

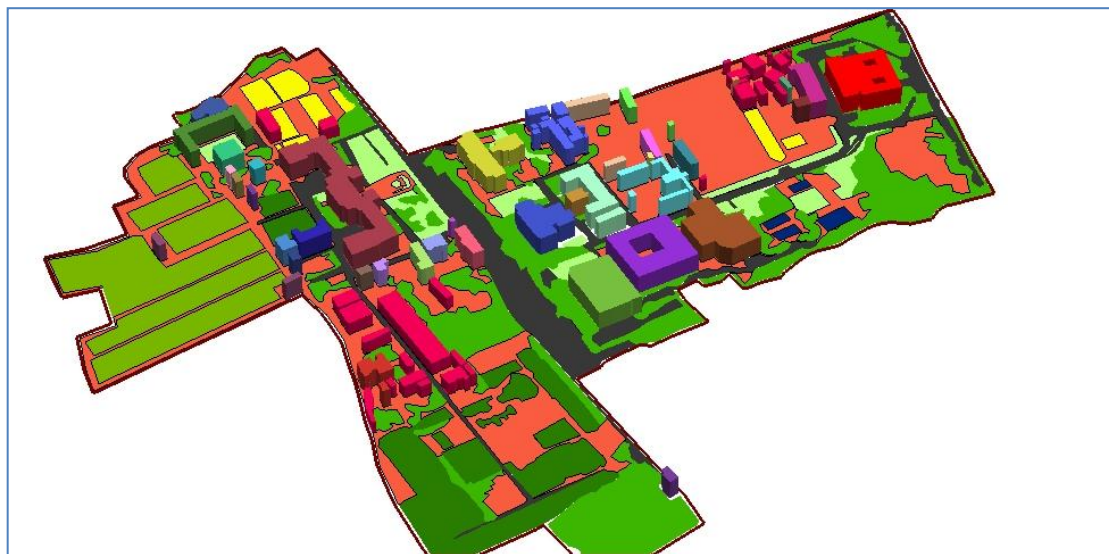


ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΟΥ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΣΤΟΥΣ
ΦΥΣΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ**

**ΘΕΜΑ: ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΓΠΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΕ ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ**



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΤΟΥ

ΚΑΡΟΥΤΣΟΥ ΠΕΤΡΟΥ

Επιβλέπων :

Σπυρίδων Βάλμης

Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, 2012

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΤΙΤΛΟΣ

**ΘΕΜΑ: ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΓΠΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΕ
ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ
ΔΕΙΚΤΩΝ**

ΤΟΥ

ΠΕΤΡΟΥ ΚΑΡΟΥΤΣΟΥ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Βάλμης Σπυρίδων, Επιβλέπων Καθηγητής
Καθηγητής, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Καλύβας Διονύσιος
Επίκουρος καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Δρ. Γκανάς Αθανάσιος
Κύριος Ερευνητής Α΄ Γεωδυναμικού Ινστιτούτου
Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

“Elevatis nihíl celatur”

«Όταν ανεβαίνεις ψηλά, τίποτα δεν μπορεί να σου κρυφτεί»

Η απάντηση του εκατόνταρχου του τμήματος τηλεπισκόπησης (XIV) του Ρωμαϊκού στρατού όταν ο Ιούλιος Καίσαρας ζήτησε να μάθει την στρατηγική που ακολουθούν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	9
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	10
ABSTRACT	12
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	14
1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	16
1.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	17
1.4 ΥΛΙΚΑ -ΜΕΘΟΔΟΙ.....	17
1.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	18
2. ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	19
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	19
2.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	19
2.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	20
2.2.2 ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΒΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	21
2.2.3 ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	24
2.2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	25
2.2.5 ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	26
2.2.5.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ-ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ	26
2.2.5.2 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΓΗΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	29
2.2.5.3 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	31
2.2.5.4 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ	34
2.2.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	37
2.2.7 ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	40
2.2.7.1 ΓΕΝΙΚΑ	40
2.2.7.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΗΣ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ.....	42
2.2.7.3 ΑΡΧΕΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	44
2.2.8 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ	45
2.2.8.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	45
2.2.8.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	46
2.2.9 ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	48
2.3 ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	49

2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ	49
2.3.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΓΣΠ-ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ.....	51
2.3.3 ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΝΟΣ Γ.Σ.Π.	57
2.4 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ	59
2.4.1 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ	59
2.4.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ	60
2.4.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΠΟΛΥΩΝΥΜΑ	61
2.5 ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ	63
2.5.1 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS	64
2.5.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GPS.....	67
2.5.3 ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ GPS.....	68
2.6 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ.....	71
2.6.1 ΓΕΝΙΚΑ	71
2.6.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	73
2.6.3 ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	76
2.6.4 ΜΗ ΕΠΟΠΤΕΥΟΜΕΝΟΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΕΣ.....	77
2.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	80
2.7.1 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	80
2.7.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	80
2.7.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	83
2.7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ.....	84
2.8 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ.....	86
2.8.1 ΓΕΝΙΚΑ	86
2.8.2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ.....	87
2.8.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	88
3.ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	91
3.1 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ.....	91
3.2 ΚΛΙΜΑ.....	94
3.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	96
3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ	96
3.3.2 ΑΡΧΑΙΟΣ ΕΛΑΙΩΝΑΣ	97
3.3.3 ΒΥΖΑΝΤΙΝΑ ΧΡΟΝΙΑ.....	98
3.3.4 ΝΕΟΤΕΡΗ ΕΠΟΧΗ	98
3.3.5 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	99

3.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	100
3.5 ΤΟ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ.....	101
4.ΣΥΛΛΟΓΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ	103
4.1ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΔΙΟΥ-ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΑ-GPS.....	103
4.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	103
4.1.2 ΧΑΡΑΞΗ ΠΟΡΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ	103
4.1.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (GROUND CONTROL POINTS)	105
5. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	119
5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ	119
6.ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	124
6.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	124
6.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ.....	129
6.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	133
6.4 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ – ΑΝΑΠΤΥΞΗ GIS.....	142
6.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΩΝ ΚΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΘΕΣΗΣ.	144
7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	148
8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	154
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	157

