασία, αξιολόγηση και παρουσίαση της ΗΜΑ που καταγράφει ο δέκτης. Η ποσότητα που ανακλά το αντικείμενο στα διαφορετικά μήκη κύματος (φασματική υπογραφή του αντικειμένου) και ποιότητα της ΗΜΑ συμβάλει στην αναγνώριση του αντικειμένου, μιας και διαφορετικά αντικείμενα έχουν διαφορετικά ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της ΗΜΑ (σχήμα 2).

1.2.2 Ψηφιακή Εικόνα

Κάθε ψηφιακή εικόνα, δορυφορική ή μη, είναι μία 2-διαστάσεων συνάρτηση της έντασης του φωτός $f(x, \psi)$, όπου οι συντελεστές x, ψ καθορίζουν τις χωρικές συντεταγμένες. Η τιμή της f σε κάθε σημείο (x, ψ) είναι ανάλογος της κλίμακας του γκριζου της εικόνας στο σημείο αυτό.



Σχήμα 2. Φασματικές υπογραφές (1) Νερό, (2) Βλάστηση, (3) Έδαφος.

Η δομή της ψηφιακής εικόνας είναι στοιχεία διατεταγμένα σε γραμμές και στήλες (pixels). Τα στοιχεία αυτά αντιστοιχούν σε περιοχές στο έδαφος που έχουν συγκεκριμένες διαστάσεις. Οι διαστάσεις αυτές καθορίζουν τη χωρική διακριτική ικανότητα ενώ ο αριθμός των καναλιών που δίνουν μια εικόνα καθορίζει τη φασματική διακριτική ικανότητα της εικόνας. Οι διαβαθμίσεις της κλίμακας του γκριζου για κάθε κανάλι δηλώνουν τη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα της εικόνας (εκφράζεται σε bits).

Έτσι τα χαρακτηριστικά κάθε στοιχείου εικόνας είναι δύο, η γεωγραφική του θέση μέσα στην εικόνα και η ραδιομετρική του τιμή.

Η ψηφιακή εικόνα παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Έχει μηδενική αλλοίωση στο χρόνο.
2. Εύκολα αποθηκεύεται και μεταφέρεται (δίσκος, ταινία, μνήμη).
3. Επιτρέπει πολλές επιλογές στην παρουσίαση από την άποψη των χρωμάτων, της μεγέθυνσης και της αντίθεσης.
4. Μπορεί να επεξεργασθεί με απεριόριστες μεθόδους ώστε να αποδοθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Η ψηφιακή ανάλυση της εικόνας (digital image analysis) αποβλέπει στην εξαγωγή πληροφοριών που θα οδηγήσουν στην ταξινόμηση των χαρακτηριστικών της εικόνας (αναγνώριση προτύπου)

ή στην πλήρη ερμηνεία της (κατανόηση εικόνας).

Υπάρχουν πολλά συστήματα δεκτών από διάφορες πλατφόρμες που είναι σχεδιασμένοι για τηλεπισκοπικές εφαρμογές. Στην παρούσα μελέτη το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι το σύστημα θεματικής απεικόνισης (Θεματικός Χαρτογράφος - Thematic Mapper, TM).

1.2.3 Δορυφορικό Σύστημα Landsat Δέκτης TM

Τα χαρακτηριστικά του δορυφόρου Landsat TM είναι τα εξής:

Τροχιά : Σχεδόν πολική, σύγχρονη με τον ήλιο, κλίση ως προς τον ισημερινό 99°, ώρα καθοδικής διέλευσης από τον ισημερινό 9:30 πμ

Υψος τροχιάς : 705 Km

Περίοδος τροχιάς : 98.9 min

Κύκλος επανάληψης : 14.56 τροχιές ανά ημέρα για 16 ημέρες (233 περιστροφές)

Δέκτης : TM (Θεματικός χαρτογράφος)

Σύστημα σάρωσης : Οπτικομηχανικό με εναλασσόμενο καθρέπτη

Ο θεματικός χαρτογράφος είναι ένας μηχανικός σαρωτής με βελτιωμένη φασματική, ραδιομετρική και χωρική ικανότητα σε σχέση με τον πολυφασματικό σαρωτή (MSS, τον άλλο σαρωτή που μεταφέρουν οι Landsat 4, 5) (σχήμα 3).

Η φασματική βελτίωση περιλαμβάνει την απόκτηση πληροφοριών σε επτά κανάλια, αντί τεσσάρων του MSS. Τα νέα κανάλια είναι στο μπλε, μέσο-υπέρυθρο και το θερμικό τμήμα του φάσματος. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά των καναλιών του TM και τις εφαρμογές τους.

Αριθμός καναλιού	Όνομα καναλιού	Μήκος κύματος	Εφαρμογές
1	μπλε/πράσινο	0.45 - 0.52 μm	- Μέγιστη διείσδυση στο νερό-χρήσιμο για βυθομετρική χαρτογράφηση ρηχών νερών

			- Διαφοροποίηση εδάφους- βλάστησης και φυλλοβόλων -κωνοφόρων φυτών
2	πράσινο	0.52 - 0.60 μm	- Ισχυρή ανάκλαση της βλάστησης και εκτίμηση της υγειούς βλάστησης
3	κόκκινο	0.60 - 0.69 μm	- Μέγιστη απορρόφηση από τη χλωροφύλλη των φυτών, χρήσιμο για το διαχωρισμό τύπων βλάστησης
4	κοντινό υπέρυθρο	0.76 - 0.90 μm	- Υψηλή αντίθεση γης-νερού και χρήσιμο για την εκτίμηση της βιομάζας των φυτών
5	μέσο υπέρυθρο	1.55 - 1.75 μm	- Καλή αντίθεση μεταξύ τύπων βλάστησης, διαπερνά αραιά σύννεφα, διάκριση χιονιού από σύννεφα και χρήσιμο για τον προσδιορισμό της υγρασίας του εδάφους και της βλάστησης
6	θερμικό υπέρυθρο	10.40 - 12.50 μm	- Χρήσιμο για την χαρτογράφηση θερμών περιοχών και εκτίμηση της υγρασίας του εδάφους (κυρίως με νυχτερινές εικόνες)
7	μέσο υπέρυθρο	2.08 - 2.35 μm	- Χρήσιμο σε γεωλογικούς διαχωρισμούς

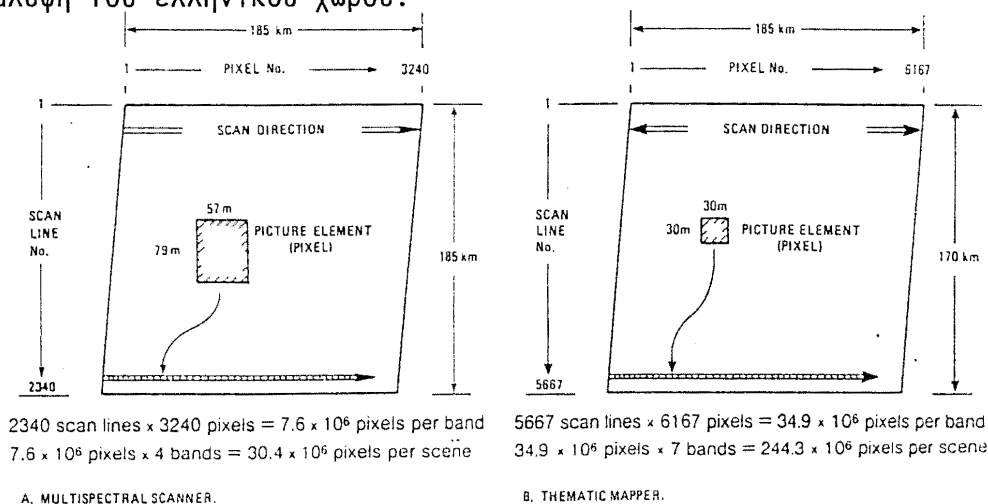
=====

Η ραδιομετρική βελτίωση του TM σχετίζεται κυρίως με το γεγονός ότι η καταγραφή της ακτινοβολίας γίνεται σε 256 επίπεδα (αντί 64 του MSS) και η ραδιομετρική ικανότητα είναι 8 bits.

Η χωρική διακριτική ικανότητα παρουσιάζει σημαντική βελτίωση αφού είναι 30m x 30m για όλα τα κανάλια εκτός του θερμικού υπέρυθρου που είναι 120m x 120m.

Επίσης ο TM χρησιμοποιεί για τα κανάλια 100 ανιχνευτές (δεκαέξι ανιχνευτές για κάθε ένα από τα μη θερμικά κανάλια και τέσσερις για το θερμικό) αντί 24 που απαιτεί ο MSS.

Το σύστημα θεματικής χαρτογράφησης καταγράφει την ακτινοβολία, σαρώνοντας την επιφάνεια της γης προς δύο κατευθύνσεις, κάθετα προς το ίχνος της τροχιάς του δορυφόρου, σε μια ζώνη 185 Km, 16 γραμμές σάρωσης ραδιομετρούνται ταυτόχρονα, σε μία ζώνη εδάφους με μήκος 480 m, σε χρόνο ώστε να καλύπτεται η επιφάνεια της γης με έκταση 185km x 185km. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι απαιτούνται περίπου 25 εικόνες Landsat για την κάλυψη του ελληνικού χώρου.

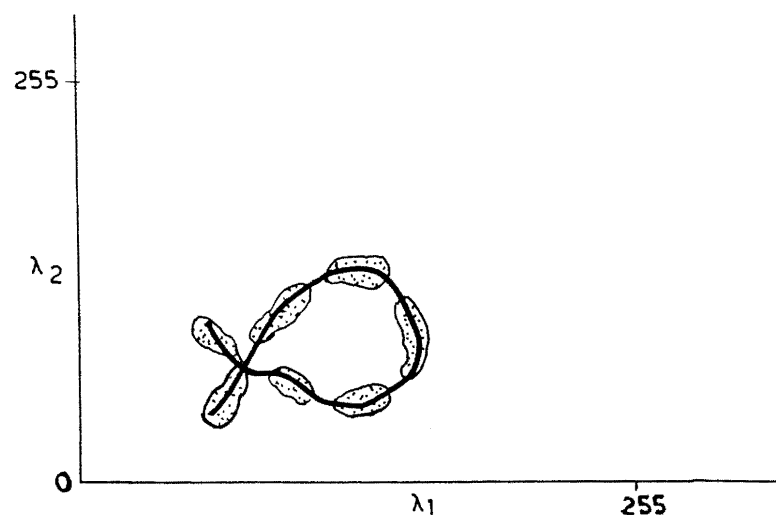


Σχήμα 3. Πλαίσιο εικόνας του TM, MSS

1.3 Σχεδιασμός και Στόχοι της Παρούσας Εργασίας

Σήμερα η τηλεπισκόπηση προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για την παρακολούθηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων, των ημιφυσικών και φυσικών συστημάτων βλάστησης. Η επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας για τον προσδιορισμό της βλάστησης παρουσιάζει στην

Ελλάδα σοβαρές δυσκολίες που προέρχονται από τις ιδιομορφίες των συστημάτων βλάστησης. Η προσπάθεια ταξινόμησης δυσχεραίνεται για τις μεν γεωργικές εκτάσεις, κυρίως από την καλλιέργεια διαφόρων φυτικών ειδών, ετησίων και δενδρώδων υπό μορφή μωσαικού, από τον πολυτεμαχισμό των γεωργικών ιδιοκτησιών και από την εγκατάλειψη καλλιεργούμενης γης με αποτέλεσμα διαφορετικοί τύποι βλάστησης να εγκαθίστανται στις εγκατελειμμένες γαίες (φρύγανα ή μακί). Για τους βοσκότοπους δυσχεραίνεται από την υπερβόσκηση που υφίστανται, λόγω της επιταχυνόμενης διάβρωσης με απώλεια εδάφους και την υποβάθμιση των φυτοκοινωνιών και διαταραχής των οικοσυστημάτων. Για τα δάση η προσπάθεια ταξινόμησης γίνεται δύσκολη κυρίως από τη διαφορά στους τύπους της φυσικής βλάστησης, από τα φύλλα των δέντρων να εμφανίζονται με διάφορα μεγέθη, σχήματα και χρώματα, από το ύψος της βλάστησης, από την πυκνότητα της βλάστησης, από τον υποόροφο των ειδών βλάστησης που ποικίλει αν είναι γυμνό έδαφος, με ετήσια φυτά, πολυετή ή μικρότερα δέντρα, από τον τύπο εδάφους που υποστηρίζει τη βλάστηση και σε όλες τις κατηγορίες από τα μορφολογικά, τοπολογικά και χρονολογικά (σχήμα 4) χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 4. Μετατόπιση του κέντρου της συσσωρεύσεως μιας κατηγορίας μέσα στον κύκλο του έτους.

Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα μεγάλες διασπορές - ανομοιογένεια στα δείγματα αλλά ακόμη περισσότερο στην αλληλεπικάλυψη των κατανομών των δειγμάτων. Επομένως στη χώρα μας οι διαδικασίες ταξινόμησης και εξαγωγής ποιοτικής και ποσοτικής πληροφορίας από δορυφορικές εικόνες είναι σαφώς περιορισμένη σε σχέση με τις

άλλες Ευρωπαϊκές χώρες ή την Αμερική οι οποίες χαρακτηρίζονται από ενιαίες εκτάσεις του ίδιου είδους φυτοκάλυψης.

Εχοντας υπόψη τα παραπάνω ξεκίνησε η εργασία με στόχους τη χαρτογράφηση της φυτοκάλυψης του Ν. Γρεβενών και τον προσδιορισμό των εκτάσεων της κάθε κατηγορίας καθώς και την τυποποίηση μιας μεθοδολογίας δειγματοληψίας και ταξινόμησης προσαρμοσμένη στα Ελληνικά δεδομένα.

Η δορυφορική εικόνα που χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση της φυτοκάλυψης του Ν. Γρεβενών είναι Landsat-TM με χρόνο λήψης την 4.10.1986. Η εικόνα δεν περιλαμβάνει ένα τμήμα του νομού, έκτασης 274.208 στρ. στα δυτικά. Στο τμήμα αυτό επικρατεί κυρίως η μ. πεύκη και ακολουθούν η οξυά, το ρόμπολο και τα βοσκοτόπια.

Για τον καθορισμό των κατηγοριών της υπό μελέτης περιοχής στηριχτήκαμε στο χάρτη βλάστησης (1:50.000) της Διεύθυνσης Δασών Γρεβενών, στις αρχές που διέπουν την ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων και αφορούν την ανάκλαση ή και την απορρόφηση ενέργειας από τις μελετώμενες επιφάνειες, στην υπάρχουσα βιβλιογραφία και στην επιτόπια έρευνα που έγινε για τη συλλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων της κάθε κατηγορίας. Ως ελάχιστο όριο έκτασης για τον καθορισμό κατηγορίας ενός είδους ή γένους πάρθηκε το 10.000 στρέμματα. Το κάθε γένος ή είδος φυτοκάλυψης δεν κατετάγησε σε είδη ή ομάδες (κατηγορίες), αλλά κάθε γένος ή είδος αποτελούσε μία κατηγορία λόγω των προβλημάτων που αναφέρονται παραπάνω και ακόμη για τη μεγαλύτερη ακρίβεια της ταξινόμησης.

Οι κατηγορίες που καθορίστηκαν για τον προσδιορισμό των εκτάσεων είναι οι εξής:

1^η Κατηγορία : Καλλιέργειες. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι αροτριάεις και δενδρώδεις καλλιέργειες. Από τις δενδρώδεις πάρθηκαν δείγματα από κερασιές, αμυγδαλιές, καρυδιές και μηλιές ενώ από αμπέλια δεν πάρθηκαν λόγω που δε βρέθηκε δείγμα πάνω από 2 στρ. Οι αροτριάεις καλλιέργειες περιλαμβάνουν κυρίως τα σιτηρά, τη μηδική, τον καπνό και το καλαμπόκι που καλύπτουν το 97% των αροτριάϊων εκτάσεων του νομού.

2^η Κατηγορία : Οξυά. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσεται το γένος των οξυών με τα είδη ασιατική οξυά (*Fagus moesiaca*) και ευρωπαϊκή οξυά (*Fagus sylvatica*), τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους στο σχήμα των αρσενικών και θηλυκών λουλουδιών και των καρπών. Τα δείγματα που πάρθηκαν στηρίχτηκαν στην πυκνότητα (πυκνό δάσος), στην ηλικία (μικρής ή μεγάλης) και στο ύψος του κάθε είδους.

3^η Κατηγορία : Βοσκότοποι, λιβάδια, άγονες-βραχώδης εκτάσεις. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται εκτάσεις με χορτολίβαδα, εκτάσεις όλων των ειδών που η κάλυψη γης δεν ξεπερνά το 20% και άγονες ή βραχώδης εκτάσεις.

4^η Κατηγορία : Ελατο. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσεται το είδος του μακεδονίτικου ελάτου (*Abies borissii regis*). Τα δείγματα πάρθηκαν με βάση την πυκνότητα του είδους αλλά και την ύπαρξη λιγοστών δέντρων μ. πεύκης.

5^η Κατηγορία : Μακία βλάστηση. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται τα είδη του πυξού (*Buxus sempervirens*), του αγριόκεδρου (*Juniperus oxycedrus*) και του πουρναριού (*Quercus coccifera*) τα οποία συνυπάρχουν χωρίς την επικράτηση κάποιου είδους. Τα δείγματα που πάρθηκαν στηρίχτηκαν στο ποσοστό κάλυψης εδάφους, στον τύπο εδάφους που υποστηρίζει τη μακία βλάστηση και στο ύψος της βλάστησης.