ΕΙΚΟΝΕΣ-ΠΙΝΑΚΕΣ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Εικόνα 1. Γραφική αναπαράσταση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος σε μια συγκεκριμένη στιγμή του χρόνου (CCRS, 1998).....	27
Εικόνα 2.Γραφική αναπαράσταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος, στην οποία φαίνεται η αντίστροφη σχέση του μήκους κύματος (wavelength) με την συχνότητα (frequency) και την ενέργεια (energy) (CCRS, 1998).....	27
Εικόνα 3. Κύρια περιοχή του Η/Μ φάσματος και τα κανάλια του ,με το μήκος κύματος, την συχνότητα και την ενέργεια των φωτονίων(Friberg,1968).....	30
Εικόνα 4.Χρώματα του ορατού φάσματος που παράγονται όταν η ακτίνα του λευκού φωτός περνάει μέσα από ένα πρίσμα (Avery & Berlin, 1992)	30
Εικόνα 5.Ισοζύγιο ακτινοβολίας της γης με την ατμόσφαιρα (Critchfield, 1974)	32
Εικόνα 6.Κύριες φασματικές περιοχές που χρησιμοποιεί η τηλεπισκόπηση, με το φάσμα της ατμοσφαιρικής απορρόφησης (ατμοσφαιρικά παράθυρα και τυφλά, γκρι και μαύρα αντίστοιχα) και τις περιοχές που καλύπτουν τα συστήματα τηλεπισκόπησης (Shertz & Stevens, 1970)	33
Εικόνα 7.Οι τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις τις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας (Avery & Berlin, 1992)	35
Εικόνα 8.Τυπικές καμπύλες φασματικής απόκρισης για τρία υλικά της γήινης επιφάνειας (σχεδιασμός από τη NASA)	36
Εικόνα 9.Εικόνες που παρουσιάζονται με διαφορετικό pixel εδαφικής ανάλυσης. Η χωρική ανάλυση καθορίζεται από το μέγεθος του pixel. Η περιοχή είναι ένα κομμάτι της πόλης Victorville στη νότια Καλιφόρνια (Sabins, 1997).....	39
Εικόνα 10. Τυπικό δρομολόγιο αεροφωτογράφησης (ERDAS Field Guide).....	41
Εικόνα 11. Λεπτομέρεια του δρομολογίου. Διακρίνονται οι επικαλύψεις μεταξύ των διαδοχικών Α/Φ(ERDAS Field Guide)	41
Εικόνα 12.Αλληλεπίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα και το έδαφος. (προσαρμογή από Campbell & Wynne,2011).....	47
Εικόνα 13.Charged Coupled Device (Campbell & Wynne,2011).....	48
Εικόνα 14.Τρόπος λήψης ψηφιακής αεροφωτογραφίας(Campbell&Wynne,2011)	49
Εικόνα 15.Ένα πληροφοριακό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών που αναδεικνύει σαν βάση ένα χάρτη που συνοδεύεται από διάφορους καταγεγραμμένους χάρτες επίθεσης (Avery & Berlin 1992).....	54
Εικόνα 16.Διανυσματική μορφή δεδομένων. Διακρίνονται διάφοροι τύποι αυτής(ERDAS Field Guide).....	55
Εικόνα 17. Raster μορφή δεδομένων (ERDAS Field Guide)	56
Εικόνα 18.Αναπαράσταση της γεωμετρικής απώλειας της ακρίβειας. Στην περίπτωση (b) η μικρή γωνία μεταξύ των δορυφόρων αυξάνει το GDOP.	67
Εικόνα 19.Αρχή λειτουργίας Διαφορικού GPS.....	70
Εικόνα 20. Mean Distance ταξινομητής. Διακρίνονται τα μέσα διανύσματα Α,Β,С και D.	73
Εικόνα 21.Ο ταξινομητής του κανόνα του παραλληλογράμμου	74
Εικόνα 22. Ταξινομητής Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Οι δύο κλάσεις είναι οι Α και Β. Το pixel που ταξινομείται έχει DN=45.	75
Εικόνα 23. Περιοχές εκπαίδευσης	76

Εικόνα 24. Αλγόριθμος K-means. 1ο και 2ο είναι τα αρχικά κέντρα συσσώρευσης των pixel(Mather,1991).....	78
Εικόνα 25. Ο αλγόριθμος ISODATA(Mather,1991)	79
Εικόνα 26. Μήτρα λαθών	82
Εικόνα 27.Ο Συντελεστής Θέασης του Ουράνιου Θόλου	89
Εικόνα 41.Κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού, τα scatter plot Blue vs. Red, Green vs. Blue, Green vs. Red,.....	124
Διάγραμμα 1.Διαχρονικά δεδομένα θερμοκρασίας από τον μετεωρολογικό σταθμό του Γ.Π.Α	95
Διάγραμμα 2. Διαχρονικά δεδομένα μέσης σχετικής υγρασίας από τον μετεωρολογικό σταθμό του Γ.Π.Α.....	95
Διάγραμμα 3. Ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων από τον μετεωρολογικό σταθμό του Γ.Π.Α	96

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εκπόνηθηκε στο εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Εφαρμογές της Γεωπληροφορικής στους Φυσικούς Πόρους» του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής.

Αντικείμενο της μελέτης αποτέλεσε η χαρτογράφηση της περιοχής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με χρήση αεροφωτογραφίας σε μεγάλη κλίμακα με σκοπό την εξαγωγή δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό βιοκλιματικών δεικτών.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή μου στις προπτυχιακές και μεταπτυχιακές σπουδές κ. Βάλμη Σπυρίδωνα τόσο για την ανάθεση του θέματος και την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου όσο και για την καθοδήγηση και την αμέριστη βοήθεια του στην εκπόνηση της παρούσας μελέτης. Επίσης ευχαριστώ ιδιαίτερα τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής και εξεταστικής επιτροπής κ. Καλύβα Διονύσιο, επίκουρο καθηγητή Γ.Π.Α και κ. Γκανά Αθανάσιο, κύριο ερευνητή Ά Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για την βοήθεια τους και τον χρόνο που αφιέρωσαν για την διόρθωση και την βαθμολόγηση αυτής της μελέτης.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την υποστήριξη τους και την κατανόηση που έδειξαν κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Καρούτσος Πέτρος

Αθήνα, Ιούνιος 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Τηλεπισκόπηση αποτελεί στις μέρες μας τον πλέον σύγχρονο τρόπο επιστημονικής παρατήρησης του περιβάλλοντος. Η χρήση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων σε συνδυασμό με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορούν να βοηθήσουν στην εξαγωγή και την επεξεργασία πληροφοριών που αφορούν στις χρήσεις γης και στις αλλαγές αυτών καθώς και σε ιδιότητες αντικειμένων που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης.

Σημαντική πρόκληση για την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης αποτελεί η εξαγωγή πληροφοριών από εικόνες αστικού περιβάλλοντος. Αυτό γιατί το αστικό περιβάλλον παρουσιάζει ιδιαίτερες ιδιομορφίες σε σχέση με το αγροτικό ή το δασικό.

Επιπλέον, στα πλαίσια της εξοικονόμησης ενέργειας και της προστασίας των φυσικών πόρων, αναπτύσσεται ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός έχει να κάνει με εκείνες τις κατασκευαστικές τεχνικές οι οποίες επιτρέπουν την θέρμανση, τον κλιματισμό και τον φωτισμό των κτιρίων με χρήση φυσικών πηγών ενέργειας. Λαμβάνει, δε υπ' όψιν ιδιότητες των κτιρίων όπως το υλικό κατασκευής, τις διαστάσεις και τον προσανατολισμό τους για την μέγιστη εκμετάλλευση του ηλιακού φωτός.

Στόχος αυτής της μεταπτυχιακής μελέτης είναι να διερευνήσει κατά πόσο οι τεχνικές της Τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι σε θέση να εξάγουν πληροφορίες από τηλεπισκοπικές απεικονίσεις αστικής περιοχής με απώτερο σκοπό αυτές οι πληροφορίες να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό βιοκλιματικών δεικτών.

Περιοχή μελέτης αυτής της εργασίας είναι το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών και για την διεξαγωγή της χρησιμοποιήθηκε έγχρωμη αεροφωτογραφία της Geomatics SA, με διακριτική ικανότητα 0,25m ,ημερομηνίας λήψης 10 Ιουνίου 2009, κλίμακας 1/12000 και τα πακέτα λογισμικού PCI Geomatica έκδοσης 10.1 και ArcGIS 9.3.

Τα μεθοδολογικά βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας είναι, αρχικά η γεωμετρική διόρθωση της αεροφωτογραφίας, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση της, η επιλογή της καλύτερης ταξινόμησης βάσει των σχετικών δεικτών και κριτηρίων, η ψηφιοποίηση των χρήσεων γης από την αεροφωτογραφία, η δημιουργία των χαρτών κλίσης και έκθεσης από το Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρου (Digital Elevation Model) της περιοχής. Έγινε συνδυασμός των δεδομένων κλίσης και έκθεσης με σχηματικά αρχεία των χρήσεων γης. Τελικά, συγκρίνονται οι μέθοδοι της ταξινόμησης και της ψηφιοποίησης με χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων. Η τελευταία αποδεικνύεται ότι έχει μεγαλύτερα πλεονεκτήματα και τελικά γίνεται επίσης μια πρόταση για μια πιθανόν καλύτερη μέθοδο, την μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης.

Λέξεις-κλειδιά:αεροφωτογραφία,τηλεπισκόπηση χαρτογράφηση, βιοκλιματικοί δείκτες, ταξινόμηση.

ABSTRACT

Remote Sensing is the most modern method for scientific observation of the environment. The use of remote sensing imagery coupled with Geographic Information Systems (GIS) technology can help in extracting and processing information related to land use as well as monitor changes that land uses undergo over time.

A major challenge for remote sensing is information extraction from images of urban environment. This is because the urban environment presents particular characteristics, contrary to agriculture or forestry.

Moreover, in the context of energy saving and the protection of natural resources, bioclimatic building design is being developed. Bioclimatic design has to do with those construction techniques that allow the heating, air conditioning and lighting of buildings using natural energy sources. It takes into consideration properties of buildings such as the construction material, the size and the orientation of buildings for the maximum utilization of sunlight.

The aim of this master thesis is to investigate whether the techniques of Remote Sensing combined with GIS are able to extract information from remotely sensed images of urban area with a view to this information be used in calculating bioclimatic indices.

The study area of this thesis is the Agricultural University of Athens. A digital, color, aerial image of 0.25 m resolution, taken at the 10th of June 2009, courtesy of Geomatics SA, of this site was used for the implementation of the methods chosen.

The methodological steps followed in the preparation of this thesis were:

Firstly the geometric correction of aerial photography, secondly the supervised classification, the selection of the best classification based on the appropriate indicators, then the digitization of land use classes from the aerial photography, the creation of slope and aspect maps from the Digital Elevation Model (DEM) of the area. A combination of slope and aspect data with the shapefiles representing the land use classes was implemented.

Finally, the methods of classification and the use of Geographic Information Systems were compared. The latter proved to have great advantages. A proposal for a possibly better method is made, the method of object oriented classification.

Keywords: aerial image, remote sensing, mapping, bioclimatic indices, classification analysis

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η αναγνωρισμένη ανάγκη προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος και η διατήρηση της ισορροπίας των φυσικών οικοσυστημάτων αφενός και της αειφόρου οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης αφετέρου, συνδυασμένη με την απειλή της αλλαγής του κλίματος, καθίσταται τώρα περισσότερο από ποτέ άλλοτε αναγκαία και επιβάλλει την εφαρμογή μιας αποτελεσματικής προσέγγισης που να εξασφαλίζει την αειφόρο διατήρηση και ανάπτυξη των φυσικών πόρων, αλλά και την βελτίωση της ποιότητας ζωής στα αστικά κέντρα.

Η αύξηση του πληθυσμού και οι τρέχουσες ανάγκες, έχουν οδηγήσει στην δημιουργία μεγάλων πόλεων και πολεοδομικών συστημάτων. Σε ότι αφορά το περιβάλλον, ο αστικός ιστός εκπέμπει ρύπους και θερμότητα σε μεγάλες ποσότητες, μετατρέποντας έτσι τις περιοχές αυτές σε πηγές ρύπων και θερμότητας. Η σημειακή και έντονη εκπομπή θερμότητας προκαλεί αλλαγές στην ισορροπία της θερμότητας της περιοχής. Λόγω της πυκνής δόμησης των κτηρίων, η θερμότητα εμποδίζεται στο να εξαπλωθεί και εγκλωβίζεται μέσα στις πόλεις, προκαλώντας το θερμικό φαινόμενο, που ονομάζεται «Φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας». Το Φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας ευθύνεται για την αύξηση της θερμοκρασίας στις αστικές περιοχές στις οποίες εμφανίζεται.