6^η Κατηγορία : Κέδρο. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται εκτάσεις όπου υπάρχει μόνο το είδος του αγριόκεδρου. Τα δείγματα πάρθηκαν με βάση το ποσοστό κάλυψης εδάφους από το είδος.

7^η Κατηγορία : Πουρνάρι. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται εκτάσεις όπου υπάρχει μόνο το είδος του πουρναριού. Τα δείγματα πάρθηκαν με βάση το ποσοστό κάλυψης εδάφους από το είδος.

8^η Κατηγορία : Μ. Πεύκη. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσεται το είδος της μ. πεύκης (*Pinus nigra*). Τα δείγματα που πάρθηκαν στηρίχτηκαν α) στην πυκνότητα του είδους (πυκνό δάσος → κάλυψη εδάφους 80-100%, λίγο αραιό → κάλυψη 50-80% και αραιό

—> κάλυψη 20-50%), β) στην ηλικία των δέντρων, γ) στο ύψος της βλάστησης, δ) στην ύπαρξη υποορόφου (θαμνόκεδρου, φτέρης) ή όχι, ε) στον τύπο εδάφους που υποστηρίζει το είδος και στ) στην αναδάσωση που έγινε σε μεγάλες εκτάσεις.

9^η Κατηγορία : Αστικό. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσεται ο δομημένος χώρος. Τα δείγματα πάρθηκαν από την πόλη των Γρεβενών και τα χωριά Δήμητρα, Παλιουργιά και Καρπερό. Βασίστηκαν στην πυκνότητα των οικοδομών και στην ύπαρξη βλάστησης σε κατοικημένες περιοχές.

10^η Κατηγορία : Υδατα. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται τα τρεχούμενα νερά του ποταμού Αλιάκμονα και των παραποτάμων του.

11^η Κατηγορία : Δρυς. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσεται το γένος των δρυών με τα είδη απόδισκος δρυς (*Quercus sessiliflora*), χνοώδης δρυς (*Quercus pubescens*), πλατύφυλλος δρυς (*Quercus conferta*), ευθύφοιος δρυς (*Quercus cerris*), μακεδονική βελανιδιά (*Quercus trojana*) και βελανιδιά (*Quercus sp.*). Τα είδη διαφέρουν πολύ λίγο μεταξύ τους στα φύλλα και στους καρπούς. Η αναγνώρισή τους δυσχεραίνεται ακόμη περισσότερο, αν λειφθεί υπόψη, ότι στο νομό διασταυρώνονται μεταξύ τους. Τα δείγματα που πάρθηκαν βασίστηκαν α) στην πυκνότητα των ειδών (πυκνό δάσος —> κάλυψη εδάφους 80-100%, λίγο αραιό —> κάλυψη 50-80%, αραιό —> κάλυψη 20-50%), β) στην ηλικία των δέντρων, γ) στο ύψος της βλάστησης, δ) στην ύπαρξη υποορόφου (αγριόκεδρου, μακία βλάστηση) ή όχι, ε) στον τύπο εδάφους που υποστηρίζει τα είδη, στ) στην κατάσταση της κόμης (ομοιόμορφη, ακανόνιστη) και ζ) στην υλοτόμηση που έγινε σε μεγάλες εκτάσεις.

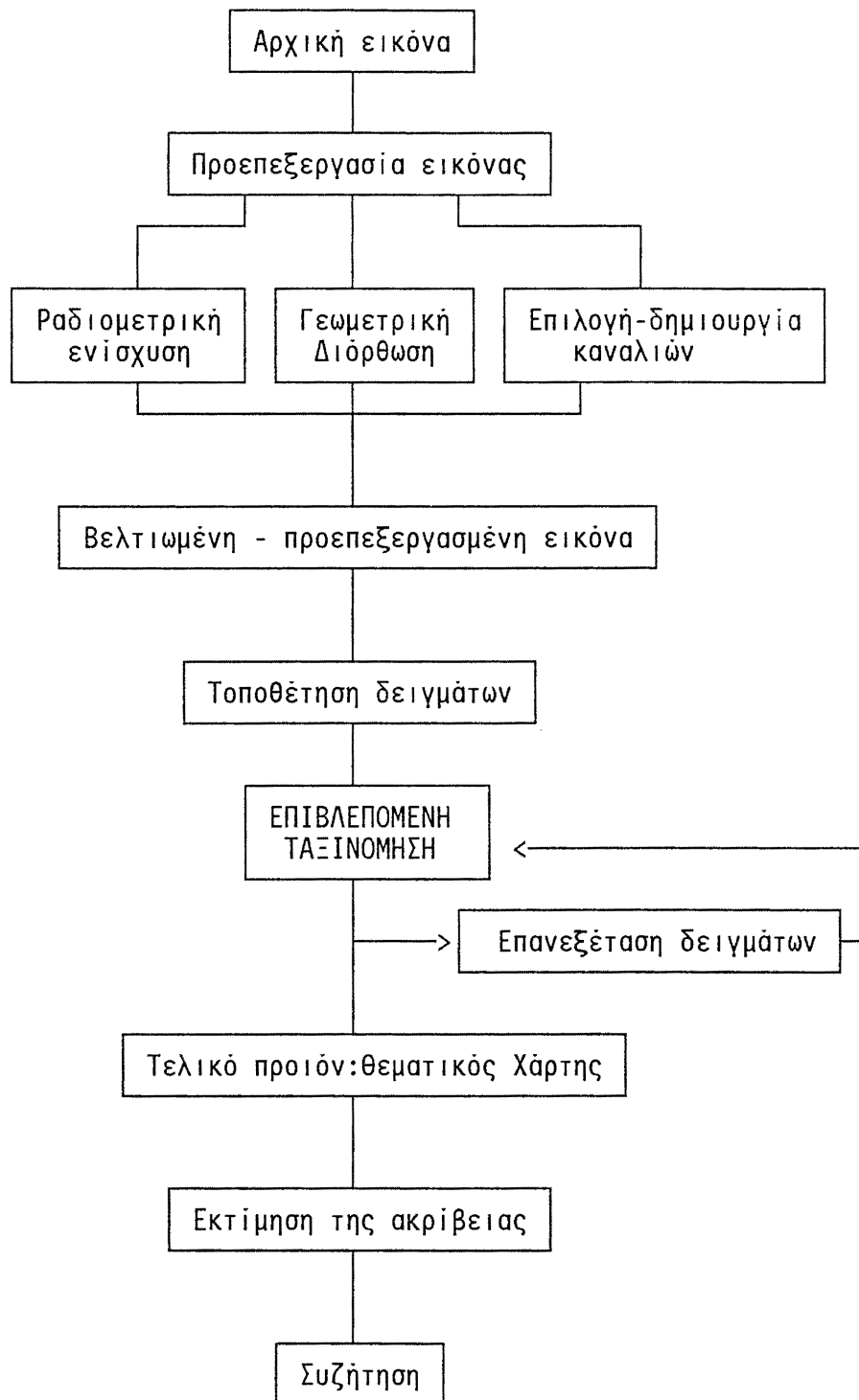
Πρέπει να σημειωθεί ότι δείγματα πάρθηκαν και για το είδος της λευκόδερμου πεύκης (*Pinus heldreichii*), τα οποία τελικά βρέθηκαν έξω από τη δορυφορική εικόνα.

Με βάση τους παραπάνω στόχους και κατηγορίες κάλυψης γης ξεκίνησε η επεξεργασία των δεδομένων όπως περιγράφεται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

ΜΕΘΟΔΟΙ - ΤΕΧΝΙΚΕΣ

2.1 Μέθοδοι Επεξεργασίας ΤΜ

Η επεξεργασία εικόνας (image processing) έγινε στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Πανεπιστημίου Αιγαίου με τη χρήση του πακέτου PC-ERDAS 7.3V. Το Σχήμα 1 αναφέρει τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία εικόνας της παρούσας μελέτης.



Σχήμα 1 : Στάδια Επεξεργασίας (Hatzopoulos et al., 1992).

Βελτιωμένη παρουσίαση εικόνας

Πολλές φορές σε μια μη επεξεργασμένη εικόνα η αναγνώριση αντικειμένων που απεικονίζει δεν είναι εύκολη και αξιόπιστη. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μέθοδοι για καλυτέρευση της ποιότητας-ερμηνευτικότητας της εικόνας. Οι προεπεξεργασίες αυτές εφαρμόζουν κατάλληλους μετασχηματισμούς, με σκοπό να δοθεί έμφαση στην σημαντικότερη για φωτοερμηνεία πληροφορία. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη βελτίωση της παρουσίασης της εικόνας ήταν η ραδιομετρική και η γεωμετρική ενίσχυση.

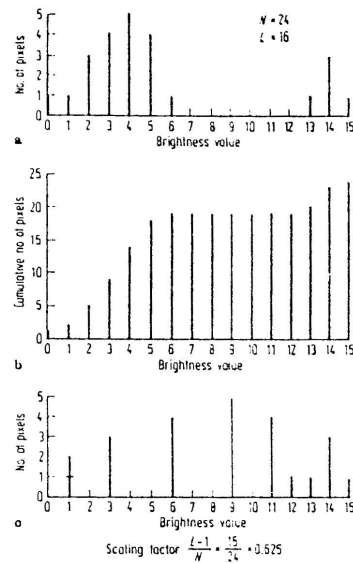
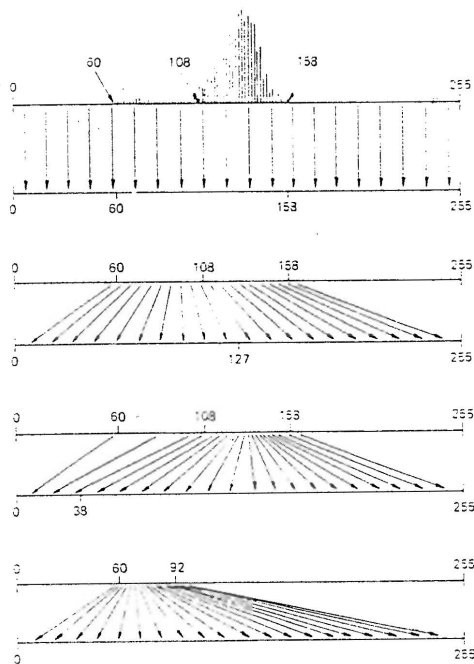
2.1.1 Ραδιομετρική Ενίσχυση - Εξίσωση Ιστογράμματος

Η ραδιομετρική ενίσχυση (radiometric enhancement) συμπεριλαμβάνει την ανακατανομή των ραδιομετρικών τιμών των pixels σύμφωνα με μια συγκεκριμένη συνάρτηση ή σχέση.

Σε μία δορυφορική εικόνα ενδέχεται οι τιμές από ένα κανάλι να βρίσκονται συγκεντρωμένες σε μια στενή περιοχή του δυναμικού εύρους, χωρίς να έχει γίνει "εκμετάλλευση" όλου του δυναμικού εύρους. Δηλαδή οι ραδιομετρικές τιμές είναι συγκεντρωμένες περί τον μέσο όρο (MO). Για παράδειγμα εάν το δυναμικό εύρος είναι από 0 έως 255 και οι ραδιομετρικές τιμές ενός καναλιού τυχαίνει να είναι από 108 έως 158, τότε, όλα τα pixels της εικόνας θα έχουν σχεδόν τον ίδιο τόνο και θα είναι δύσκολη η διάκριση λεπτομέρειας στην εικόνα. Κάνοντας ένα μετασχηματισμό που ονομάζεται γραμμικό τέντωμα οι τιμές θα μετασχηματιστούν από 108-158 που είναι, σε 0-255 με μετατόπιση του MO και τέντωμα των τιμών ώστε τα άκρα να εκτείνονται από το 0 έως το ανώτατο όριο του δυναμικού εύρους (255).

Ο μετασχηματισμός αυτός μπορεί να επιτευχθεί με μια μεγάλη ποικιλία από σχέσεις και συναρτήσεις (μετασχηματισμοί ιστογράμματος και σύμπτωση ιστογραμμάτων). Ωστόσο, ο πιο συνήθης μετασχηματισμός είναι το ισοδύναμο ιστόγραμμα (η διαδικασία εξίσωσης ιστογράμματος, histogram equalization), όπου κάθε μετασχηματισμένη τιμή είναι ανάλογη της αθροιστικής συχνότητας των pixels με ραδιομετρική τιμή μικρότερη ή ίση της τιμής του

pixel αυτού (σχ. 1).



Σχήμα 1. Παραδείγματα εξίσωσης ιστογράμματος.

Εστω $h_i(x)$ είναι η συνάρτηση του ιστογράμματος της αρχικής (ανεπεξεργαστής) εικόνας και $h_0(y)$ είναι η συνάρτηση που αναπαριστά το τροποποιημένο ιστογράμμα. Αν η εικόνα περιέχει N pixels και L είναι το δυναμικό εύρος τότε οι ραδιομετρικές τιμές της εικόνας μετασχηματίζονται σύμφωνα με τη σχέση:

$$y = f(x) = \frac{L - 1}{N} \int h_i(x) dx$$

(Richards, J.A., 1986)

Ο παράγοντας $(L-1)/N$ αποτελεί ένα συντελεστή κλίμακας.

Το αποτέλεσμα της προεπεξεργασίας αυτής για τη συγκεκριμένη μελέτη φαίνεται στις εικόνες 1 και 2.

Εικόνα 1. Ο Ν. Γρεβενών όπως φαίνεται χωρίς εξίσωση ιστογράμματος στα τρία κανάλια.

Εικόνα 2. Ο Ν. Γρεβενών όπως φαίνεται με εξίσωση ιστογράμματος στα τρία κανάλια.

2.1.2 Διόρθωση Γεωμετρικής Παραμόρφωσης (Correction of Geometric Distortion)

Οι αιτίες των γεωμετρικών παραμορφώσεων των δορυφορικών εικόνων είναι οι εξής:

1. Η περιστροφή της γης κατά τη διάρκεια απόκτησης των εικόνων.
2. Η πεπερασμένη αναλογία σάρωσης των δορυφορικών δεκτών.
3. Το μακρινό πεδίο όρασης των δεκτών.
4. Η καμπυλότητα της γης.
5. Οι μη ιδανικοί δέκτες.
6. Οι αποκλίσεις του υψομέτρου, της θέσης και της ταχύτητας των πλατφόρμων.
7. Οι πανοραμικές επιδράσεις που σχετίζονται με τη γεωμετρία των εικόνων.

Γενικά υπάρχουν δύο τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διόρθωση των γεωμετρικών παραμορφώσεων μιας δορυφορικής εικόνας. Η πρώτη είναι η μοντελοποίηση της φύσης και της σπουδαιότητας των πηγών παραμόρφωσης και η χρησιμοποίηση αυτών των μοντέλων για τη στήριξη φόρμουλας διόρθωσης. Η τεχνική αυτή δεν χρησιμοποιείται συχνά αφού δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις και μόνο όταν είναι πολύ καλά γνωστό το είδος της παραμόρφωσης. Η δεύτερη τεχνική -και η περισσότερο χρησιμοποιημένη- στηρίζεται στις μαθηματικές σχέσεις μεταξύ των θέσεων των pixels στην εικόνα και τις αντίστοιχες συντεταγμένες στο πεδίο (χάρτη). Η δεύτερη τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από τις γνώσεις του αναλυτή γύρω από την πηγή και τον τύπο της παραμόρφωσης και είναι ως τεχνική ανεξάρτητη από την πλατφόρμα συλλογής δεδομένων (Richards J.A, 1986). Για το δορυφορικό σύστημα Landsat η επίδραση των αποκλίσεων του υψομέτρου, της ταχύτητας και της θέσης της πλατφόρμας επανορθώνονται πριν κατανεμηθούν τα δεδομένα στους χρήστες.

2.1.3 Γεωμετρική Διόρθωση Εικόνας (Geometric Correction)

Η διαδικασία γεωμετρικής διόρθωσης μπορεί να θεωρηθεί ότι περιλαμβάνει:

1. Τον καθορισμό μιας σχέσης ανάμεσα στο σύστημα συντεταγμένων του χάρτη και της εικόνας.
2. Την εδραίωση μιας ομάδας σημείων που καθορίζουν τα κέντρα των pixels στη διορθωμένη εικόνα, η οποία όταν θεωρηθεί σαν ένα κানাβο, καθορίζει μια εικόνα με τις επιθυμητές χαρτογραφικές ιδιότητες.
3. Την εκτίμηση των τιμών των pixels που συσχετίζονται μ'αυτά τα σημεία.