Στα πλαίσια της εξοικονόμησης ενέργειας, της αντιμετώπισης του προβλήματος της θερμικής μόλυνσης και της προστασίας των φυσικών πόρων, αναπτύσσεται ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός έχει να κάνει με εκείνες τις κατασκευαστικές τεχνικές οι οποίες επιτρέπουν την θέρμανση, τον

κλιματισμό και τον φωτισμό των κτιρίων με χρήση φυσικών πηγών ενέργειας. Λαμβάνει, δε υπ' όψιν ιδιότητες των κτιρίων όπως το υλικό κατασκευής, τις διαστάσεις και τον προσανατολισμό, καθώς η αλληλεπίδραση αυτών των παραγόντων με το φως και την θερμότητα που μεταδίδεται από τον Ήλιο είναι το γενεσιουργό αίτιο του περιβάλλοντος που επικρατεί εντός των κτηρίων.

Η Τηλεπισκόπηση αποτελεί στις μέρες μας τον πλέον σύγχρονο τρόπο επιστημονικής παρατήρησης του περιβάλλοντος. Η χρήση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων σε συνδυασμό με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορούν να βοηθήσουν στην εξαγωγή και την επεξεργασία πληροφοριών που αφορούν στις χρήσεις γης και στις αλλαγές αυτών καθώς και σε ιδιότητες αντικειμένων που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης.

Σημαντική πρόκληση για την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης αποτελεί η εξαγωγή πληροφοριών από απεικονίσεις του αστικού περιβάλλοντος. Αυτό γιατί το αστικό περιβάλλον παρουσιάζει ιδιαίτερες ιδιομορφίες σε σχέση με το αγροτικό ή το δασικό. Τέτοιες είναι:

1. Η ανάμικτη χρήση γης.

Τα αντικείμενα του αστικού ιστού δεν τοποθετούνται στον χώρο βάσει ενός μοτίβου (pattern), ενώ δεν χαρακτηρίζονται τόσο από την φασματική τους υπογραφή αλλά από το σχήμα τους.

2. Ο κατακερματισμός και η πολυπλοκότητα των δομών.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση που οικοδομικά τετράγωνα συνορεύουν με πάρκα και δρόμους. Υπάρχουν τρεις χρήσεις γης που καταλαμβάνουν μικρή έκταση και διαδέχονται άμεσα η μια την άλλη.

1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στόχος αυτής της μεταπτυχιακής μελέτης είναι να διερευνήσει τον βαθμό στον οποίο η τηλεπισκόπηση που προέρχεται από έγχρωμη ψηφιακή αεροφωτογραφία υψηλής ανάλυσης σε συνδυασμό με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) αποτελούν χρήσιμα και αποτελεσματικά εργαλεία για τον γενικό προγραμματισμό, παρακολούθηση, και διαχείριση έργων βιοκλιματικού σχεδιασμού σε αστικό περιβάλλον. Πιο αναλυτικά στη μελέτη επιχειρείται να δημιουργηθεί μια μεθοδολογία εξαγωγής πληροφοριών από έναν ανάμικτο αστικό ιστό, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βιοκλιματικές μελέτες. Τέτοιες πληροφορίες είναι ο τύπος των χρήσεων γης, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους, η κλίση και ο προσανατολισμός τους.

Η παρούσα μελέτη προσεγγίζει και αξιοποιεί τις πολλές δυνατότητες των εξελιγμένων μεθόδων και τεχνικών και πιο συγκεκριμένα:

1. της ψηφιακής επεξεργασίας των δεδομένων από έγχρωμες ψηφιακές αεροφωτογραφίες υψηλής ανάλυσης 0,25 m.
2. των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

Η σύνθεση όλων των παραπάνω αποτελεί την καινοτομία της μελέτης κατά την οποία, έχει αναπτυχθεί μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την καταλληλότερη γεωδαιτική αναφορά και χαρτογράφηση των απαραίτητων πληροφοριών από κατάλληλα επιλεγμένες χρήσεις γης και φυσική κάλυψη με σκοπό την παρακολούθηση και επισκόπηση τους, με απώτερο στόχο την κατάστρωση διαχειριστικών σχεδίων δράσης και προγραμματισμού έργων υποδομής αναπτυξιακού χαρακτήρα και προστασίας. Τα αποτελέσματα της μελέτης συνιστούν το χαρτογραφικό υπόβαθρο,

το οποίο θα βοηθήσει στον αποτελεσματικότερο δυνατό βιοκλιματικό σχεδιασμό της περιοχής μελέτης που είναι το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών και την ένταξη του σε σχέση με τον γειτονικό φορτισμένο αστικό ιστό.

1.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Περιοχή μελέτης αυτής της εργασίας είναι το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, στην περιοχή του οποίου παρατηρούνται μια πλειάδα διαφορετικών χρήσεων γης. Υπάρχουν καθαρά αγροτικές χρήσεις, όπως δενδροκομείο, αμπελώνας και αροτραίες καλλιέργειες, αλλά και αστικές χρήσεις γης, όπως κτήρια, γήπεδα και δρόμοι.

1.4 ΥΛΙΚΑ -ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την εκπόνηση αυτής της μελέτης χρησιμοποιήθηκε έγχρωμη ψηφιακή αεροφωτογραφία με ανάλυση 25 εκ. και το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM) της περιοχής (30 m) με επιπλέον break lines και υψομετρικά σημεία. Λόγω του ότι η περιοχή του Γ.Π.Α είναι σχετικά επίπεδη, η ακρίβεια του DEM θεωρείται ικανοποιητική. Επιπλέον για την συλλογή των σημείων Επίγειων Σημείων Ελέγχου χρησιμοποιήθηκε το GPS χειρός Garmin Dakota 10. Για την ταξινόμηση της αεροφωτογραφίας και τον έλεγχο της ακρίβειας της ταξινόμησης, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PCI Geomatica έκδοσης 10.1, ενώ για την ψηφιοποίηση των ορίων των χρήσεων γης και την επεξεργασία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS 9.3.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε συνίσταται στα εξής βήματα:

1. Συλλογή των Επίγειων Σημείων Ελέγχου(GCP) , με βάση προσχεδιασμένες διαδρομές στην περιοχή μελέτης και φωτογραφική τεκμηρίωση αυτών.
2. Γεωμετρική διόρθωση της αεροφωτογραφίας με χρήση των GCPs που συλλέχθηκαν.
3. Καθορισμός των ορίων της περιοχής μελέτης και επιλογή των περιοχών εκπαίδευσης του αλγόριθμου ταξινόμησης.
4. Ταξινόμηση της αεροφωτογραφίας από τρεις επιβλεπόμενους ταξινομητές και έλεγχος της ακρίβειας κάθε ταξινόμησης.
5. Ψηφιοποίηση των χρήσεων γης εντός της περιοχής μελέτης. Δημιουργία χαρτών κλίσης και έκθεσης.
6. Συνδυασμός των πολυγώνων που αντιπροσωπεύουν τις διάφορες χρήσεις γης με τα δεδομένα κλίσης και έκθεσης.
7. Σύγκριση μεθόδων ταξινόμησης και ψηφιοποίησης.
8. Διερεύνηση της δυνατότητας εξαγωγής βιοκλιματικών δεικτών.