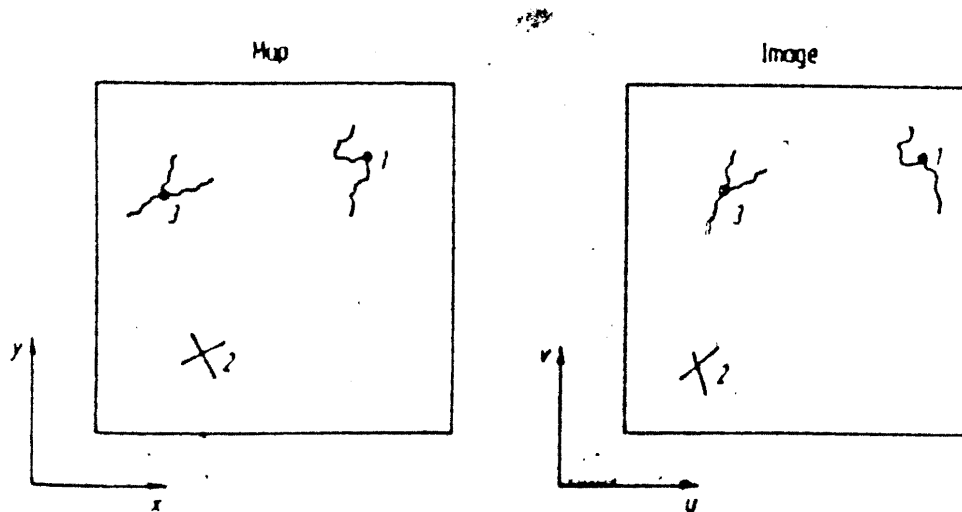
Για να γίνει γεωμετρική διόρθωση θα πρέπει να υπάρχει διαθέσιμος ένας χάρτης της περιοχής ώστε να καταστεί εφικτός ο συσχετισμός των σημείων της εικόνας με τα πραγματικά σημεία που αυτά αντιπροσωπεύουν. Κατόπιν ορίζονται δύο καρτεσιανά συστήματα συντεταγμένων όπως φαίνονται στο σχήμα 2. Το ένα περιγράφει τη θέση των σημείων στο χάρτη (x,y) και το άλλο σύστημα συντεταγμένων τη θέση των pixels στην εικόνα (u,v) . Υποθέτουμε ότι τα δύο συστήματα συντεταγμένων μπορούν να συσχετιστούν διαμέσου ενός ζεύγους συναρτήσεων f και g ώστε:

$$u = f(x,y)$$

$$v = g(x,y)$$

Εάν αυτές οι συντεταγμένες είναι γνωστές, μπορούμε να τοποθετήσουμε ένα σημείο στην εικόνα γνωρίζοντας τη θέση του στο χάρτη. Ισχύει βέβαια και το αντίστροφο. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να φτιάξουμε τη γεωμετρικώς σωστή έκδοση της εικόνας. Οι εικόνες 1 και 2 είναι γεωμετρικώς διορθωμένες.

Η γενική μορφή που έχουν συνήθως οι συναρτήσεις είναι πολυώνυμα πρώτου, δευτέρου και τρίτου βαθμού. Τάξεις υψηλότερες από του τρίτου βαθμού θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή για την αποφυγή μεγαλύτερων σφαλμάτων από αυτά που θα διορθωθούν.



Σχήμα 2 : Συστήματα συντεταγμένων για το χάρτη και την εικόνα με καθορισμένα τα σημεία ελέγχου (ground control points -GCP's, Richards J.A., 1986).

Προσαρμογή στα φωτοσταθερά

Βασίζεται στην ανεύρεση χαρακτηριστικών σημείων του εδάφους με γνωστές γεωγραφικές συντεταγμένες (σημεία ελέγχου - φωτοσταθερά), που διακρίνονται επίσης στο επίπεδο της εικόνας. Έτσι ο αναλυτής περνά από το προβολικό σύστημα της εικόνας σε αυτό της χαρτογραφικής προβολής. Η προσαρμογή στα φωτοσταθερά γίνεται με επαναδειγματοληψία της εικόνας σε ένα επιθυμητό σύστημα συντεταγμένων, το οποίο αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη προβολή στο χάρτη. Ως γεωγραφικό σύστημα αναφοράς χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη το UTM (Universal Transverse Mercator). Η μετατροπή των συντεταγμένων έγινε με πολυώνυμα της μορφής:

$$X' = A_0 + A_1X + A_2Y + A_3XY$$

$$Y' = B_0 + B_1X + B_2Y + B_3XY$$

Όπου X' , Y' είναι οι συντεταγμένες στο σύστημα της εικόνας και X , Y οι συν/νες στο σύστημα του εδάφους. Οι συντελεστές A_i και

Βγ προσδιορίζονται με τη χρήση των φωτοσταθερών, τα οποία επιλέγονται προσεκτικά από το χάρτη. Μπορεί να είναι διασταυρώσεις δρόμων, στροφές σε ποτάμια, προεξέχοντα χαρακτηριστικά ακτών κ.α. Η επαναδειγματοληψία των σημείων της εικόνας γίνεται με παρεμβολή στη θέση (X',Y') της αρχικής εικόνας. Γι'αυτό το σκοπό υπάρχουν τρεις μέθοδοι:

1. Του πλησιέστερου γείτονα (Nearest Neighbour)
2. Η διγραμμική μέθοδος (απαιτούνται 4 pixels) (Bilinear Interpolation)
3. Η διπλοκυβική μέθοδος (απαιτούνται 16 pixels) (Cubic Convolution)

Στην παρούσα μελέτη η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή του πλησιέστερου γείτονα. Σύμφωνα με την επαναδειγματοληψία του πλησιέστερου γείτονα διαλέγεται το πραγματικό pixel το οποίο έχει το κέντρο του πιο κοντά στο σημείο που βρίσκεται στην εικόνα (παίρνεται η τιμή του pixel στην αρχική εικόνα που είναι πλησιέστερη στις υπολογισμένες συντεταγμένες X',Y'). Το pixel έπειτα μεταφέρεται στην αντίστοιχη θέση του νέου κάναβου.

Η μέθοδος αυτή είναι πιο απλή και πιο γρήγορη από τις δύο άλλες και έχει τη μικρότερη ακρίβεια στην εκτίμηση των συντεταγμένων ($\pm 1/2$ pixel). Επίσης η Nearest Neighbour δεν αλλοιώνει την τιμή των pixels και επομένως δεν εμφανίζονται σφάλματα στην ερμηνευτικότητα της εικόνας και στα αποτελέσματα της ταξινόμησης (λόγος επιλογής). Είναι επίσης η προτεινόμενη τεχνική αν η εικόνα πρόκειται να ταξινομηθεί. Ο αριθμός των φωτοσταθερών που προτείνεται για την εφαρμογή της μεθόδου είναι 20-30 σημεία, σαν μια πρόληψη κατά του τυχαίου σφάλματος. Επίσης τα σημεία πρέπει να είναι κατανεμημένα σ'όλη την περιοχή της εικόνας. Για το λόγο ότι το σφάλμα κάθε σημείου της εικόνας εξαρτάται από τη σχετική του θέση στο σύνολο της εικόνας (Richards J.A., 1986).

Τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν σ'αυτή τη μελέτη για τη γεωμετρική διόρθωση, καθώς και η μήτρα των συντελεστών μετασχηματισμού και το συνολικό RMS δίνονται στην ενότητα ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.

Οι γεωμετρικές διορθώσεις της εικόνας θεωρούνται απαραίτητες στις παρακάτω εφαρμογές:

1. Γεωγραφικές και χαρτογραφικές μελέτες καθώς και μελέτες χρήσεων γης.
2. Όταν η εφαρμογή απαιτεί την ταυτόχρονη χρήση εικόνων που προέρχονται από διαφορετικούς δορυφόρους ή από τον ίδιο δορυφόρο αλλά σε διαφορετικές ημερομηνίες.
3. Όταν η εφαρμογή απαιτεί τη δημιουργία φωτομωσαϊκών.

2.1.4 Επιλογή - Δημιουργία Καναλιών για Πολυφασματική Ταξινόμηση

Η επιλογή των καναλιών για πολυφασματική ταξινόμηση επηρεάζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Η απομάκρυνση των καναλιών που προσφέρουν λιγότερη πληροφορία και ερμηνευτικότητα για το συγκεκριμένο αντικείμενο κρίνεται απαραίτητη. Κι αυτό γιατί ο χρόνος επεξεργασίας είναι συνάρτηση του αριθμού των καναλιών και κανάλια που δεν προσφέρουν απαραίτητη πληροφορία συμβάλλουν στην αύξηση της διασποράς των τιμών προσθέτοντας σφάλμα στα αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Τα κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη είναι τα 1,2,3,4 του TM και το VI (vegetation index - δείκτης βλάστησης), εικόνες 3,4,5,6,7.

Η επιλογή των παραπάνω καναλιών βασίστηκε στην ερμηνευτικότητα που προσδίδουν, στον καλύτερο διαχωρισμό των τύπων βλάστησης και στη συσχέτιση μεταξύ των καναλιών.

Κατά την τοποθέτηση των δειγμάτων στην εικόνα επιλέχθηκαν να εμφανίζονται στην οθόνη τα κανάλια VI, 4 (κοντινό υπέρυθρο) και 2 (πράσινο), εικόνα 2. Η επιλογή αυτή έδειξε ότι είχε την καλύτερη διακριτικότητα για την τοποθέτηση των δειγμάτων.

Η προσθήκη του καναλιού - δείκτη βλάστησης έγινε ακριβώς επειδή η εφαρμογή των τηλεπισκοπικών μεθόδων, στη συγκεκριμένη μελέτη, έχει σχέση με τη βλάστηση, εικόνα 3. Το κανάλι αυτό δημιουργήθηκε από τα κανάλια 3 (κόκκινο ορατό) και 4 του TM και οι τιμές y αυτού του καναλιού υπολογίστηκαν με βάση τη σχέση:

$$y = \left[\frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} + 1 \right] * 127$$

(Hatzopoulos et al., 1992)

Εδώ οι σταθερές χρησιμεύουν στην προσαρμογή των τιμών του προκύπτοντος καναλιού στην κλίμακα των 256 διαβαθμίσεων.

Εικόνα 3. Ο Ν. Γρεβενών όπως φαίνεται στο δείκτη βλάστησης.

Εικόνα 4. Ο Ν. Γρεβενών όπως φαίνεται χωρίς εξίσωση ιστογράμματος στα κανάλια NDVI, 2, 1.

Εικόνα 5. Ο Ν. Γρεβενών όπως φαίνεται με εξίσωση ιστογράμματος στα κανάλια NDVI, 2, 1.

Εικόνα 6. Ο Ν. Γρεβενών όπως φαίνεται χωρίς εξίσωση ιστογράμματος στα κανάλια 4, 3, 2.

Εικόνα 7. Ο Ν. Γρεβενών όπως φαίνεται με εξίσωση ιστογράμματος στα κανάλια 4, 3, 2.

2.2. Το Στάδιο της Δειγματοληψείας

Αν και οι ταξινόμηση των στοιχείων μιας πολυφασματικής εικόνας είναι μία πολύ αυτοματοποιημένη διαδικασία, η συγκέντρωση των δειγματικών στοιχείων (training data) που χρειάζονται για την ταξινόμηση είναι κάθε άλλο παρά αυτόματη. Απαιτεί στενή αλληλεπίδραση ανάμεσα στον αναλυτή εικόνας και στα στοιχεία της εικόνας. Επίσης απαιτεί επαρκή στοιχεία αναφοράς (reference data) και καλή γνώση της γεωγραφικής περιοχής στην οποία αναφέρονται τα στοιχεία. Το πιο σημαντικό είναι ότι η ποιότητα της δειγματοληψείας καθορίζει την επιτυχία του σταδίου ταξινόμησης και κατά συνέπεια την αξία των πληροφοριών που εξάγονται από ολόκληρη την προσπάθεια ταξινόμησης.

Ο γενικός σκοπός της δειγματοληψείας είναι να συγκεντρώσει μία ομάδα από στατιστικά στοιχεία τα οποία περιγράφουν τη φασματική υπογραφή για κάθε τύπο κάλυψης εδάφους που πρόκειται να ταξινομηθεί μέσα σε μία εικόνα.

Θα πρέπει να τονιστεί εδώ, ότι θα αναφερθεί πρώτα το στάδιο ελέγχου των δειγμάτων μετά την τοποθέτηση αυτών στην δορυφορική εικόνα και όχι η δειγματοληψεία πεδίου η οποία προηγείται του σταδίου ελέγχου. Και ο λόγος είναι, τι πρέπει να γνωρίζει κάποιος σε επίπεδο δορυφορικής εικόνας για τα δείγματα που θα τοποθετήσει στην εικόνα, πριν γίνει η δειγματοληψεία πεδίου, για την αποφυγή παρερμηνειών και προβλημάτων που θα συναντήσει στην εικόνα.

Για να αποδώσουν αποδεκτά αποτελέσματα ταξινόμησης, τα δείγματα πρέπει να είναι ταυτοχρόνως αντιπροσωπευτικά και ομοιομορφή. Αυτό σημαίνει ότι ο αναλυτής εικόνας πρέπει να αναπτύξει στατιστικά στοιχεία για όλες τις φασματικές τάξεις που δομούν κάθε τάξη πληροφοριών που πρόκειται να διαχωριστεί από τον ταξινομητή. Για παράδειγμα, στο τελικό αποτέλεσμα μιας ταξινόμησης, μπορεί κάποιος να θελήσει να σκιαγραφήσει μία τάξη πληροφοριών που καλείται "νερό". Εάν η εικόνα που υπόκεινται σε ανάλυση, περιέχει μόνο ένα σώμα νερού και αν αυτό έχει ομοιόμορφη φασματική υπογραφή σ' όλη του την έκταση, τότε μόνο ένα δείγμα θα χρειαζόταν για να αναπαρασταθεί η τάξη "νερό". Εάν ωστόσο το ίδιο

σώμα νερού περιείχε διαχωρισμένες περιοχές πολύ καθαρού νερού και πολύ θολού νερού, θα ήταν απαραίτητο τα τουλάχιστο δύο δείγματα για να ανταποκριθούν επαρκώς σ' αυτή τη μορφή. Εάν πολυποίκιλα σώματα νερού εμφανιζόταν μέσα στην εικόνα, δειγματικά στατιστικά στοιχεία θα ήταν απαραίτητα για κάθε μία από τις υπόλοιπες φασματικές τάξεις, που πιθανόν να παρουσιαζόταν στις καλυμμένες με νερό περιοχές. Συνεπώς, η απλή τάξη πληροφοριών "νερό" μπορεί να αναπαρίσταται από έναν αριθμό φασματικών τάξεων. Και αντίστροφα, αυτός ο αριθμός φασματικών τάξεων θα χρησιμοποιούταν τελικά για να ταξινομήσουν όλα τα σώματα νερού που εμφανίζονται μέσα στην εικόνα.

Το σημείο που πρέπει να τονιστεί είναι ότι όλες οι φασματικές τάξεις που δομούν κάθε τάξη πληροφοριών, θα πρέπει να αναπαριστούνται επαρκώς στην δειγματική ομάδα στατιστικών στοιχείων που χρησιμοποιείται για να ταξινομηθεί μία εικόνα.

Τα σχήματα των δειγμάτων δεν είναι σημαντικά, δεδομένου ότι το σχήμα δεν εμποδίζει την ακριβή σκιαγράφιση και τοποθέτηση των σωστών ορίων των περιοχών σε ψηφιακές εικόνες. Συνήθως είναι ευκολότερο να χρησιμοποιούνται πολύγωνα (τετράγωνα ή παραλληλόγραμμα), καθώς τέτοια σχήματα ελαχιστοποιούν τον αριθμό των κορυφών που πρέπει να καθοριστούν, όπου επιβαρύνει τη δουλειά του αναλυτή. Οι συντεταγμένες στήλης και γραμμής των κορυφών αυτών των πολυγώνων χρησιμοποιούνται σαν βάσεις για την εξαγωγή (από το αρχείο εικόνας) των ψηφιακών αριθμών για τα ριχέλ που τοποθετούνται στα πλαίσια των ορίων κάθε δείγματος. Αυτές οι τιμές των ριχέλ στη συνέχεια αποτελούν το δείγμα που χρησιμοποιείται για να αναπτυχθεί η στατιστική περιγραφή για κάθε δείγμα.

Όταν χρησιμοποιείται κάποιος ταξινομητής με στατιστική βάση όπως η μέθοδος μεγίστης πιθανοφάνειας, το θεωρητικά ελάχιστο όριο του αριθμού των ριχέλ που πρέπει να περιέχονται σε μία κατηγορία πληροφοριών ή φασματική υποκατηγορία είναι $N+1$ όπου N είναι ο αριθμός των φασματικών καναλιών (Lillesand and Kiefer, 1987).

Ο βέλτιστος αριθμός των δειγμάτων μιας κατηγορίας εξαρτάται

από τον αριθμό των κατηγοριών που πρόκειται να χαρτογραφηθούν, την ανομοιομορφία τους και από τις πηγές πληροφοριών (πεδίο, χάρτες, αεροφωτογραφίες) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την οριοθέτηση των δειγμάτων. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται, ότι πρακτικά χρησιμοποιούνται τουλάχιστο 5 έως 10 δείγματα για κάθε κλάση, με ελάχιστο αριθμό pixel για κάθε κατηγορία τα 100 pixel, εξασφαλίζοντας έτσι τη σωστή φασματική υπογραφή της (J.P.Campbell, 1987). Οι Lillesand and Kiefer αναφέρουν ότι χρησιμοποιούνται το ελάχιστο από $10*N$ έως $100*N$ pixel καθώς οι εκτιμήσεις των μέσων παραγόντων και των πινάκων των συμμεταβλητών, βελτιώνονται με την αύξηση του αριθμού των pixel στα δείγματα κάθε κλάσης. Επειδή οι κατηγορίες πληροφοριών είναι συνήθως ανομοιόμορφες φασματικά, πιθανόν να είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν αρκετά δείγματα για κάθε κατηγορία, εξ' αιτίας της παρουσίας φασματικών υποκατηγοριών. Η επιλογή πολλών δειγμάτων είναι επίσης επιθυμητή, διότι στη διαδικασία της ταξινόμησης πιθανό να είναι απαραίτητο να αποβληθούν μερικά δείγματα εάν βρεθούν ότι είναι ακατάλληλα. Η εμπειρία έχει δείξει ότι είναι καλύτερος ο καθορισμός πολλών μικρών δειγμάτων παρά η χρήση λίγων μεγάλων. Στην παρούσα μελέτη για την ταξινόμηση των μικρών κατηγοριών (σε έκταση) χρησιμοποιήθηκαν ακόμη και 2 δείγματα.

Η τοποθέτηση των δειγμάτων στην εικόνα είναι αρκετά σημαντικός παράγοντας. Πρέπει να τοποθετούνται στην εικόνα με προσοχή λαμβάνοντας υπόψη χαρακτηριστικά γνώρισμα, όπως περιοχές με νερό ή όρια ανάμεσα σε διαφορετικές κατηγορίες.

Η τοποθεσία είναι σημαντικός παράγοντας. Όταν σκιαγραφούμε τα δείγματα στην εικόνα, είναι σημαντικό να αναλύουμε ορισμένες δειγματικές τοποθεσίες (training sites) σ' όλη την έκταση της δορυφορικής εικόνας. Για παράδειγμα θα ήταν καλύτερο να καθορίσουμε το δείγμα για μια δεδομένη τάξη, αναλύοντας 20 τοποθεσίες οι οποίες να περιέχουν 40 pixel ενός δεδομένου τύπου, παρά μια τοποθεσία που να περιέχει 800 pixel. Η διασπορά των τοποθεσιών σ' όλη την έκταση της εικόνας αυξάνει την πιθανότητα να είναι τα δείγματα αντιπροσωπευτικά όλων των τάξεων τύπων κάλυψης εδάφους που παρουσιάζονται στην εικόνα. Τα δείγματα δεν θα πρέπει

να ομαδοποιούνται σε προτιμώμενες περιοχές της εικόνας, πράγμα που πιθανόν να μην αποτελεί γνώρισμα καταστάσεων που συναντώνται σ'όλη την έκταση της εικόνας.

Το ευαίσθητο σημείο που πρέπει να προσεχθεί κατά τη διαμόρφωση των δειγμάτων μιας κατηγορίας, είναι ότι πρέπει να υπάρξει επαρκές μέγεθος δείγματος για να εξασφαλιστεί ο ακριβής καθορισμός των στατιστικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται από τον ταξινομητή και για να αναπαρασταθεί η συνολική φασματική ποικιλομορφία σε μια εικόνα, χωρίς να προκληθούν μειωμένες αποδοχές. Δηλαδή, κάποιος δεν θέλει να παραλείψει καμία σημαντική φασματική τάξη που παρουσιάζεται στην εικόνα, όπως επίσης δεν θέλει να περιλάβει περιττές φασματικές τάξεις στην διαδικασία ταξινόμησης, από υπολογιστική άποψη. Θα πρέπει το κάθε δείγμα να έχει τόσο μέγεθος ώστε να παρέχει ακριβείς εκτιμήσεις των ιδιοτήτων της κάθε τάξης πληροφοριών (κατηγορίας). Ανεξάρτητα δείγματα, ωστόσο, δεν θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλα, καθώς μεγάλες περιοχές συμπεριλαμβάνουν ανεπιθύμητη ανομοιομορφία. Το θεωρητικά ελάχιστο όριο του αριθμού των pixels που πρέπει να περιέχονται σ'ένα δείγμα μιας κατηγορίας (μέγεθος δείγματος) στη βιβλιογραφία κυμαίνεται από 30 έως 150 pixels. Στην πράξη, οι Swain και Davis (1978) πρότειναν $10*N$, όπου N ο αριθμός των καναλιών που χρησιμοποιούνται για κάθε κατηγορία, με $100*N$ ως το μέγιστο επιθυμητό. Επομένως στην παρούσα μελέτη με 5 κανάλια, 50 pixels ως ελάχιστο αριθμό προτείνουν οι Swain και Davis. Ο P.Mather (1990) καθόρισε ως ελάχιστο αριθμό τα 30 pixels. Ο J.P.Campbell (1987) προτείνει ως ελάχιστο αριθμό τα 40 pixels και ως μέγιστο μέγεθος του δείγματος τα 700 pixels. Γενικά το καλύτερο μέγεθος δείγματος ποικίλει ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του φυσικού τοπίου και της κάθε τάξης, έτσι ώστε κάθε αναλυτής θα πρέπει να αναπτύξει το δικό του σχεδιάγραμμα καθώς θα αποκτά την εμπειρία μέσα από συγκεκριμένες καταστάσεις.

Σαν μέρος της διαδικασίας ελέγχου των δειγμάτων (η γενική ποιότητα των δεδομένων που περιέχονται σε κάθε ένα από τα δείγματα) είναι και η εκτίμηση της φασματικής διαχωριστικότητας ανάμεσα στις ομάδες στοιχείων που μελετούνται. Ο αναλυτής προσεκτικά ελέγχει για να διαπιστώσει εάν όλες οι ομάδες

στοιχείων είναι ουσιαστικά κανονικά κατανομημένες και φασματικά ομοιογενής.

Η ομοιογένεια ή ομοιομορφία των στοιχείων ενός δείγματος είναι ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας για ένα καλό δείγμα. Στοιχεία ενός ομοιογενούς δείγματος παρουσιάζουν κατανομή συχνοτήτων για κάθε φασματικό κανάλι που χαρακτηρίζεται από μία κορυφή (καμπάνα). Ενώ όταν η κατανομή ενός δείγματος χαρακτηρίζεται από δύο κορυφές, τότε δεν είναι ομοιογενές και ή θα πρέπει να χωριστεί σε υποκλάσεις ή να αποριφτεί εάν τα όρια του δε γίνεται να προσαρμοστούν ώστε να αποδίδει μεγαλύτερη ομοιομορφία. Τα στοιχεία των δειγμάτων παρέχουν τιμές που εκτιμούν το μέσο όρο, την ελάχιστη και μέγιστη τιμή των ραδιομετρικών τιμών, την τυπική απόκλιση, τη διασπορά, την συνδιασπορά και τις συσχετίσεις καναλιών για συγκεκριμένες κλάσεις, στατιστικά στοιχεία που παράγουν τις φασματικές υπογραφές. Στην παρούσα μελέτη για την ομοιογένεια των δειγμάτων στηριχτήκαμε στο μέσο όρο, στο εύρος των ραδιομετρικών τιμών (μέγιστο, ελάχιστο) και στην τυπική απόκλιση σε κάθε κανάλι. Για το εύρος των ραδιομετρικών τιμών επιδιώκαμε να ήταν όσο το δυνατό μικρότερο για τη μη αλληλεπικάλυψη μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών. Για την τυπική απόκλιση επιδιώκαμε η τιμή της να κυμαίνεται κοντά στο 1, για το λόγο ότι η κατανομή συχνοτήτων τείνει στην κανονική κατανομή. Οι τυπικές αποκλίσεις στο κανάλι-δείκτη βλάστησης ήταν γενικά πιο μεγάλες, αλλά πάντα σε κανάλια που παράγονται από λόγους άλλων καναλιών οι τυπικές αποκλίσεις είναι μεγάλες.

Τα περισσότερα δείγματα (μεταφερόμενα από το πεδίο) συμπεριλαμβάνουν παραπάνω από μία φασματική τάξη γι' αυτό και επανασυντάσσονται. Παρόμοια, άσχετα ρίxel είναι δυνατό να διαγραφούν από ορισμένα δείγματα. Αυτά μπορεί να είναι οριακά ρίxel κατά μήκος των συνόρων δύο τάξεων ή ρίxel εντός του δείγματος τα οποία όμως ανήκουν σε άλλη τάξη. Τα δείγματα που πιθανόν χωριστούν, συγχωνευτούν ή διαγραφούν, εμφανίζεται η ανάγκη να αποκτηθούν επιπρόσθετα δείγματα για ελλειπώς αναπαριστούμενες φασματικές τάξεις. Στην παρούσα εργασία με την επανασύνταξη των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση

δείγματα που να περιέχουν το λιγότερο μέχρι και 8 rixel. Από τις κατηγορίες του ελάτου, της οξυάς, της μακίας βλάστησης, των καλλιεργειών, της μ.πεύκης και των δρυών διαγράφηκαν δείγματα. Για το έλατο και την οξυά, τα δείγματα που διαγράφηκαν οφειλόταν στο ότι είχαν παρόμοια φασματική υπογραφή με αυτή της μ.πεύκης για το έλατο και παρόμοια με αυτή των δρυών και της μ.πεύκης για την οξυά. Για τη μακία βλάστηση, το δείγμα που διαγράφηκε οφειλόταν στη μη καλή ομοιογένεια που παρουσίαζε. Για την κατηγορία των καλλιεργειών, τα δείγματα που διαγράφηκαν ανήκαν στις δενδρώδεις καλλιέργειες (περιείχαν πάνω από ένα είδος π.χ. κερασιές, αμυγδαλιές κτλ.) παρουσιάζοντας ανομοιογένεια. Για τη μ.πεύκη, τα δείγματα που διαγράφηκαν ανήκαν σε αραιό δάσος παρουσιάζοντας ανομοιογένεια, ενώ άλλα είχαν παρόμοια φασματική υπογραφή με αυτή των δρυών και της οξυάς. Για τις δρυς, τα δείγματα που διαγράφηκαν ανήκαν σε αραιό δάσος παρουσιάζοντας ανομοιογένεια και σε άλλα που η φασματική υπογραφή ήταν παρόμοια με αυτή της μ.πεύκης.

Αυτό σημαίνει ότι, τα στατιστικά στοιχεία της αρχικής ομάδας των δειγμάτων, ανακεφαλαιώνονται μέσω συγχώνευσης, διαγραφής και πρόσθεσης δειγμάτων για να μορφοποιήσουν την τελική ομάδα στατιστικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση. Αυτά τα στοιχεία αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες κατά τις οποίες ένα στοιχείο εικόνας ανήκει ή όχι σε συγκεκριμένη κλάση κατά την ταξινόμηση.

Προβληματικές τάξεις οι οποίες μόνο σπάνια εμφανίζονται στην εικόνα, είναι δυνατό να διαγραφούν από τα στοιχεία των δειγμάτων, έτσι ώστε να μην μπερδεύονται με τάξεις που εκτεταμένα εμφανίζονται. Αυτό σημαίνει ότι, ο αναλυτής πιθανόν να δεχτεί την λανθασμένη ταξινόμηση μιας τάξης που μόνο σπάνια εμφανίζεται στην εικόνα, προκειμένου να διατηρήσει την ακρίβεια της ταξινόμησης μιας φασματικά ομοιογενούς τάξης, που εμφανίζεται σε εκτεταμένες περιοχές. Στην παρούσα εργασία η παραποτάμια βλάστηση απορρίφθηκε σαν κατηγορία για τον παραπάνω λόγο. Και αυτό διότι στην ταξινόμηση ταξινομούσαν σ'αυτή την κατηγορία rixel που ανήκουν στην κατηγορία των δρυών. Αφού μελετήσει τα πραγματικά αποτελέσματα ταξινόμησης ο αναλυτής εικόνας, μπορεί να αντιμετωπίσει και το

πρόβλημα της ομαδοποίησης ορισμένων από τις λεπτομερές τάξεις σε άλλες πιο γενικές.

Μια τελευταία παρατήρηση που πρέπει να γίνει εδώ, είναι ότι ο έλεγχος των δειγμάτων είναι συνήθως το κλειδί για τη βελτίωση της ακρίβειας μιας ταξινόμησης. Ωστόσο, εάν συγκεκριμένοι τύποι κάλυψης που εμφανίζονται σε μια εικόνα έχουν από τη φύση τους παρόμοιες φασματικές υπογραφές, κανένας αριθμός επαναδειγματοληψιών (στην εικόνα) και ελέγχου δεν θα τα καταστήσει φασματικά διαχωρίσιμους. Εναλλακτικές μέθοδοι, που ίσως περιλαμβάνουν οπτική ερμηνεία ή επιτόπια έρευνα, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να διαχωριστούν αυτοί οι τύποι κάλυψης.

Τώρα, με βάση τα παραπάνω στοιχεία για τα δείγματα μέγεθος, σχήμα, αριθμός δειγμάτων για κάθε κατηγορία, τοποθεσία και ομοιογένεια πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία στο πεδίο. Η δειγματοληψία στηρίχτηκε σε στοιχεία πεδίου για ευνόητους λόγους και όχι σε στοιχεία αεροφωτογραφιών και χαρτών.

Στην παρούσα μελέτη το πρότυπο δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε ήταν το στρωσιγενή τυχαίο δειγματοληπτικό πρότυπο με επιπρόσθετο στοιχείο (στην εικόνα) των δειγματοληπτικών προτύπων ομαδοποίησης. Το στρωσιγενή δειγματοληπτικό πρότυπο καθορίζει παρατηρήσεις σε υποπεριοχές ολόκληρης της περιοχής μελέτης για να διασφαλίσει ότι το έργο της δειγματοληψίας κατανέμεται με ένα λογικό τρόπο. Οι θέσεις των δειγματοληψιών μέσα στις υποπεριοχές είναι κατανεμημένες κατά τυχαίο τρόπο, διαδικασία που οδηγεί στο στρωσιγενή τυχαίο δειγματοληπτικό πρότυπο. Έτσι η διάταξη κατά στρώματα τοποθετεί τις παρατηρήσεις σε υποπεριοχές, σε αναλογία με το μέγεθος και την σημαντικότητα των κλάσεων. Η τυχειότητα διασφαλίζει ότι οι παρατηρήσεις τοποθετούνται μέσα στις υποπεριοχές συμπτωματικά και επομένως εξασφαλίζουν την αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος για κάθε κατηγορία. Το επιπρόσθετο στοιχείο των δειγματοληπτικών προτύπων ομαδοποίησης στην δορυφορική εικόνα επιτρέπει τη δυνατότητα προσεταιρισμού γειτονικών ρίχελ των δειγμάτων, όπου είναι εφικτό. Υποπεριοχές στο Ν. Γρεβενών ήταν η περιοχή της Δεσκάτης, της Δημητρας-Καρπερού, του Παλαιοχωρίου-Πόρου, της

Κιβωτού-Αγ.Γεωργίου, της Καληράχης-Δοτσικού-Σμίξης, του Ζιάκα-Αβδέλλας-Περιβολίου και της Κρανιάς-Κηπουργιού.

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με GPS (Global Positioning System) προσδιορίζοντας το σημείο που βρισκόμασταν, δίνοντας συντεταγμένες γης. Η ακρίβεια του οργάνου ήταν περίπου 30 μέτρα και μόνο σε μερικές περιπτώσεις με μεγάλη κλίση (πλαγιές βουνών και χαράδρες) ήταν πάνω από 100 μέτρα.

Πριν τη δειγματοληψία συγκεντρώθηκε η απαραίτητη υποδομή, συμπεριλαμβάνοντας ένα χάρτη βλάστησης της Διεύθυνσης Δασών, ένα χάρτη εδαφολογικό του νομού, τους χάρτες της ΓΥΣ, τη δορυφορική εικόνα προεπεξεργασμένη, την εικόνα ταξινομημένη με μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση τυπωμένες και οι δύο σε χαρτί και μία πυξίδα.

Η δειγματοληψία πεδίου σχεδιάστηκε προσεκτικά ώστε να εξερευνηθούν και να παρθούν δείγματα από όλες τις περιοχές του νομού. Στους χάρτες και στις εικόνες σχολιαζόταν η κάθε παρατήρηση στο πεδίο. Σημειώσεις κρατούνταν από κάθε περιοχή ανεξάρτητα αν παίρνοταν δείγμα ή όχι με τα μορφολογικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Για τη δημιουργία μόνιμου αρχείου για τις καταστάσεις που εξερευνήθηκαν τραβήχτηκαν slides από όσο το δυνατό περισσότερες κλάσεις.

Τώρα πως παίρνοταν ένα δείγμα. Αφού εντοπιζαμε μία κλάση ενός είδους με σχετικά μεγάλη έκταση περίπου 90 έως 160 στρέμματα (τετράγωνο με πλευρές 300 x 300 m ή 400 x 400 m), αντιπροσωπευτική και ομοιόμορφη της περιοχής, πηγαίναμε στο κέντρο της και παίρναμε τις συντεταγμένες γης σε εκείνο το σημείο. Σημειώναμε τις συντεταγμένες, το μέγεθος, το σχήμα και όλα τα χαρακτηριστικά του δείγματος και της γύρω περιοχής. Πηγαίναμε στο κέντρο του δείγματος για να καλύψουμε και την απόκλιση του GPS που ήταν 30 m αποφεύγοντας έτσι να πάρουμε στο δείγμα και άλλη κλάση. Στην περίπτωση που δεν μπορούσαμε να πάμε στο κέντρο του δείγματος, με μία πυξίδα προσανατολιζόμασταν πως θα ήταν το δείγμα αν βρισκόμασταν στο κέντρο του. Την ίδια κλάση του είδους την παίρναμε (αν ήταν δυνατό) σε 4-5 διαφορετικές

περιοχές σε όλο το νομό, καλύπτοντας έτσι και την περίπτωση των διαφορετικών τύπων εδάφους. Από κάθε είδος προσπαθήσαμε να πάρουμε δείγματα από όλες τις κλάσεις που παρατηρούσαμε στο πεδίο. Οι κλάσεις της κάθε κατηγορίας που παρατηρήθηκαν και πάρθηκαν δείγματα από αυτές στο Ν. Γρεβενών αναφέρονται στην εισαγωγή της εργασίας, στο κεφάλαιο σχεδιασμός και στόχοι, στον καθορισμό των κατηγοριών.