1.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μεθοδολογία κατέδειξε ότι είναι εφικτή η εξαγωγή δεδομένων που βοηθούν τον υπολογισμό βιοκλιματικών δεικτών από μια αεροφωτογραφία υψηλής ανάλυσης. Τέτοια δεδομένα είναι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (το εμβαδόν, η περίμετρος), η κλίση, η έκθεση, αλλά και οι τύποι των χρήσεων γης του Γ.Π.Α.

2. ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την κατανόηση των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση αυτής της μελέτης, κρίνεται αναγκαία η παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου στο οποίο στηρίζονται. Παρουσιάζονται τα θέματα της Τηλεπισκόπησης, με έμφαση στις αεροφωτογραφίες, των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, της ταξινόμησης εικόνων, της αξιολόγησης της ακρίβειας των διαφόρων ταξινομήσεων, του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης, της γεωμετρικής διόρθωσης αεροφωτογραφίας.

2.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Κατά την δεκαετία του '80 και τις αρχές της δεκαετίας του '90 επισφραγίστηκε η δυναμική εξέλιξη των παρατηρήσεων της Γης από το διάστημα, με την εφαρμογή τους στις Γεωεπιστήμες (*Earth Sciences*-Γεωπονία, Γεωλογία, Τοπογραφία κ.τ.λ.).

Η βασική πηγή πληροφόρησης που προκύπτει από αυτού του είδους την παρατήρηση, είναι οι τηλεπισκοπικές εικόνες παρακολούθησης της Γης από ειδικά σχεδιασμένους δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από αυτή.

Σήμερα γίνεται ολοένα και πιο συχνά απαραίτητη η συμβολή και συνδρομή, στις επιστημονικές έρευνες, των τηλεπισκοπικών προϊόντων, είτε στα προκαταρκτικά τους στάδια, είτε και κατά την διάρκεια των υπαίθριων εργασιών. Ένα μεγάλο μέρος επιστημών (στην Ελλάδα, δυστυχώς, σε μικρότερο βαθμό) έχει εξοικειωθεί με την χρήση τους, πράγμα που έχει σαν συνέπεια την επίτευξη νέων και καταλληλότερων αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων σε διάφορα θέματα.

Ταυτόχρονα δε, η χρήση ενός κατάλληλου Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Γ.Σ.Π) παρέχει την δυνατότητα της απλούστευσης και της με μεγάλη ακρίβεια διαχείρισης των δεδομένων, πράγμα που βοηθάει

σημαντικά στην καλύτερη ανάλυση και ερμηνεία πολλαπλών επιπέδων πληροφόρησης. Το τελευταίο αποτελεί ένα μείζων πρόβλημα στους διάφορους ερευνητικούς κλάδους σήμερα.

2.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Σε μία πρώτη προσπάθεια να ορίσουμε τι ακριβώς είναι η Τηλεπισκόπηση μπορούμε να καταφύγουμε στην ετυμολογία της λέξης και τα Αρχαία Ελληνικά. Τηλεπισκόπηση λοιπόν (τηλε = μακριά + επισκοπώ = παρατηρώ) είναι η απόκτηση πληροφορίας για κάποιο αντικείμενο, το οποίο βρίσκεται μακριά μας και δεν έχουμε φυσική επαφή μαζί του. Με αυτόν τον ορισμό, και η αίσθηση της όρασης είναι μια από τις μορφές της Τηλεπισκόπησης και τα μάτια είναι όργανα Τηλεπισκόπησης, ανάλογα με τις κάμερες ή τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται (Lillesand & Kieffer, Druy 1987)

Σύμφωνα με τον Ασάρα (1986), τηλεπισκόπηση (*remote sensing*,) γενικά καλείται η τεχνική συλλογής στοιχείων για τον προσδιορισμό της φύσης και των ιδιοτήτων ενός ή περισσότερων αντικειμένων μιας περιοχής, από απόσταση (από τον αέρα ή το διάστημα), με τη βοήθεια ειδικών συστημάτων καταγραφής.

Κατά τον Mather (1991) η τηλεπισκόπηση του περιβάλλοντος συμπεριλαμβάνει την μέτρηση και καταγραφή (αποτύπωση) της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την γήινη επιφάνεια προς την ατμόσφαιρα. Η μέτρηση γίνεται από ένα κατάλληλο σημείο πάνω από την επιφάνεια της Γης και ακολουθεί ο συσχετισμός των μετρήσεων αυτών με τα φυσικά χαρακτηριστικά.

Ο Gupta (1991) αναφέρει απλά ότι η τηλεπισκόπηση σημαίνει απόκτηση πληροφοριών γύρω από ένα αντικείμενο δίχως να είμαστε σε επαφή με το αντικείμενο αυτό καθεαυτό. Η τηλεπισκόπηση έχει διττή διάσταση σύμφωνα με τον Gupta:

α) την τεχνολογία απόκτησης δεδομένων με τη βοήθεια ενός μέσου που βρίσκεται σε απόσταση από το αντικείμενο, και

β) την ανάλυση των δεδομένων για την ερμηνεία του αντικειμένου.

Και οι δύο αυτές παράμετροι βρίσκονται σε στενή σχέση μεταξύ τους.

Η Τηλεπισκόπηση ορίζεται σαν η τεχνική απόκτησης των πληροφοριών για διάφορα αντικείμενα μέσα από την ανάλυση δεδομένων που συλλέχθηκαν από ειδικά όργανα τα οποία όμως δεν είχαν φυσική επαφή με τα αντικείμενα. Δηλαδή μπορεί να αποδοθεί σαν η αναγνώριση ενός αντικειμένου από απόσταση (Avery & Berlin, 1992).

Σύμφωνα με την ESA (European Space Agency, 1994), τηλεπισκόπηση είναι η ανίχνευση των διαφόρων χαρακτηριστικών της επιφάνειας της Γης από δέκτες (sensors) που δεν βρίσκονται σε επαφή με το αντικείμενο, με παρατήρηση από απόσταση, δηλαδή παρατήρηση χωρίς να υπάρχει φυσική επαφή με το αντικείμενο.