Τα σχήματα των δειγμάτων ήταν συνήθως πολύγωνα (τετράγωνα και παραλληλόγραμμα) και λιγότερο κύκλοι. Η ελάχιστη έκταση που πάρθηκε για δείγμα ήταν 10 στρ. (100 x 100 m). Ο ελάχιστος αριθμός δειγμάτων που αντιπροσωπεύει μία κατηγορία ήταν τα 3 δείγματα, για τις μικρές σε έκταση κατηγορίες. Για τον προσδιορισμό της απόκλισης του οργάνου (GPS) πάρθηκαν 5 σταθερά σημεία αναγνωρίσιμα και στην εικόνα (συμβολή 2 δρόμων, κορυφή ενός λόφου-βουνού, στροφή δρόμων, συμβολή ποταμού-δρόμου).

Με την ολοκλήρωση της δειγματοληψείας στο πεδίο τα δείγματα τοποθετήθηκαν στην εικόνα. Η μεταφορά-τοποθέτηση των συντεταγμένων των δειγμάτων του πεδίου στην εικόνα παίζει σημαντικό ρόλο. Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε η μεθοδολογία μετατροπής των συντεταγμένων σημείων ή πολυγώνων (δείγματα) μέσω του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ARC/INFO). Από τις συντεταγμένες γης που δίνει το GPS έγινε μετασχηματισμός συστήματος συντεταγμένων στο σύστημα της ΓΥΣ και αλλαγή προβολικού συστήματος - Geographic σε UTM. Από το GPS με τη μορφή του διανύσματος το δείγμα μετατράπηκε σε μορφή raster και εμφανίστηκε στην εικόνα υπό μορφή πολυγώνου (μετατροπή vector-raster).

2.3 Πολυφασματική Ταξινόμηση

Ταξινόμηση είναι το σύνολο των εργασιών όπου επιτυγχάνεται, μέσω τιτλοδότησης των pixel σύμφωνα με τα φασματικά χαρακτηριστικά τους, ο διαχωρισμός των αντικειμένων μιας εικόνας σε τάξεις και η παρουσίαση αυτών με τη μορφή του θεματικού χάρτη. Η ταξινόμηση των pixel σε τάξεις γίνεται σύμφωνα με τις ραδιομετρικές τιμές τους σε κάθε κανάλι συγκρινόμενη με τα

φασματικά χαρακτηριστικά της "επιθυμητής" τάξης. Η ταξινόμηση κατά συνέπεια προϋποθέτει τη γνώση της φασματικής υπογραφής (spectral signature) κάθε τάξης - κατηγορίας που θέλουμε να ταξινομήσουμε.

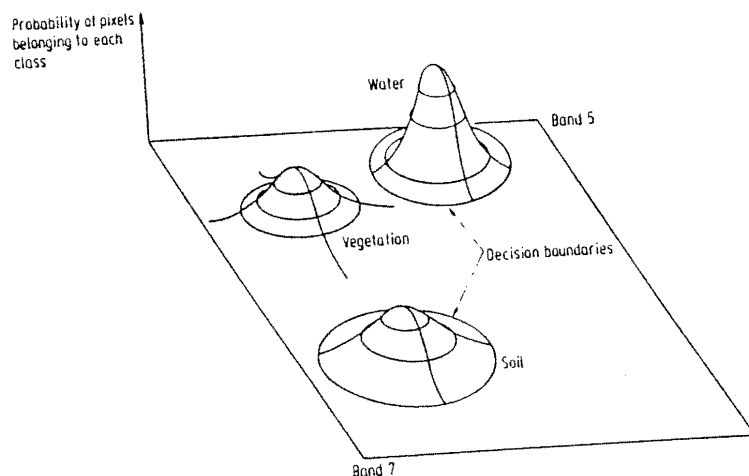
Οι μέθοδοι ταξινόμησης των εικόνων διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όταν γνωρίζουμε τις κατηγορίες που θέλουμε να ταξινομήσουμε και αναγνωρίζουμε συγκεκριμένες περιοχές της εικόνας που υπάρχουν οι κατηγορίες αυτές. Ακόμη η περιοχή μελέτης είναι προσιτή ώστε να γίνει δειγματοληψία πεδίου ή να παρθούν δείγματα από χάρτη ή αεροφωτογραφίες για την απόκτηση των φασματικών υπογραφών των κατηγοριών. Και στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όταν δεν γνωρίζουμε τις κατηγορίες και δεν δίνονται εκπαιδευτικά πεδία αλλά το πρόγραμμα αναλύοντας μόνο του τις συσσωρεύσεις καθορίζει τις κατηγορίες και παίρνει τα χαρακτηριστικά τους. Υπάρχει επίσης άλλη μία μέθοδος, η οποία είναι συνδυασμός των δύο παραπάνω και αναφέρεται σαν μικτή μέθοδος.

2.3.1 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Βασική υπόθεση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης που συνήθως υιοθετείται στην τηλεπισκόπηση, είναι ότι κάθε φασματική τάξη μπορεί να περιγραφεί από μια κατανομή πιθανοτήτων μέσα στον πολυφασματικό χώρο: αυτή θα είναι μια πολλών μεταβλητών κατανομή με τόσες μεταβλητές όσες και οι διαστάσεις του χώρου. Μια τέτοια κατανομή περιγράφει την πιθανότητα της εμφάνισης ενός ρίχελ να ανήκει σ'αυτή την τάξη σε οποιαδήποτε δεδομένη θέση μέσα στον πολυφασματικό χώρο.

Αυτό δεν είναι παράλογο εφόσον θα ήταν αναμενόμενο τα περισσότερα ρίχελ μιας φασματικής τάξης να εμφανίζονταν προς το κέντρο, ενώ η πυκνότητά τους να μειωνόταν για θέσεις μακριά από το κέντρο της τάξης και έτσι να μοιάζει η κατανομή τους με μια κατανομή πιθανοτήτων. Η κατανομή που βρέθηκε πιο αρμόζουσα σ'αυτή την περίπτωση είναι η κανονική ή Gauss κατανομή. Ένας δυδιάστατος πολυφασματικός χώρος με τις φασματικές τάξεις φτιαγμένες με αυτό

το μοντέλο απεικονίζεται στο σχήμα 3. Τα αποφασιστικά όρια (decision boundaries) που εμφανίζονται στο σχήμα 3 αναπαριστούν αυτά τα σημεία στον πολυφασματικό χώρο όπου ένα ρίxel έχει την ίδια πιθανότητα ν'ανήκει σε δύο τάξεις. Έτσι αυτά τα όρια διαιρούν το χώρο σε περιοχές που σχετίζονται με την κάθε τάξη.



Σχήμα 3. Ο δυδιάστατος πολυφασματικός χώρος με τις φασματικές τάξεις ν'αναπαριστούνται με Gauss στατιστικές κατανομές.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση στηρίζεται στην χρησιμοποίηση κατάλληλων αλγορίθμων για να χαρακτηρίσει τα ρίxel σε μια εικόνα, αναπαριστώντας συγκεκριμένους τύπους εδαφικής κάλυψης ή τάξεις. Μια ποικιλία αλγορίθμων είναι διαθέσιμοι γι'αυτό, εκτεινόμενοι από αυτούς που βασίζονται σε μοντέλα κατανομής πιθανότητας, για τις κλάσεις που ενδιαφέρουν, έως εκείνους μέσα από τους οποίους ο πολυφασματικός χώρος διαιρείται σε περιοχές ειδικών κλάσεων.

Ανεξάρτητα από τον αλγόριθμο που επιλέγεται, τα απαραίτητα βήματα της μεθόδου είναι:

1. Καθορισμός των τύπων εδαφικής κάλυψης (τάξεις) στους οποίους πρέπει να διαιρεθεί η εικόνα.
2. Επιλογή των αντιπροσωπευτικών ρίxel από κάθε ένα από τα επιθυμούμενα σύνολα των τάξεων. Αυτά τα ρίxel επιλέγονται για να συγκροτήσουν δεδομένα κατεύθυνσης (training data). Σύνολα δεδομένων κατεύθυνσης για κάθε τάξη μπορούν να αποκτηθούν είτε με επίσκεψη στο πεδίο, είτε από χάρτες, είτε από αεροφωτογραφίες. Τα training ρίxel για μια δοσμένη τάξη, στη συνέχεια, θα τοποθετηθούν στην εικόνα υπό μορφή πολυγώνων.

3. Χρησιμοποίηση των δεδομένων κατεύθυνσης για να εκτιμηθούν οι παράμετροι του αλγόριθμου ταξινόμησης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Αυτές οι παράμετροι θα είναι οι ιδιότητες του μοντέλου πιθανότητας που θα χρησιμοποιηθεί ή θα είναι εξισώσεις οι οποίες θα ορίζουν τμήματα στον πολυφασματικό χώρο. Το σύνολο των παραμέτρων για μια δεδομένη κατηγορία καλείται υπογραφή της κατηγορίας.
4. Χρησιμοποιώντας, στη συνέχεια, κάποιον από τους γνωστούς αλγόριθμους ταξινόμησης, ταξινομείται ή χαρακτηρίζεται το κάθε *pixel* στην εικόνα σε μία από τις επιθυμούμενες κατηγορίες.
5. Παραγωγή πινάκων ή χαρτών που συνοψίζουν τα αποτελέσματα της

Όταν υπάρχει δυνατότητα να αποκτηθούν τα φασματικά χαρακτηριστικά των τάξεων μέσω εκπαιδευτικών πεδίων (*training area*), τότε η μέθοδος αυτή είναι η πιο κατάλληλη για την ποσοτική ανάλυση των δεδομένων της δορυφορικής εικόνας.

2.3.2 Αλγόριθμοι Ταξινόμησης

Τμήμα της κάθε μεθόδου ταξινόμησης αποτελεί η επιλογή του κατάλληλου αλγόριθμου. Συνοπτικά μπορεί να περιγραφεί ως οι μαθηματικές εκείνες σχέσεις που εφαρμόζονται για να δώσουν το βαθμό με τον οποίο ένα *pixel* ανήκει σε μια φασματική τάξη. Η τάξη στην οποία θα ενσωματωθεί τελικά το *pixel* είναι αυτή που παρουσιάζει τον υψηλότερο βαθμό. Ο βαθμός εκφράζεται είτε με τιμές απόστασης είτε με τιμές πιθανότητας.

Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης χωρίζονται σε στατιστικούς και μη στατιστικούς. Μη στατιστικοί είναι:

1. Αλγόριθμος του παραλληλεπίεδου
2. Αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης

Στατιστικοί αλγόριθμοι είναι:

1. Αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας
2. Αλγόριθμος του *Mahalanobis*

Στη συγκεκριμένη μελέτη έγινε επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (*Maximum Likelihood*).

Πριν γίνει η κάθε ταξινόμηση υπολογιζόταν ένας πίνακας

συνάφειας για το συσχετισμό των ταξινομημένων στοιχείων των πολυγώνων με τις αντίστοιχες υπογραφές τους. Αυτό βοήθησε στον έλεγχο της καθαρότητας των υπογραφών.

2.3.3 Μέθοδος της Μεγίστης Πιθανοφάνειας

Εστω ότι οι φασματικές κλάσεις για μια εικόνα αναπαριστώνται με

$$\omega_i, i=1, \dots, M$$

όπου M είναι ο συνολικός αριθμός των κλάσεων. Στην προσπάθεια προσδιορισμού της κλάσης ή της κατηγορίας στην οποία τοποθετείται ένα *rixel* στη θέση x , οι δεσμευμένες πιθανότητες :

$$p(\omega_i|x) \quad i=1, \dots, M$$

είναι εκείνες που μας ενδιαφέρουν. Η θέση του διανύσματος x είναι ένα διάνυσμα στήλη από ραδιομετρικές τιμές του *rixel*. Αυτό περιγράφει το *rixel* σαν σημείο στον πολυδιάστατο χώρο με συν/νες καθοριζόμενες από τις ραδιομετρικές τιμές.

Η δεσμευμένη πιθανότητα $p(\omega_i|x)$ δίνει την πιθανότητα να είναι ω_i η σωστή κλάση για το *rixel* στην θέση x . Η ταξινόμηση γίνεται με τη σχέση:

$$x \leftarrow \omega_i \text{ αν } p(\omega_i|x) > p(\omega_j|x) \text{ για όλα τα } j \neq i \quad (1)$$

π.χ το *rixel* στη θέση x ανήκει στην κλάση ω_i αν η $p(\omega_i|x)$ είναι η μεγαλύτερη. Η γενικότερη προσέγγιση καλείται Baye's ταξινόμηση.

Ανεξάρτητα από την απλότητά της, η $p(\omega_i|x)$, στην παραπάνω περίπτωση είναι άγνωστη. Υποθέτει ωστόσο ότι αρκετά δείγματα είναι διαθέσιμα για κάθε τύπο εδαφικής κάλυψης. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της κατανομής της πιθανότητας, για ένα τύπο κάλυψης γης, η οποία περιγράφει την πιθανότητα να βρεθεί ένα *rixel* της κλάσης ω_i στη θέση x . Γενικά μπορούμε να συμβολίσουμε την πιθανότητα αυτή ως $p(x|\omega_i)$. Θα υπάρχουν τόσες πολλές $p(x|\omega_i)$, όσες είναι και οι κλάσεις κάλυψης γης.

Το επιθυμητό $p(\omega_i|x)$ και το διαθέσιμο $p(x|\omega_i)$, το οποίο

εκτιμάται από τα δείγματα τα οποία πάρθηκαν στο πεδίο, σχετίζονται με το θεώρημα του Baye's :

$$p(\omega_i|x) = [p(x|\omega_i) * p(\omega_i)]/p(x) \quad (2)$$

όπου $p(\omega_i)$ η πιθανότητα η κλάση ω_i να εμφανίζεται στην εικόνα. Για παράδειγμα το 15% από τα pixels της εικόνας συμβαίνει να ανήκουν στην κλάση ω_i τότε $p(\omega_i) = 0.15$. Τέλος $p(x)$ είναι η πιθανότητα να βρούμε ένα pixel από κάποια κλάση στη θέση x . Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε ότι:

$$p(x) = \sum_{i=1}^M p(x|\omega_i)p(\omega_i)$$

Η $p(\omega_i)$ καλούνται εκ των προτέρων (a priori) πιθανότητες εφόσον αυτές είναι οι πιθανότητες με τις οποίες κλάσεις μέλη ενός pixel μπορούν να υποτεθούν πριν την ταξινόμηση. Σε σύγκριση οι $p(\omega_i|x)$ καλούνται εκ των υστέρων (a posterior) πιθανότητες.

Χρησιμοποιώντας την (2) ο κανόνας ταξινόμησης (1) είναι :

$$\chi_{\omega_i} \text{ αν } p(x|\omega_i)*p(\omega_i) > p(x|\omega_j)*p(\omega_j) \text{ για όλα τα } j \neq i \quad (3)$$

όπου το $p(x)$ έχει διαγραφεί ως κοινός παράγοντας. Ο κανόνας (3) είναι πιο αποδεκτός από τον κανόνα (1) αφού η $p(x|\omega_i)$ είναι γνωστή από τα δείγματα πεδίου και η $p(\omega_i)$ είναι επίσης γνωστή ή μπορεί να εκτιμηθεί.

Μαθηματικά έχουμε καλύτερα αποτελέσματα αν ο ορισμός

$$g_i(x) = \ln\{p(x|\omega_i)*p(\omega_i)\} = \ln p(x|\omega_i) + \ln p(\omega_i)$$

χρησιμοποιηθεί, οπότε η σχέση (3) γίνεται :

$$\chi_{\omega_i} \text{ αν } g_i(x) > g_j(x) \text{ για όλα τα } j \neq i$$

Αυτός είναι και ο κανόνας που χρησιμοποιείται στην ταξινόμηση με τη μέθοδο της μεγίστης πιθανοφάνειας. Οι $g_i(x)$ αναφέρονται και σαν

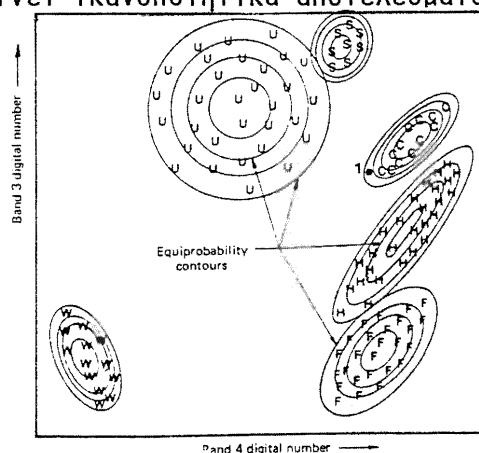
διακριτές συναρτήσεις.

Η μέθοδος της μεγίστης πιθανοφάνειας υπολογίζει τη διασπορά και την συνδιασπορά μιας κατηγορίας (με βάση το δείγμα) πριν ταξινομήσει ένα άγνωστο pixel. Για την επίτευξη του παραπάνω, γίνεται η υπόθεση ότι η κατανομή των τιμών του δείγματος κάθε κατηγορίας είναι κανονική κατανομή. Κάτω από αυτή την υπόθεση κάθε κατηγορία αντιπροσωπεύεται από το μέσο διάνυσμα και τον πίνακα των συσμεταβλητών. Δεδομένων των παραπάνω παραμέτρων μπορεί να υπολογιστεί η στατιστική πιθανότητα για ένα συγκεκριμένο στοιχείο της εικόνας να ανήκει σε μια κλάση κάλυψης γης.

Η μέθοδος της μεγίστης πιθανοφάνειας δημιουργεί ελλειψοειδής ισοπίθανες καμπύλες σε ένα διάγραμμα διασποράς. Οι περιοχές αυτές οι οποίες λέγονται και περιοχές απόφασης δείχνονται με το σχήμα 4. Το σχήμα των ισοπίθανων καμπυλών εκφράζει την ευαισθησία του ταξινομητή στη συσμεταβλητότητα.

Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ο μεγάλος χρόνος επεξεργασίας, ο οποίος αυξάνει με τον αριθμό των καναλιών που χρησιμοποιούμε και τον αριθμό των κλάσεων στις οποίες θέλουμε να ταξινομήσουμε την εικόνα.

Η μέθοδος της μεγίστης πιθανοφάνειας είναι η πιο κοινή μέθοδος επιβλεπόμενης ταξινόμησης και η βιβλιογραφία αναφέρει ότι δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.



Σχήμα 4. Ισοπίθανες καμπύλες όπως καθορίζονται από τον ταξινομητή μεγίστης πιθανοφάνειας.

2.4 Εκτίμηση της Ακρίβειας των Αποτελεσμάτων

Η εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων αποτελεί το προτελευταίο στάδιο της διαδικασίας της ταξινόμησης. Με βάση το επίπεδο ακρίβειας συσχετιζόμενο με τις προϋποθέσεις της μελέτης θα γίνουν δεκτά τα αποτελέσματα.

Μέχρι σήμερα οι μέθοδοι εκτίμησης της ακρίβειας δεν έχουν τελειοποιηθεί και από μόνες τους εισάγουν λάθη στην εκτίμησή μας. Διεθνή στάνταρς με μετρήσεις ακρίβειας δεν έχουν θεσπιστεί, όμως υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές οι οποίες ποικίλουν.

Υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες εκτίμησης της ακρίβειας: η site-specific και η non-site-specific. Η πρώτη εκτιμά την ακρίβεια με δεδομένα πεδίου, ενώ η δεύτερη στηρίζεται στα βιβλιογραφικά δεδομένα (προηγούμενες μελέτες, στατιστικά κ.α.).

Non-Site-Specific

Επειδή στη δορυφορική εικόνα δεν περιέχεται όλη η έκταση του νομού (λείπουν 274.208 στρ. δηλαδή το 12,0%) δεν έγινε προσέγγιση επιπέδου με βάση τα βιβλιογραφικά στοιχεία.

Site-Specific

Στην κατηγορία αυτή υπάρχουν αρκετές τεχνικές με την οποία εκτιμά κανείς την ακρίβεια.

Πρώτη είναι η δημιουργία ενός πίνακα συνάφειας για τα δείγματα ταξινόμησης. Από τον πίνακα γίνεται αντιληπτό ποιές κατηγορίες μπερδεύονται μεταξύ τους και τι ποσοστό "καθαρότητας" έχει η κάθε κατηγορία (ο πίνακας συνάφειας δίνεται στα αποτελέσματα).

Δεύτερη τεχνική είναι η δημιουργία διαγραμμάτων ελλείψεων (ellipse plots). Από τα διαγράμματα βλέπουμε άμεσα τις αλληλεπικαλύψεις μεταξύ των κατηγοριών, τον αντίστοιχο βαθμό συσχέτισης του ζεύγους των καναλιών και την αντίστοιχη ευαισθησία στη συμμεταβλητότητα.

Οι πιο ισχυρές όμως μέθοδοι εκτίμησης της ακρίβειας είναι αυτές που βασίζονται σε δεδομένα πεδίου.

2.4.1 Πίνακας Λάθους (Error Matrix)

Δεδομένα πεδίου

	Δρυς	Καλλιερ	Μακία	Υδατα	Λιβαδ	Μ.Πευκ	Ελατο	Σύνολο
Δρυς	1626	54	17	0	0	34	10	1741
Καλλιέργ	2	1492	16	5	60	0	0	1575
Μακία βλ.	23	16	124	0	0	0	4	167
Υδατα	0	82	1	85	0	0	0	168
Λιβάδια	2	64	0	0	130	0	0	196
Μ. Πεύκη	150	1	0	0	0	108	13	272
Ελατο	0	0	0	0	0	29	63	92
Σύνολο	1803	1709	158	90	190	171	90	4211
Σδιαγωνίου = 3628								

Συνολικό ποσοστό ακρίβειας = $(3628 / 4211) * 100 = 86.16 \%$

Ο πίνακας λάθους στηρίζεται σε δείγματα πεδίου προερχόμενα από επαναδειγματοληψία (μετά την ταξινόμηση) για την εξακρίβωση του ποσοστού των pixel τα οποία είναι ταξινομημένα σωστά.

Στον πίνακα λάθους οι στήλες αντιπροσωπεύουν την κατάσταση των συγκεκριμένων στοιχείων της εικόνας (pixel) στο πεδίο και οι γραμμές την κατάσταση όπως αυτή εμφανίζεται στην ταξινομημένη

εικόνα που παράχθηκε.

Τα δείγματα υπό μορφή πολυγώνων τοποθετούνται αρχικά στην ταξινομημένη εικόνα και στη συνέχεια με οδηγό τα πολύγωνα αυτά γίνεται απόσπασση του μέρους της εικόνας που περιέχεται μέσα σ'αυτά υπολογίζοντας το ιστόγραμμα συχνοτήτων της ταξινομημένης εικόνας. Η ιδανική περίπτωση είναι, όταν σ'ένα πολύγωνο μιας κλάσης βρεθούν ρίξει ταξινομημένα μόνο σε αυτή την κλάση (100% επιτυχία). Συνήθως υπάρχουν απώλειες προς άλλες κλάσεις, οι οποίες πλησιάζουν φασματικά την υπό εξέταση κλάση.

Το συνολικό ποσοστό ακρίβειας επί τοις εκατό είναι από τους πιο κοινούς δείκτες ακρίβειας. Ο υπολογισμός του είναι απλός και υπολογίζεται από το άθροισμα των διαγωνίων στοιχείων του πίνακα τα οποία ταξινομούνται σωστά προς το συνολικό μέγεθος των δειγμάτων όλων των κλάσεων.

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται ποσοστά ακρίβειας που ποικίλουν. Anderson, 1971: "Το στάνταρ μικρότερο επίπεδο ποσοστού ακρίβειας για επικαλύψεις γης ή χρήσεις γης από δεδομένα τηλεπισκόπισης είναι 85%". Οι Κρητικός και Καλαπανίδας (1983) αναφέρουν ότι η ακρίβεια ταξινόμησης κυμαίνεται από 60% έως και πάνω από 90%. Οι Fitz-patric-Lins (1978) αναφέρουν ότι οι ακρίβειες των χαρτών της Γεωλογικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ για τις κεντρικές παράκτιες περιοχές του Ατλαντικού είναι της τάξης των 85% (1:24.000), 77% (1:100.000) και 73% (1:250.000). Ο Μελιάδης (1989) αναφέρει ότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων των δορυφορικών δεδομένων έχει τοπική χρησιμότητα και όχι γενική. Οι Williams & Nelson (1986) αναφέρουν ότι η διάκριση των πλατυφύλλων, κωνοφόρων και μικτών δασών επιτυγχάνεται με ακρίβειες 85-90%. Οι Kalensky, Moore, Campbell, Wilson & Scott (1981) έκαναν λεπτομερειακές μελέτες σε δασικές περιοχές του Καναδά χρησιμοποιώντας δεδομένα από εικόνες του Landsat και πήραν ακρίβειες που κυμαίνονταν από 70-98%.

2.4.2 Λάθη από Παραλήψεις και Λάθη από Επιφορτήσεις (Errors of Omission and Errors of Commission)

Σ'αυτή την ενότητα γίνεται εξέταση του πίνακα λάθους, ως προς

κάθε κατηγορία ξεχωριστά, για τον εντοπισμό λαθών από παράλειψη και επιφόρτιση. Λάθη από παραλήψεις είναι (για παράδειγμα) ο καθορισμός καλλιεργούμενων περιοχών (με βάση δεδομένα πεδίου) σε περιοχές με μακία βλάστηση ή άλλης κατηγορίας στην ταξινομημένη εικόνα. Δηλαδή ενώ μια περιοχή στο πεδίο είναι καλλιέργειες, στην ταξινομημένη εικόνα κατατάσσεται σαν μακία βλάστηση. Λάθη από επιφορτήσεις είναι (σύμφωνα με το παραπάνω παράδειγμα) η κατάταξη μιας περιοχής με μακία βλάστηση στο πεδίο σε καλλιεργούμενη περιοχή στην εικόνα.

Τα λάθη από παραλήψεις και επιφορτήσεις δίνουν πληροφορίες για κάθε κατηγορία όσον αφορά τη συσχέτιση των κατηγοριών, τα σημεία στα οποία έχουν γίνει λάθη καθώς και το μέγεθος αυτών εκφρασμένο επί τοις εκατό.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τα λάθη από παραλήψεις και λάθη από επιφορτήσεις στη συγκεκριμένη μελέτη.

	Λάθη από Παραλήψεις	Λάθη από Επιφορτήσεις	Σωστό
Δρυς	177/1803=9.82%	115/1741=6.61%	1626/1803=90.18%
Καλλιέργ.	217/1709=12.70%	83/1575=5.27%	1492/1709=87.30%
Μακία βλ.	34/158=21.52%	43/167=25.75%	124/158=78.48%
Υδατα	5/90=5.56%	83/168=49.40%	85/90=94.44%
Λιβάδια	60/190=31.58%	66/196=33.67%	130/190=68.42%
Μ. Πεύκη	63/171=36.84%	164/272=60.29%	108/171=63.16%
Ελατο	27/90=30.00%	29/92=31.52%	63/90=70.00%
Σύνολο	583/4211=13.84%	583/4211=13.84%	3628/4211=86.16%

2.4.3 Ποσοτική Εκτίμηση του Πίνακα Λάθους (Quantitative Assessment of the Error Matrix)

Στις δύο προηγούμενες ενότητες εξετάστηκε ο πίνακας λάθους αποκαλύπτοντας τη συνολική φύση των λαθών που υπάρχουν στην ταξινομημένη εικόνα. Ένα σοβαρό μειονέκτημα που έχουν οι συνήθεις μέθοδοι υπολογισμού των πινάκων λαθών είναι ότι ακόμα και τυχαίοι καθορισμοί *pixel* σε κατηγορίες μπορεί παραδόξως να έχουν καλά αποτελέσματα, με μέθοδο μέτρησης το ποσοστό σωστά ταξινομημένων *pixel*. Οι Hord & Brooner (1976) επισημαίνουν ότι η χρησιμοποίηση αυτών των μεθόδων εξαρτώνται από τα δείγματα και το πρότυπο δειγματοληψείας που χρησιμοποιήθηκε.

Το κ (κάππα) είναι μια μέτρηση της διαφοράς μεταξύ της παρατηρούμενης συμφωνίας (διαγώνιος του πίνακα λάθους) μεταξύ δύο χαρτών και της συμφωνίας που προέρχεται αποκλειστικά με την τυχαία σύμπτωση των χαρτών αυτών. Γνωρίζοντας ότι όλες οι συμφωνίες (συμπτώσεις) δεν οφείλονται εξ ολοκλήρου πάντα σε επιτυχημένες ταξινομήσεις, ο δείκτης κ είναι μια προσπάθεια για την παροχή μιας μέτρησης συμφωνίας η οποία έχει ενσωματώσει τη ρύθμιση για τυχαία συμφωνία. Ο δείκτης κ εκτιμάται με τον κ^{\wedge} (κάππα καπέλο).

$$\kappa^{\wedge} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ij} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}$$

όπου: + αναπαριστά άθροιση επί του δείκτη

$\sum_{i=1}^r x_{ij} / N$ εκφράζει το ποσοστό ακρίβειας που αναφέρθηκε πιο πάνω στον πίνακα λάθους

r εκτίμηση της τυχαίας συμφωνίας
 $\sum_{i=1} \chi_{i+} \chi_{+i} / N^2$ σε αντίθεση με το ποσοστό
 ακρίβειας

Η εφαρμογή της παραπάνω εξίσωσης δίνει τον ακόλουθο πίνακα:

	Δρυς	Καλλιερ	Μακία	Υδατα	Λιβαδ.	Μ.Πευκ.	Ελατο	Σύνολο
Δρ	3139023	2975369	275078	156690	330790	1097801	156690	8131441
Κα	2839725	2691675	248850	141750	299250	269325	141750	6632325
Μα	301101	285403	26386	15030	31730	28557	15030	703237
Υδ	302904	287112	26544	15120	31920	28728	15120	707448
Λι	353388	334964	30968	17640	37240	33516	17640	825356
ΜΠ	490416	464848	42976	24480	51680	46512	24480	1145392
Ελ	165876	157228	14536	8280	17480	15732	8280	387412
Συ	7592433	7196599	665338	378990	800090	1520171	378990	18532611
Σδιαγωνίου = 5964236								

$$\text{expected} = 5964236 / 18532611 = 0.3218$$

$$\kappa^{\wedge} = (\text{Correct percent} - \text{expected}) / (1 - \text{expected}) * 100 =$$

$$= (0.8616 - 0.3218) / (1 - 0.3218) * 100 = 79.59\%$$

Ο όρος correct percent αναφέρεται στο ποσοστό ακρίβειας (πίνακας λάθους) και ο όρος expected αποτελεί μια εκτίμηση της τυχαίας συμφωνίας σε αντίθεση με το ποσοστό ακρίβειας. Οι αριθμοί στα κελιά του παραπάνω πίνακα είναι η εκτίμηση του αριθμού των pixels, τα οποία pixel καθορίζονται τυχαία σε κάθε κατηγορία και

υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας το άθροισμα κατά στήλη και κατά γραμμή του πίνακα λάθους για κάθε κελί ξεχωριστά.

Ποσοστό κ% σημαίνει ότι η ταξινόμηση προσεγγίζει μία ακρίβεια η οποία είναι κ φορές καλύτερη από ότι θα αναμενόταν με μια τυχαία τοποθέτηση των ρίκελ στις κατηγορίες. Όσο οι τιμές του κ πλησιάζουν στο 1.0 (100%) τόσο οι τυχαίες συμπτώσεις τείνουν στο μηδέν. Μεγάλη επιρροή από τυχαίες συμπτώσεις επιδρούν στο ποσοστό ακρίβειας (μείωση) και το κ δέχεται αρνητικές τιμές. Αρνητικές τιμές δείχνουν φτωχή ταξινόμηση, και τιμές κοντά στο μηδέν υποδηλώνουν ίση πιθανότητα με τη σωστή ταξινόμηση των ρίκελ σε κατηγορίες με μια ταξινόμηση που θα στηρίζεται στην κατανομή των ρίκελ στην τύχη.

Ο δείκτης κ διορθώνει τις μετρήσεις με το ποσοστό ακρίβειας αφαιρώντας την υπολογισμένη κατανομή της τυχαίας συμφωνίας. Οι Rosenfield & Fitzpatrick-Lins (1986) αναφέρουν ότι ο δείκτης κ δίνει σημαντικά μικρότερη τιμή ακρίβειας από ότι το συνολικό ποσοστό ακρίβειας. Αυτό γίνεται αντιληπτό αφού ο δείκτης κ είναι πιο αυστηρός από το ποσοστό ακρίβειας, κάνοντας τη διόρθωση για τα τυχαία ταξινομημένα ρίκελ.

2.4.4 Καθορισμός Επιπέδου Εμπιστοσύνης

Οι Hord & Brooner (1976) αναφέρουν επειδή η εκτίμηση της τιμής του ποσοστού ακρίβειας επιρρεάζεται από τα δείγματα και την στρατηγική δειγματοληψείας, θα πρέπει το ποσοστό ακρίβειας να δίνεται μαζί με ένα διάστημα εμπιστοσύνης. Έτσι γίνεται επιθυμητό να γνωρίζουμε την πιθανότητα κατά την οποία τουλάχιστο i ρίκελ είναι σωστά ταξινομημένα, όταν ένα τυχαίο δείγμα από n ρίκελ έχει επιλεχτεί.

Η πιθανότητα αυτή ονομάζεται επίπεδο εμπιστοσύνης (confidence level - CL) και συνήθως εκφράζεται με ποσοστό επί τοις εκατό. Για ποσοστό CL%, μπορούμε να πούμε ότι είμαστε CL% σίγουροι ότι τα ρίκελ έχουν ταξινομηθεί σωστά τουλάχιστο i φορές στις n .

Εδώ παρουσιάζεται ένας απλούστερος τρόπος προσέγγισης του CL

και υπολογίζεται ως εξής:

$$p = P/N \quad (1)$$

$$q = Q/N \quad (2)$$

$$p + q = 1 \quad (3)$$

$$m = N \cdot p \text{ και } s = (N \cdot p \cdot q)^{1/2} \quad (4)$$

$$e_m = s/\sqrt{N} \quad (5)$$

$$e_s = s/\sqrt{2N} \quad (6)$$

όπου:

N είναι ο αριθμός των pixel των δειγμάτων που έχουν παρθεί

P είναι ο αριθμός των pixel των δειγμάτων που έχουν ταξινομηθεί σωστά

Q είναι ο αριθμός των pixel των δειγμάτων που δεν έχουν ταξινομηθεί σωστά

m ο εκτιμώμενος μέσος της κατανομής

s η εκτιμώμενη τυπική απόκλιση της κατανομής

e_m είναι το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης του μέσου

e_s είναι το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης της τυπικής απόκλισης

e_p το πειραματικό λάθος στην εκτίμηση και στην καταμέτρηση του αριθμού σωστών ταξινομημένων δειγμάτων

Το e_p είναι μια παράμετρος που καθορίζεται από τον ερευνητή, που στη συγκεκριμένη μελέτη δεν λαμβάνεται υπόψη λόγω της μη σημαντικής διαφοράς που επιφέρει. Υποτίθεται ότι το p είναι μεγαλύτερο από 0.1 και το N μεγαλύτερο από 50, έτσι ώστε η διωνυμική κατανομή να μπορεί να προσεγγιστεί με την κανονική.