Γενικά λοιπόν παρατηρούμε ότι η τηλεπισκόπηση αποτελείται από τρία κύρια συστατικά που είναι **η συλλογή πληροφοριών, η ανάλυση τους και η ερμηνεία τους**. Η μέτρηση και αποτύπωση γίνεται από ειδικούς αισθητήρες (sensors) που έχουν ενσωματωθεί σε αεροπλάνα ή διαστημόπλοια και μετρούν το ποσό της ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης. Αυτοί οι αισθητήρες σαρώνουν την επιφάνεια κάτω και εκατέρωθεν του δορυφόρου ή αεροπλάνου και καθώς κινούνται σχηματίζεται μια εικόνα της γήινης επιφάνειας. Είναι έτσι πρόδηλο ότι, το σημαντικότερο μέσο στην τεχνική της τηλεπισκόπησης είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το φώς του ήλιου είναι η πλέον γνωστή μορφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ένα ελάχιστο μέρος του φάσματος της οποίας αποτελεί και το ορατό τμήμα, δηλαδή αυτό που είναι ανιχνεύσιμο με την ανθρώπινη όραση.

2.2.2 ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΒΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Από τη αρχή της ύπαρξης του, ο άνθρωπος είχε την δίψα να ανακαλύψει το μη ορατό, να δει κάτω από την επιφάνεια της γης, να ανακαλύψει και κατά κυριότερο λόγο να κατανοήσει το φυσικό του περιβάλλον και την σχέση των στοιχείων του περιβάλλοντος μεταξύ

τους. Οι προσπάθειες επίτευξης αυτού του σκοπού ήταν συνεχείς και πολυάριθμες μέσα στην ιστορία της ανθρωπότητας.

Παρακάτω αναφέρονται μερικοί από τους σταθμούς της ιστορίας της εξέλιξης της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης.

ΓΑΛΙΛΑΙΟΣ (1609)

Μέσα από το τηλεσκόπιο του ο Γαλιλαίος παρατήρησε κάποιες ατέλειες που υπήρχαν στην επιφάνεια της Σελήνης. Η πιο σημαντική ανακάλυψη του ήταν οι δορυφόροι που βρίσκονταν σε τροχιά γύρω από τον Δία, η οποία ανέτρεπε το «δόγμα» , ότι η Γη είναι το κέντρο του σύμπαντος και όλα τα αντικείμενα περιστρέφονται γύρω από αυτήν. Έκανε επίσης παρατηρήσεις στον ήλιο, χάνοντας τελικά την όραση του. Η μέθοδος του Γαλιλαίου ήταν η μόνη καταγραφείσα για πάνω από 200 χρόνια.

Η ΠΡΩΤΗ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ, (1895)

Ο Gaspar Felix Tournachon , γνωστός και ως Nadar, ήταν ένας διάσημος Γάλλος φωτογράφος που είχε σαν χόμπι του την πτήση με αερόστατα. Μέσα στο αερόστατο που πετούσε είχε πάντα μαζί του την φωτογραφική του κάμερα ,έχοντας σαν στόχο να επιθεωρεί το έδαφος από τις φωτογραφίες που τράβαγε. Αν και ο Nadar έθεσε τις βάσεις για την μελλοντική Τηλεπισκόπηση, όπως την γνωρίζουμε σήμερα, δεν είχε απόλυτη επιτυχία στην από αέρος παρατήρηση ,διότι οι φωτογραφικές του παρατηρήσεις τράβηξαν την προσοχή του στρατού.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΑΕΡΟΠΛΑΝΟ, (1909)

Ο Wilbur Wright ήταν ο πιλότος που συμμετείχε σε δύο σημαντικά γεγονότα για την ιστορία της Τηλεπισκόπησης. Οι πρώτες φωτογραφίες από αεροπλάνο τραβήχτηκαν από το αεροπλάνο του Wright κατά τη διάρκεια μιας επίδειξης στην Γαλλία το 1908. Τον

επόμενο χρόνο οι φωτογραφίες τραβήχτηκαν στην Ιταλία από ένα φωτογράφο που συνόδευε τον Wright.

Ο 1^{ος} Παγκόσμιος Πόλεμος, (1914-1918)

Κατά την διάρκεια αυτού του πολέμου έγινε κατά κόρον χρήση της εναέριας παρατήρησης και φωτογράφισης των θέσεων του εχθρού, στον πόλεμο των χαρακωμάτων. Με το τέλος του πολέμου η χρησιμότητα των τεχνικών που αναπτύχθηκαν και το ολοκληρωμένο φωτογραφικό υλικό, βρήκαν την αναγνώριση και από τις δυο πλευρές. Οι Γερμανοί τραβούσαν 4.000 φωτογραφίες την μέρα, καθώς προετοιμάζονταν για την τελική τους επίθεση και ο Αμερικανικός στρατός τράβηξε πάνω από 1.000.000 φωτογραφίες τους τελευταίους 4 μήνες του πολέμου. Η μεγάλη χρησιμότητα των φωτογραφιών όμως έμελε να αποδειχτεί στον επόμενο μεγάλο πόλεμο.

Οι πρώτες εικόνες της Γης ,και τα πρώτα ουσιαστικά βήματα στον τομέα της Τηλεπισκόπησης ,ελήφθησαν κατά τη περίοδο 1946-1950 όταν η NASA (Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος) με την παρότρυνση της Αμερικανικής κυβέρνησης , τοποθέτησε σε πυραύλους V-2 (οι οποίοι είχαν περιέλθει στην κατοχή των ΗΠΑ από τους Γερμανούς κατά τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο) φωτογραφικές μηχανές 35mm. Ακολούθως, οι πύραυλοι εκτοξεύτηκαν από την περιοχή White Sands Proving Ground στο Νέο Μεξικό. Τα επόμενα χρόνια έγιναν πολυάριθμες πτήσεις, που περιλάμβαναν και φωτογραφήσεις, από βαλλιστικούς πυραύλους, ρουκέτες, δορυφόρους και επανδρωμένα διαστημικά σκάφη. Παρόλα αυτά, η ποιότητα των φωτογραφιών που λήφθηκαν ήταν κακής ποιότητας, κυρίως εξαιτίας του γεγονότος ότι αυτές οι πτήσεις γινόντουσαν κατά πρώτο λόγο για σκοπούς πέραν της φωτογράφισης και της παρατήρησης.