Η τιμή για το ελάχιστο όριο που είναι απαραίτητο για 99.9% επίπεδο εμπιστοσύνης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$99.9\% \text{ CL} = (m - 3 \cdot e_m) - 3 \cdot (s + 3 \cdot e_s) \quad (7)$$

$$\begin{array}{l} \mu\epsilon \quad N = 4211 \quad \updownarrow \\ \quad \quad P = 3628 \quad \left| \longrightarrow \right. \\ \quad \quad Q = 583 \quad \quad \downarrow \end{array} \quad \begin{array}{l} p = 0.8616 \\ q = 0.1384 \end{array} \quad \begin{array}{l} m = 3628.197 \\ s = 22.408 \end{array} \quad \begin{array}{l} e_m = 0.3453 \\ e_s = 0.2442 \end{array}$$

Βασίζεται στο κεντρικό οριακό θεώρημα όπου μέσος είναι το P.

Βάση των παραπάνω από τον τύπο (7) έχουμε

$$(m-3*e_m) - 3*(s+3*e_s) = (3628.197-3*0.3453)-3*(22.408+3*0.2442) = \\ = 3557.7384 = 84.49\%$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν, με 99.9% επίπεδο εμπιστοσύνης, ότι τουλάχιστο το 84.49% των ριχελ όλης της περιοχής μελέτης έχουν ταξινομηθεί σωστά.

Ομοια για 99% επίπεδο εμπιστοσύνης είναι

$$(m-2.33*e_m) - 2.33*(s+2.33*e_s) = 84.87\%$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν, με 99% επίπεδο εμπιστοσύνης, ότι τουλάχιστο το 84.87% των ριχελ όλης της περιοχής μελέτης έχουν ταξινομηθεί σωστά.

Ομοια για 95% επίπεδο εμπιστοσύνης είναι

$$(m-1.65*e_m) - 1.65*(s+1.65*e_s) = 85.25\%$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν, με 95% επίπεδο εμπιστοσύνης, ότι τουλάχιστο το 85.25% των ριχελ όλης της περιοχής μελέτης έχουν ταξινομηθεί σωστά.

Συνοψίζοντας, είμαστε

99.9%	┌	84.49%
99%	├	84.87%
95%	└	85.25%

των ριχελ όλης της περιοχής μελέτης έχουν ταξινομηθεί σωστά.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πίνακες των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν για τη γεωμετρική διόρθωση της εικόνας, τα λάθη και η μήτρα μετασχηματισμού.

Coefficient Filename : GEVIGCP

Here are the points you are using:

Point Count	Point Number	Image Pixels			
		X	Y	X	Y
1	1	89175.0000	26325.0000	2073.	967.
2	2	40350.0000	37225.0000	310.	892.
3	3	49115.0000	30840.0000	655.	1060.
4	4	92125.0000	40300.0000	2087.	465.
5	5	68860.0000	44850.0000	1252.	451.
6	6	52960.0000	23425.0000	835.	1294.
7	7	57610.0000	21480.0000	1007.	1332.
8	8	47435.0000	32390.0000	587.	1018.
9	9	65090.0000	39095.0000	1160.	675.
10	10	66620.0000	44275.0000	1180.	487.
11	11	66980.0000	50070.0000	1156.	281.
12	12	77905.0000	8365.0000	1794.	1661.
13	13	59225.0000	54215.0000	860.	185.
14	14	56330.0000	30110.0000	910.	1041.
15	15	57210.0000	23780.0000	980.	1256.
16	16	44580.0000	27200.0000	522.	1213.
17	17	64300.0000	18220.0000	1262.	1402.
18	18	102180.0000	23355.0000	2542.	987.
19	19	46735.0000	30650.0000	574.	1082.
20	20	103305.0000	26875.0000	2559.	859.
21	21	94135.0000	36290.0000	2180.	591.
22	22	55110.0000	23495.0000	909.	1276.

Here is the matrix you are using:

A1= 0.2435896E+04 A2=-0.6234730E-02 A3=-0.3468184E-01
 B1=-0.8549781E+03 B2= 0.3466914E-01 B3=-0.6236789E-02

These are the computed results of the matrix above:

Point Count	Point Number	Image X Pixel	X Pixel Residual	Image Y Pixel	Y Pixel Residual
1	1	2072.46	-0.5410E+00	966.91	-0.8549E-01
2	2	311.76	0.1757E+01	893.29	0.1293E+01
3	3	655.45	0.4541E+00	1060.09	0.8929E-01
4	4	2087.57	0.5738E+00	463.84	-0.1157E+01
5	5	1252.62	0.6189E+00	451.09	0.9197E-01
6	6	835.00	0.2772E-02	1293.28	-0.7174E+00
7	7	1008.34	0.1345E+01	1331.75	-0.2527E+00
8	8	587.54	0.5430E+00	1016.81	-0.1193E+01
9	9	1157.81	-0.2191E+01	674.19	-0.8091E+00
10	10	1178.55	-0.1454E+01	485.00	-0.2000E+01
11	11	1154.88	-0.1115E+01	281.77	0.7741E+00
12	12	1793.75	-0.2495E+00	1660.07	-0.9342E+00
13	13	860.17	0.1742E+00	186.37	0.1368E+01
14	14	910.14	0.1448E+00	1040.42	-0.5765E+00
15	15	980.13	0.1326E+00	1254.47	-0.1527E+01
16	16	520.93	-0.1068E+01	1214.61	0.1606E+01
17	17	1260.61	-0.1387E+01	1403.10	0.1100E+01
18	18	2541.85	-0.1456E+00	988.84	0.1837E+01
19	19	574.13	0.1266E+00	1081.52	-0.4825E+00
20	20	2558.90	-0.9630E-01	859.74	0.7428E+00
21	21	2182.27	0.2268E+01	590.39	-0.6143E+00
22	22	909.10	0.1048E+00	1277.45	0.1450E+01

X RMS error= 1.02156 Y RMS error= 1.08976

Total RMS error= 1.49370

Point Count	Point Number	Error	Error Contribution by Point
1	1	0.5477	0.3667
2	2	2.1818	1.4606
3	3	0.4628	0.3099
4	4	1.2912	0.8644
5	5	0.6257	0.4189
6	6	0.7174	0.4803
7	7	1.3684	0.9161
8	8	1.3109	0.8776
9	9	2.3357	1.5637
10	10	2.4727	1.6554
11	11	1.3575	0.9088
12	12	0.9670	0.6474
13	13	1.3792	0.9233
14	14	0.5945	0.3980
15	15	1.5328	1.0262
16	16	1.9287	1.2912
17	17	1.7698	1.1849
18	18	1.8427	1.2336
19	19	0.4988	0.3340
20	20	0.7490	0.5014
21	21	2.3500	1.5733
22	22	1.4540	0.9734

Here are the points that were used:

Point Count	Point Number	X	Y	Image Pixels	
				X	Y
1	1	89175.0000	26325.0000	2073.	967.
2	2	40350.0000	37225.0000	310.	892.
3	3	49115.0000	30840.0000	655.	1060.
4	4	92125.0000	40300.0000	2087.	465.
5	5	68860.0000	44850.0000	1252.	451.
6	6	52960.0000	23425.0000	835.	1294.
7	7	57610.0000	21480.0000	1007.	1332.
8	8	47435.0000	32390.0000	587.	1018.
9	9	65090.0000	39095.0000	1160.	675.
10	10	66620.0000	44275.0000	1180.	487.
11	11	66980.0000	50070.0000	1156.	281.
12	12	77905.0000	8365.0000	1794.	1661.
13	13	59225.0000	54215.0000	860.	185.
14	14	56330.0000	30110.0000	910.	1041.
15	15	57210.0000	23780.0000	980.	1256.
16	16	44580.0000	27200.0000	522.	1213.
17	17	64300.0000	18220.0000	1262.	1402.
18	18	102180.0000	23355.0000	2542.	987.
19	19	46735.0000	30650.0000	574.	1082.
20	20	103305.0000	26875.0000	2559.	859.
21	21	94135.0000	36290.0000	2180.	591.
22	22	55110.0000	23495.0000	909.	1276.

Number of Control Points 22

Maximum acceptable RMS error specified by user 1.50000

Η έκταση και τα ποσοστά κάθε κατηγορίας στην εικόνα
(Προσοχή, το 100% δεν αντιστοιχεί σε όλη την έκταση του Ν.
Γρεβενών, αλλά στην έκταση που καλύπτει η δορυφορική εικόνα)

Header listing for GIS file: E.GIS
Date statistics printed: 23-JUN-1994
Date statistics created: 06-JUN-1994

This file has 1531 rows, and 2291 columns

This image is geo-referenced to a UTM coordinate system
The upper left corner has coordinate: 30960, 55005

The cell size is (X, Y): 30, 30
Upper left corner data file coordinate (X,Y) is: 7, 5

Number of classes in this variable is: 11
This file contains 8-bit data
The VARIABLE name is

VALUE	POINTS	%	DESCRIPTION
=====	=====	=====	=====
1	526429.	23.49 %	Καλλιέργειες
2	18563.	0.83 %	Οξυά
3	324865.	14.50 %	Λιβάδια-Βοσκοτόπια
4	12403.	0.55 %	Ελατο
5	153734.	6.86 %	Μακία βλάστηση
6	28705.	1.28 %	Κέδρο
7	11958.	0.53 %	Πουρνάρι
8	165070.	7.37 %	Μ. Πεύκη
9	40234.	1.80 %	Αστικό
10	11941.	0.53 %	Υδατα
11	946867.	42.26 %	Δρυς

Totals: 2240769.

Totals and Percentages are Based on Non-zero points

Φασματικές υπογραφές των κατηγοριών (πλήρη λίστα των στατιστικών στοιχείων που χαρακτηρίζουν κάθε κατηγορία)

Signature Listing

Filename : COST

The signature name is **Καλλιέργειες**

There are 306 pixels within this polygon(s).

Band	1	2	3	4	5
Minimum	66	23	25	21	114
Mean	82.71	34.80	47.69	43.73	120.49
Standard	7.21	5.30	9.96	10.84	3.40
Maximum	103	48	72	70	129

Covariance Matrix

1	52.01	35.87	63.11	67.71	13.12
2	35.87	28.09	51.33	55.33	11.38
3	63.11	51.33	99.13	106.24	21.36
4	67.71	55.33	106.24	117.41	27.69
5	13.12	11.38	21.36	27.69	11.57

The signature name is **Οξυά**

There are 17 pixels within this polygon(s).

Band	1	2	3	4	5
Minimum	55	19	16	36	172
Mean	57.18	20.41	17.88	41.47	176.82
Standard	0.91	0.59	0.80	3.57	3.14
Maximum	59	21	19	47	182

Covariance Matrix

1	0.82	-0.01	0.12	0.06	-0.20
2	-0.01	0.34	0.34	1.89	1.47
3	0.12	0.34	0.64	2.25	1.03
4	0.06	1.89	2.25	12.71	9.86
5	-0.20	1.47	1.03	9.86	9.85

The signature name is **Λιβάδια - Βοσκοτόπια**

There are 54 pixels within this polygon(s).

Band	1	2	3	4	5
Minimum	68	32	47	71	120
Mean	103.57	52.24	79.48	80.85	128.70
Standard	18.50	10.11	14.17	4.28	10.52
Maximum	136	67	96	87	154

Covariance Matrix

1	342.31	183.39	239.12	58.26	-171.76
2	183.39	102.22	138.20	34.36	-99.15
3	239.12	138.20	200.82	50.19	-144.48
4	58.26	34.36	50.19	18.32	-30.21
5	-171.76	-99.15	-144.48	-30.21	110.58

The signature name is **Ελατο**

There are 42 pixels within this polygon(s).

Band	1	2	3	4	5
Minimum	52	15	12	21	155
Mean	54.26	16.31	13.62	24.67	162.98
Standard	1.29	0.76	0.80	2.27	4.28
Maximum	58	18	16	30	171

Covariance Matrix

1	1.67	0.16	0.02	0.44	0.94
2	0.16	0.58	0.33	0.83	0.61
3	0.02	0.33	0.64	1.08	-0.15
4	0.44	0.83	1.08	5.15	7.51
5	0.94	0.61	-0.15	7.51	18.31

The signature name is **Μακία βλάστηση**

There are 85 pixels within this polygon(s).

Band	1	2	3	4	5
Minimum	62	21	25	30	131
Mean	70.67	28.55	34.61	44.82	143.13
Standard	4.80	3.84	7.08	7.85	6.01
Maximum	78	36	47	57	155

Covariance Matrix

1	23.01	17.23	31.79	33.56	-9.11
2	17.23	14.72	26.46	27.01	-8.87
3	31.79	26.46	50.10	49.66	-19.37
4	33.56	27.01	49.66	61.63	-0.49
5	-9.11	-8.87	-19.37	-0.49	36.13

The signature name is **Κέδρο**

There are 25 pixels within this polygon(s).

Band	1	2	3	4	5
Minimum	74	34	47	54	134
Mean	81.84	37.52	49.64	57.28	135.64
Standard	3.45	2.70	1.32	2.02	1.06
Maximum	89	41	52	60	137

Covariance Matrix

1	11.87	8.07	3.64	6.00	2.36
2	8.07	7.28	2.77	5.18	2.42
3	3.64	2.77	1.73	2.34	0.61
4	6.00	5.18	2.34	4.07	1.73
5	2.36	2.42	0.61	1.73	1.12

The signature name is **Πουρνάρι**

There are 40 pixels within this polygon(s).

Band	1	2	3	4	5
Minimum	71	30	34	58	149
Mean	74.50	31.35	37.60	62.05	157.65
Standard	1.79	1.21	2.07	2.18	4.02
Maximum	78	34	44	65	166

Covariance Matrix

1	3.21	0.88	0.98	-2.20	-3.84
2	0.88	1.47	1.81	-0.88	-3.78
3	0.98	1.81	4.28	-0.14	-7.01
4	-2.20	-0.88	-0.14	4.77	4.91
5	-3.84	-3.78	-7.01	4.91	16.13

The signature name is **Μ.Πεύκη**

There are 141 pixels within this polygon(s).

Band	1	2	3	4	5
Minimum	52	19	16	37	169
Mean	60.18	21.73	20.65	49.84	178.77
Standard	2.63	1.52	2.74	8.04	5.10
Maximum	66	26	26	64	190

Covariance Matrix

1	6.91	3.02	4.75	7.92	-3.96
2	3.02	2.30	3.74	8.67	-0.34
3	4.75	3.74	7.51	17.78	-0.11
4	7.92	8.67	17.78	64.58	23.67
5	-3.96	-0.34	-0.11	23.67	26.03

The signature name is **Αστικό**

There are 51 pixels within this polygon(s).

Band	1	2	3	4	5
Minimum	83	34	44	51	121
Mean	92.75	40.73	53.35	57.69	131.61
Standard	5.14	2.62	3.98	2.84	5.03
Maximum	105	48	63	64	142

Covariance Matrix

1	26.43	11.99	11.76	-2.60	-16.89
2	11.99	6.86	8.05	0.30	-9.36
3	11.76	8.05	15.86	2.56	-16.12
4	-2.60	0.30	2.56	8.08	5.62
5	-16.89	-9.36	-16.12	5.62	25.31

The signature name is **Υδατα**

There are 168 pixels within this polygon(s).

Band	1	2	3	4	5
Minimum	72	26	18	9	60
Mean	86.36	35.78	31.86	15.79	81.83
Standard	7.92	6.78	10.56	8.01	12.24
Maximum	100	48	51	37	108

Covariance Matrix

1	62.78	52.66	76.44	33.56	-19.82
2	52.66	45.92	64.85	25.93	-23.24
3	76.44	64.85	111.46	66.80	14.20
4	33.56	25.93	66.80	64.24	67.99
5	-19.82	-23.24	14.20	67.99	149.89

The signature name is **Δρυς**

There are 349 pixels within this polygon(s).

Band	1	2	3	4	5
Minimum	59	21	20	41	159
Mean	65.82	25.91	25.58	62.32	178.93
Standard	2.04	1.40	2.57	8.92	8.99
Maximum	71	29	35	86	197

Covariance Matrix

1	4.14	2.04	3.69	2.43	-4.87
2	2.04	1.96	2.56	5.94	0.47
3	3.69	2.56	6.60	0.97	-11.66
4	2.43	5.94	0.97	79.62	66.93
5	-4.87	0.47	-11.66	66.93	80.84

Πίνακας συνάφειας των κατηγοριών (με βάση τα δείγματα)
 Παρουσιάζονται τα pixels και τα ποσοστά αλληλεπικάλυψης των
 κατηγοριών.