2.2.3 ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Κατά πολλές απόψεις , οι αρχικές προσπάθειες που στόχευαν στην λήψη εικόνων της επιφάνειας της Γης από το διάστημα ήταν μάλλον «παραπροϊόντα» της ανάπτυξης των μετεωρολογικών δορυφόρων. Ξεκινώντας με τον TIROS-1 το 1960, ο οποίος ήταν ο πρώτος που έφερε τηλεοπτική κάμερα, οι μετεωρολογικοί δορυφόροι έδωσαν χοντροκομμένες εικόνες σχηματισμών νεφών και κατ' ουσίαν ασαφείς εικόνες της γήινης επιφάνειας. Με βελτιώσεις των αισθητήρων των μετεωρολογικών δορυφόρων, οι εικόνες της Γης και της ατμόσφαιρας της έγιναν σαφέστερες και καθαρότερες, μέχρι που τελικά οι επιστήμονες ξεκίνησαν την εντατική μελέτη της επιφάνειας της Γης για την συλλογή στοιχείων σχετικά με το νερό, το χιόνι και τις παγωμένες εκτάσεις.

Το συναρπαστικό μέλλον της διαστημικής Τηλεπισκόπησης έγινε εμφανέστερο κατά την διάρκεια των επανδρωμένων διαστημικών προγραμμάτων της δεκαετίας του 60. Πρόκειται για τα προγράμματα Mercury, Gemini και Apollo της NASA και Vostoc, Vostod και Soyouz από πλευράς ΕΣΣΔ. Τα αποτελέσματα των εικόνων των διαφόρων προγραμμάτων είχαν μεγάλη επιτυχία διότι οδήγησαν σε νέες ανακαλύψεις που αφορούσαν διάφορα περιβαλλοντικά θέματα. Αυτές οι φωτογραφίες προκάλεσαν κατάπληξη στους επιστήμονες εκείνης της εποχής γιατί είχαν την δυνατότητα να δουν μεγάλες γεωλογικές δομές και φυσικές μορφές (λεκάνες απορροής, οροσειρές) και άλλες επίγειες ενότητες (εδάφη, δάση, καλλιέργειες) που ουδέποτε είχαν δει στο παρελθόν, λόγω της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνουν αυτές οι εμφανίσεις. Έτσι τέθηκαν οι βάσεις για την δημιουργία νέων διαστημικών προγραμμάτων συστηματικής και επαναλαμβανόμενης κάλυψης με εικόνες της Γης. Τα σημαντικότερα από τα προγράμματα αυτά είναι το αμερικάνικο πρόγραμμα LANDSAT και το γαλλικό

SPOT. Στη δεκαετία του '80 και αρχές της δεκαετίας του '90 ακολούθησαν δορυφορικά προγράμματα και άλλων χωρών.

2.2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της Τηλεπισκόπησης σε σχέση με άλλες μεθόδους είναι, σύμφωνα με τον Παρχαρίδη (1997)

1. Η προκαταρκτική μελέτη περιοχών οι οποίες παρουσιάζουν δυσκολία στην πρόσβαση και όπου η τηλεπισκόπηση μπορεί και δίνει την δυνατότητα μιας πρώτης πληροφόρησης για τον καλύτερο σχεδιασμό μιας μελέτης.

2. Εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος, καθώς η πληροφόρηση για μεγάλες περιοχές αποκτάται σε σύντομο χρονικό διάστημα.

3. Τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης έχουν πολύ-επιστημονικές εφαρμογές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές από τους ερευνητές έτσι ώστε ο λόγος απόδοση/κόστος να γίνεται ευνοϊκότερος.

4. Η συνοπτική εικόνα της περιοχής που μελετάται, διότι επιτρέπει τη μελέτη διαφόρων χωρικών χαρακτηριστικών, το συσχετισμό τους και την αποτύπωση ευρείας κλίμακας χαρακτηριστικών ή φαινομένων.

Υπάρχουν επίσης και άλλα πλεονεκτήματα, όπως η διάθεση ψηφιακών δεδομένων και η απόκτηση δεδομένων κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες με την χρησιμοποίηση των Radars.

2.2.5 ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

2.2.5.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ-ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Electromagnetic radiation - EMR) είναι η βασική ποσότητα ενέργειας όπου έχει την ικανότητα να παράγει έργο, και η οποία μετράται σε joules. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εκφράζεται όπως είναι γνωστό, σαν μηχανική, χημική, ηλεκτρική και θερμική.

Η μετάδοση της ενέργειας γίνεται με επαφή, μεταφορά και ακτινοβολία. Από αυτούς τους τρεις παράγοντες μόνο η ακτινοβολία είναι δυνατό να μεταδώσει ενέργεια από ένα σώμα σε ένα άλλο χωρίς την παρέμβαση ενδιάμεσου φορέα και διασχίζοντας εκατομμύρια χιλιόμετρα στο κενό διάστημα. Τη μέθοδο της μεταφοράς ενέργειας με ακτινοβολία, εκμεταλλεύεται και η Τηλεπισκόπηση, η οποία γίνεται από ένα σώμα προς τον δέκτη (κατάλληλο αισθητήριο όργανο) που λαμβάνει το σήμα.

Στην περίπτωση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας δύο μοντέλα είναι αυτά που περιγράφουν και διασαφηνίζουν τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της (Barrett & Curtis, 1992):

Το μοντέλο του κύματος: κάθε μόριο με θερμότητα πάνω από το απόλυτο μηδέν ταλαντώνεται (πάλ्लεται). Αυτή η ταλάντωση προκαλεί μια αναταραχή, κυματική στο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο που περιβάλλει το μόριο, το οποίο έτσι δρα ως πηγή ακτινοβολίας. Αυτά τα δύο πεδία είναι κάθετα μεταξύ τους (Εικόνα 1). Το κύμα ταλάντωσης ταξιδεύει από την πηγή με σταθερή ταχύτητα, την ταχύτητα του φωτός που ισούται με 3×10^9 m/ sec και συμβολίζεται με **c** , όταν το μέσο διάδοσης είναι το κενό.