Image Classification Contingency Table
 Signature File: COST
 Image File : GR1234VI
 Maximum likelihood classifier

Page 1-1

Training sample names

Signature Name	Καλλιέργ		Οξύ		Λιβάδια		Ελατο	
Καλλιέργειες	300	98.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Οξύ	0	0.0%	17	100.0%	0	0.0%	0	0.0%
Λιβάδια-Βοσκ.	1	0.3%	0	0.0%	54	100.0%	0	0.0%
Ελατο	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	42	100.0%
Μακία βλάστηση	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Κέδρο	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Πουρνάρι	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Μ. Πεύκη	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Αστικό	5	1.6%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Υδατα	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Δρυς	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Total points	306		17		54		42	

Training sample names

Signature Name	Μακία βλαστ		Κέδρο		Πουρνάρι		Μ. Πεύκη	
Καλλιέργειες	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Οξύ	0	0.0%	0	0.0%	6	4.3%	6	4.3%
Λιβάδια-Βοσκ	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Ελατο	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Μακία βλάστηση	85	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Κέδρο	0	0.0%	25	100.0%	0	0.0%	0	0.0%
Πουρνάρι	0	0.0%	0	0.0%	40	100.0%	0	0.0%
Μ. Πεύκη	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	132	93.6%
Αστικό	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Υδατα	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Δρυς	0	0.0%	0	0.0%	3	2.1%	3	2.1%
Total points	85		25		40		141	

Signature Name	Training sample names					
	Αστικό		Υδατα		Δρυς	
Καλλιέργειες	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Οξυά	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Λιβάδια-Βοσκ	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Ελατο	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Μακία βλάστηση	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Κέδρο	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Πουρνάρι	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Μ. Πεύκη	0	0.0%	0	0.0%	30	8.6%
Αστικό	51	100.0%	0	0.0%	0	0.0%
Υδατα	0	0.0%	168	100.0%	0	0.0%
Δρυς	0	0.0%	0	0.0%	319	91.4%
Total points	51		168		349	

Κριτική της Μεθοδολογικής Προσέγγισης

Η επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας του Ν. Γρεβενών για τη χαρτογράφηση της φυτοκάλυψης παρουσίασε αρκετές δυσκολίες από τις ιδιομορφίες των συστημάτων βλάστησης, από τη χρονολογία και την εποχή λήψης της δορυφορικής εικόνας.

Επειδή στο νομό οι αροτριάιες καλλιέργειες αποτελούν το 93,3% της συνολικής έκτασης των καλλιεργειών και ο χρόνος λήψης της δορυφορικής εικόνας που ήταν 4-10-1986, οι δυσκολίες στις καλλιέργειες οφείλονται στο ότι οι γεωργικές εκτάσεις δεν καλύπτονται από βλάστηση εκείνη την εποχή, με αποτέλεσμα να συγχέονται με τα λιβάδια, τις άγονες εκτάσεις, τον αστικό χώρο και τη μακία βλάστηση. Για τα σιτηρά που αποτελούν το 81,3% της γεωργικής έκτασης, την εποχή εκείνη καλύπτονται από καλαμιώνες ή είναι γυμνό έδαφος λόγω κάψιμο των καλαμιώνων. Για τις υπόλοιπες αροτριάιες καλλιέργειες δεν γνωρίζαμε τη χρονολογία εκείνη σε ποιές περιοχές ποιο είδος φυτού καλλιεργούνταν. Για τις δενδρώδεις καλλιέργειες που σιγά-σιγά εγκαταλείπονται στο νομό, λόγω και των μικρών εκτάσεων που καλύπτουν χαρακτηρίζονται από ανομοιομορφία (πολλές καλλιέργειες μαζί). Στην κατηγορία αυτή βοήθησε πολύ η εξοικείωση με την περιοχή, η πείρα που αποκτήθηκε και η παρατήρηση της εικόνας στο ορατό μέρος του φάσματος. Θα πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι στην εικόνα, στο ορατό μέρος του φάσματος, παρατηρήθηκε σε δύο περιοχές του νομού να φαίνεται ότι καλύπτονται από χιόνι. Μετά την επιτόπια έρευνα διαπιστώθηκε ότι ο τύπος του εδάφους ήταν "ασπρόχωμα" που επέδρασε στη μεγάλη αντανακλαστικότητα.

Για τους βοσκότοπους η δυσκολία οφείλεται στο ότι συγχέονται με τις καλλιέργειες λόγω γυμνού εδάφους και κάλυψη με χορτολιβαδικά φυτά, παρουσιάζοντας όμοια φασματική υπογραφή.

Για τα δασικά είδη οι δυσκολίες οφείλονται στη μικρή διαφορά μεταξύ κωνοφόρων και φυλλοβόλων (μ.πεύκη-έλατο, δρυς-οξιιά).

Αλλά και μεταξύ κωνοφόρων-φυλλοβόλων στην εικόνα παρατηρήθηκε παρόμοια φασματική υπογραφή αραιού δάσους μ.πεύκης και πυκνού δάσους δρυών με μεγάλη κλίση. Ακόμη, οι υλοτομημένες περιοχές παρουσιάζουν παρόμοια φασματική υπογραφή με τις καλλιέργειες και τη μακία βλάστηση. Επίσης, το μωσαϊκό που παρουσιάζει ο ελληνικός χώρος με τη συνεχή εναλλαγή των ειδών και των υποκατηγοριών τους αφού λείπουν οι μεγάλες ενιαίες εκτάσεις του ίδιου είδους.

Στις δυσκολίες ακόμη, προστίθεται και ο μεγάλος χρόνος που πέρασε από τη λήψη της εικόνας μέχρι την επεξεργασία της. Η δειγματοληψεία πεδίου πραγματοποιήθηκε αρχές Ιουλίου του 1993 και υπάρχει μία διαφορά περίπου 7 χρόνων από τη λήψη της. Για παράδειγμα οι υλοτομημένες περιοχές αναγνωρίστηκαν στην εικόνα μετά από στοιχεία που πάρθηκαν από τη Διεύθυνση Δασών.

Θα πρέπει να αναφερθεί εδώ, ότι γίνεται πρώτη φορά προσπάθεια στο νομό για χαρτογράφηση της μακίας βλάστησης, του κέδρου και του πουρναριού. Κι αυτό γιατί οι αρμόδιες υπηρεσίες θεωρούν τις κατηγορίες αυτές ως βοσκοτόπια.

Οι παραπάνω δυσκολίες, εντοπίζονται στον πίνακα των φασματικών υπογραφών των κατηγοριών (αποτελέσματα). Από το εύρος των ραδιομετρικών τιμών (ελάχιστο, μέγιστο) των δειγμάτων διαπιστώνεται ο βαθμός επικάλυψης σε κάθε κανάλι. Το ελάχιστο είναι η μικρότερη ραδιομετρική τιμή που βρέθηκε σε όλα τα δείγματα μιας κατηγορίας (αντίστοιχα και για το μέγιστο). Το εύρος των τιμών μιας κατηγορίας δεν περιλαμβάνει όλες τις τιμές, αλλά περιλαμβάνει τα εύρη εκείνα τα οποία δίνει το κάθε δείγμα. Το μεγάλο εύρος, όταν τα υπόλοιπα στατιστικά στοιχεία είναι τα επιθυμητά, δηλώνει πολλές υποκατηγορίες. Από το μέσο όρο φαίνεται η μέση ανάκλαση (σε ραδιομετρικές τιμές) των κατηγοριών σε κάθε κανάλι. Μπορούμε έτσι να συμπεράνουμε για την ανακλαστικότητα των κατηγοριών στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και τη σχέση μεταξύ τους. Επίσης ο μέσος όρος βοηθάει στη φωτοερμηνεία των δορυφορικών εικόνων. Από την τυπική απόκλιση χαρακτηρίζεται η ομοιογένεια των δειγμάτων. Παρατηρείτε στις κατηγορίες που υπεισέρχετε και ο παράγων έδαφος, μεγάλη τυπική απόκλιση. Για τη μακία βλάστηση έχουμε μεγάλες τιμές σε σχέση με τα άλλα είδη φυτοκάλυψης, που

οφείλεται στην έντονη βόσκηση και διάβρωση που έχει υποστεί η κατηγορία αυτή. Το εύρος των ραδιομετρικών τιμών είναι ιδανικό όταν περιέχει μόνο μία τιμή και αντίστοιχα για την τυπική απόκλιση όταν η τιμή της είναι 1.

Στους πίνακες των φασματικών υπογραφών δίνεται και ο πίνακας των συμμεταβλητών (Covariance matrix). Ο πίνακας αυτός προσδιορίζει τη συσχέτιση της πληροφορίας των καναλιών και βοηθάει στην επιλογή του συνδυασμού των καναλιών για την τελική ταξινόμηση.

Από τον πίνακα συνάφειας των δειγμάτων (αποτελέσματα) συμπεραίνουμε για τον διαχωρισμό των κατηγοριών, η "καθαρότητα" των υπογραφών τους θα πρέπει να προσεγγίζει το 100%.

Αξιοσημείωτη παρατήρηση στον πίνακα λάθους είναι η ταξινόμηση περιοχών καλλιεργειών στην κατηγορία του νερού. Αυτό οφείλεται στα όμοια στατιστικά στοιχεία των δύο πρώτων καναλιών ανάμεσα στις κατηγορίες.

Ερμηνεία Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα - Προτάσεις

Από τα αποτελέσματα της ταξινόμησης με το ποσοστό ακρίβειας αλλά και την εξοικίωση με το νομό, η ταξινόμηση κρίνεται ως επιτυχής και αποδεκτή από την υπάρχουσα βιβλιογραφία.

Ως προς την έκταση των κατηγοριών, τα ύδατα μόνο έχουν μεγάλη απόκλιση. Καλύπτουν στην ταξινομημένη εικόνα 10747 στρ. ενώ η βιβλιογραφία δίνει 29700 στρ. Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους, στη χωρική διακριτική ικανότητα του TM και στην εποχή λήψης της εικόνας. Οι χειμαροί και τα ρυάκια λόγω μικρού πλάτους δεν επιδρούν στις ραδιομετρικές τιμές των *rice1* χαρακτηρίζοντάς τα ως νερό και ακόμη, η παραποτάμια βλάστηση είναι έντονη που καθορίζει αυτή τη ραδιομετρική τιμή των *rice1*. Για την εποχή λήψης είμαστε σε μια περίοδο μετά από ξηρασία (καλοκαίρι), οι φθινοπωρινές βροχές δεν έχουν αρχίσει και τα μοναδικά νερά που φαίνονται στην εικόνα είναι του ποταμού Αλιάκμονα και του παραποτάμου του Βενέτικου. Οι άλλοι παραπόταμοι δεν έχουν νερό και η άμμος με το

χαλίκι που καλύπτει αυτές τις περιοχές ταξινομούνται στο αστικό. Για την κατηγορία των υδάτων τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για ταξινόμηση πάρθηκαν από την τεχνητή λίμνη του Πολυφύτου (Σέρβια) που είναι στη δορυφορική εικόνα. Τα δείγματα που πάρθηκαν από τον ποταμό και παραπόταμο δεν ήταν επαρκές και περιείχαν κι άλλες κατηγορίες.

Στις υλοτομημένες περιοχές δρυών παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό τους ταξινομείται στις καλλιέργειες και στη μακία βλάστηση. Αυτό οφείλεται στο γυμνό έδαφος και στον υποόροφο που υπάρχουν μετά την υλοτόμηση.

Δύο μικρές καμένες περιοχές δρυών (περίπου 1500 στρ.) που υπάρχουν στην εικόνα ταξινομείται περίπου το 70% στις καλλιέργειες και το υπόλοιπο στη μακία βλάστηση και στις δρυς. Κι αυτό διότι την εποχή εκείνη καίγονται οι καλάμιες των σιτηρών, επιδρώντας έτσι ώστε να έχουν όμοια φασματική υπογραφή.

Η πρώτη ταξινόμηση που έγινε έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα για τα πυκνά δάση όλων των ειδών (η καλή ομοιογένεια που χαρακτηρίζει το πυκνό δάσος). Το αστικό, η μακία βλάστηση και το πουρνάρι είχαν υπερεκτημηθεί. Η έκταση των καλλιεργειών ήταν περίπου το 90% της έκτασης της καλλιέργειας σιτηρών.

Η εισαγωγή της ταξινομημένης εικόνας, για έρευνες σε σχέση με τα φυσικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά του νομού, σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών με τη μορφή επιπέδου πληροφορίας συστήνεται.

Η χρήση δορυφορικών εικόνων αποτελεί αναμφισβήτητα την επιστήμη και τεχνολογία παρέχοντας γρήγορη και αξιόπιστη πληροφορία. Η οικονομία χρόνου και κόστους, και η δημιουργία μόνιμου αρχείου καταγραφής του περιβάλλοντος είναι κριτήρια που ωθούν την τηλεπισκόπηση στην εφαρμογή διαχειριστικών πρακτικών στο περιβάλλον καθώς και προγραμμάτων διατήρησης της ποικιλότητας και των φυσικών πόρων. Η παρούσα εργασία χαρτογραφώντας τα είδη φυτοκάλυψης στρέφεται προς αυτή την κατεύθυνση. Καταγράφοντας την υπάρχουσα κατάσταση συμπεραίνουμε για τις δραστηριότητες του

πρωτογενή τομέα και τις αλλαγές οι οποίες έχουν συμβεί και δρουν καθορίζοντας τις παραμέτρους του περιβάλλοντος. Η υπερβόσκηση αποτελεί τη βασική αιτία υποβάθμισης των φυτοκοινωνιών και διαταραχής των οικοσυστημάτων.

Με την παρούσα εργασία δημιουργήθηκε η βάση δεδομένων για ένα νομό παραμελημένο και ταυτόχρονα πλούσιο σε ποικιλότητα χλωρίδας και πανίδας που αποτελούν και τους πλουτοπαραγωγικούς πόρους, θα ήταν ευχή να συνεχιστεί η συλλογή και καταγραφή των δεδομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αδαμακόπουλος Τ., Αδαμακοπούλου Π. (1991). "Μελέτη και διατήρηση της φύσης και των φυσικών πόρων του όρους Βουνάσα", Γρεβενά.

Βέργος Σ., Μήτκας Γ., Ξύστρας Δ. (1989). "Τα δάση της Δυτικής Μακεδονίας", 1^ο αναπτυξιακό συνέδριο περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας, Προσυνέδριο Γρεβενών, Γρεβενά.

Campbell J. P. (1987). "Introduction to Remote Sensing", New York London.

Γιαννόπουλος Ι. (1989). "Αναδιάρθρωση Καλλιεργειών", 1^ο αναπτυξιακό συνέδριο περ. Δυτικής Μακεδονίας, Προσυνέδριο Γρεβενών, Γρεβενά.

Erdas, Inc (1988). "Erdas User's Guide" Version 7.3.

Hatzopoulos I.N., Giourga Chr., Koukoulas S., Margaris N. (1992). "Land cover classification of olive trees in the Greek islands using Landsat TM image", Symposium ASP&RS, USA.

Κοντόες Χ., Folving S. (1990). "Μέθοδοι και τεχνικές που εφαρμόζονται στην ανάλυση ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Γενική παρουσίαση - Εξελίξεις", Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Κοινό Κέντρο Ερευνών - ΙΣΠΑ, Ινστιτούτο Τηλεπισκόπησης.

Κρητικός Γ., Καλαπανίδας Θ. (1983). "Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας και εφαρμογές στην τηλεανίχνευση", Αθήνα.

Κουκούλας Σ. (1994). "Ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου για την χαρτογράφηση της παραγωγικής κατάστασης των ελαιώνων της Νήσου Λέσβου με χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat TM", Πτυχιακή Εργασία, Μυτιλήνη.

Κούνια Σ., Κολύβα-Μαχαίρα Φ., Μπαγιάτη Κ., Μπόρα-Σέντα Ε. (1990). "Εισαγωγή στην Στατιστική", Θεσσαλονίκη.

Lillesand T.M and Kiefer R.W (1987). "Remote Sensing and Image Interpretation", New York.

Μάργαρης Ν.Σ., Γιούργα Χρ., Λούμου Α., Κουτσιδου Ε., Θεοδωρακάκης Μ., Κουκούλας Σ., Γκαλογιάννης Κ. "Οι Ελαιώνες των Νησιών - Πρωτογενής Τομέας και Περιβάλλον στην Ορεινή Ελλάδα, Εκθεση προόδου (1/7/1993-31/12/1993), Πρόγραμμα ΣΠΑ Περιβάλλοντος/Υπουργείο Γεωργίας/Γενική Διεύθυνση Γεωργικών Εφαρμογών και Έρευνας/ Διεύθυνση Χωροταξίας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Mather P. (1987). "Computer processing of remotely sensed images, an introduction", England.

Μελιάδης Ι.Μ., Καρτέρης Μ.Α. (1992). "Η δορυφορική τεχνολογία και η δασοπονία", Περιοδικό γεωτεχνικά επιστημονικά θέματα, τόμος 3, τεύχος 1.

Παπαναστάσης Β. (1989). "Λιβάδια της Δ. Μακεδονίας: Δυνατότητες Ανάπτυξης και Αξιοποίησης", 1^ο Αναπτυξιακό συνέδριο περ. Δ. Μακεδονίας, Προσυνέδριο Γρεβενών, Γρεβενά.

Rees W.G. (1990). "Physical Principles of Remote Sensing", New York.

Richards J.A. (1986). "Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction", Berlin.

Συλλαίος Ν. (1985). "Φωτοερμηνεία", Θεσσαλονίκη.

Swain P.H., Davis S.M., (1978). "Remote Sensing: A Quantitative Approach", New York.

Σφήκας Γ. (1983). "Δένδρα και θάμνοι της Ελλάδας", Θεσσαλονίκη.

Τζατζάνης Ι., Θεοχάρης Α. (1989). "Διαχείριση Δημόσιου Δασικού Συμπλέγματος Περιβολίου-Αβδέλλας-Σμίξης Γρεβενών", Εκθεση, Γρεβενά.

Χατζόπουλος Ι.Ν. (1991). "Φωτογραμμετρία και Τηλεπισκόπηση στο Περιβάλλον", Σημειώσεις, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Χατζόπουλος Ι.Ν. (επ. υπευθ.) και συνεργάτες (1992). "Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων SPOT και Landsat TM για την Αναθεώρηση Χαρτών 1:50.000", Ερευνητικό Πρόγραμμα, Τελική Εκθεση, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.