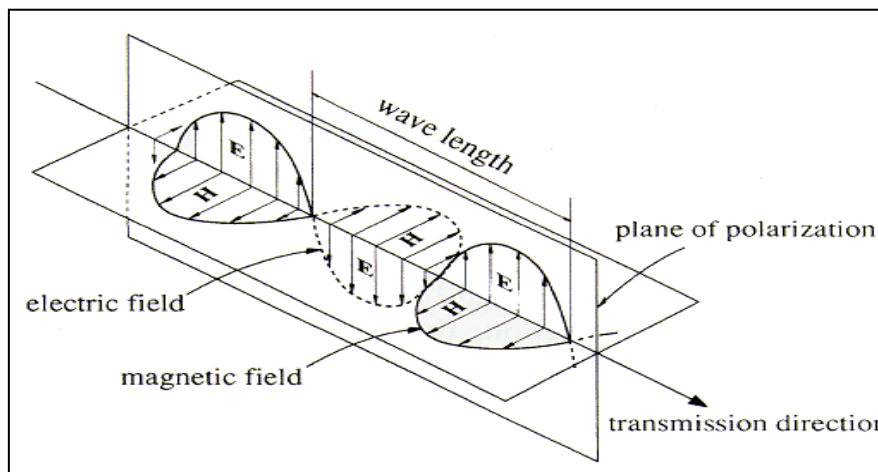
- Η απόσταση που διανύει το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου καλείται μήκος κύματος.

- Ο αριθμός των κυμάτων που περνάνε από ένα καθορισμένο σημείο σε 1 δευτερόλεπτο, καλείται συχνότητα, έτσι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από μικρή συχνότητα και αντίστροφα (Εικόνα 2).

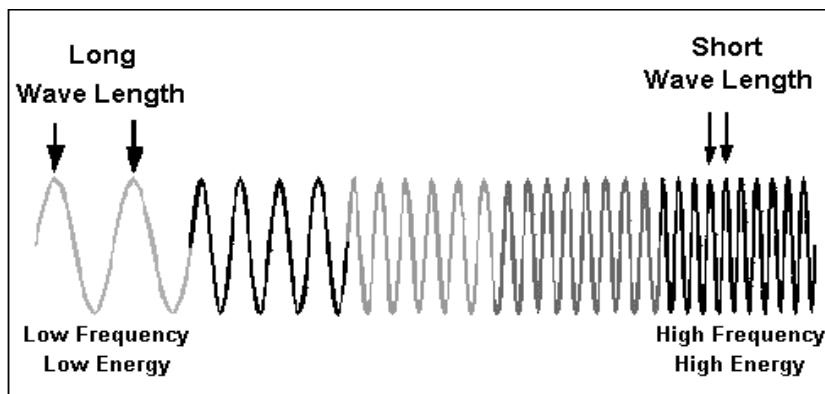
Το γινόμενο του μήκους κύματος (λ) μίας φωτεινής ακτινοβολίας επί την αντίστοιχη συχνότητά της (ν) είναι σταθερό και ισούται με την ταχύτητα του φωτός που c

$$\lambda \nu = c$$

Από τον προηγούμενο τύπο συνάγεται ότι το μήκος κύματος μιας ακτινοβολίας είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητάς της.



Εικόνα 1. Γραφική αναπαράσταση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος σε μια συγκεκριμένη στιγμή του χρόνου (CCRS, 1998)



Εικόνα 2. Γραφική αναπαράσταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος, στην οποία φαίνεται η αντίστροφη σχέση του μήκους κύματος (wavelength) με την συχνότητα (frequency) και την ενέργεια (energy) (CCRS, 1998)

Ολόκληρο το εύρος της ηλεκτρικής ακτινοβολίας αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (EMS- electromagnetic spectrum). Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διαχωρίζεται σε φασματικές ζώνες (bands) οι οποίες με την σειρά τους συγκροτούνται από μικρές ομάδες συνεχών φασματικών γραμμών. Οι φασματικές αυτές ζώνες είναι η υπεριώδης (Ultraviolet, UV), η ορατή (Visible), η υπέρυθρη (Infrared, IR) και η μικροκυματική (Microwave), από τις οποίες το ορατό καθορίζεται σαφέστερα με βάση την ανθρώπινη όραση.

Το κανάλι UV βρίσκεται μεταξύ ακτίνων X και ορατού στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, με μήκος κύματος από 0,01 έως 0,40 μm και διακρίνεται σε μακρινό (far UV, 0,01-0,20 μm), ενδιάμεσο (middle UV, 0,20-0,30 μm) και κοντινό (near UV, 0,30-0,40 μm).

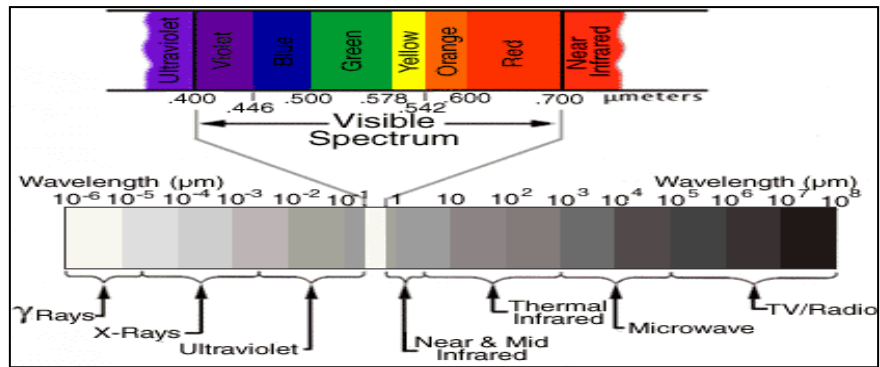
Το ορατό κανάλι ή ορατό φάσμα στην τηλεπισκόπηση, με μήκος κύματος από 0,40 έως 0,70 μm έχει όρια που καθορίζονται από την ανθρώπινη όραση. Το λευκό χρώμα του φωτός προέρχεται από ένα μείγμα έξι χρωμάτων, που είναι τα ιώδες, μπλε, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και ερυθρό. Τα βασικά όμως χρώματα του ορατού είναι το μπλε (0,40-0,50 μm), το πράσινο (0,50-0,60 μm) και το ερυθρό (0,60-0,70 μm) και από τα οποία με κατάλληλο συνδυασμό προκύπτουν όλα τα υπόλοιπα. Για παράδειγμα το κίτρινο χρώμα προέρχεται από τον συνδυασμό του κόκκινου με το πράσινο, δηλαδή απορροφά το μπλε και ανακλά τα άλλα δύο, ενώ το κυανό απορροφά το κόκκινο και ανακλά το μπλε και το πράσινο.

Το κανάλι IR κυμαίνεται από το ερυθρό του ορατού καναλιού, μέχρι τα μικροκύματα, με μήκος κύματος από 0,70 μm έως 1000 μm . Διακρίνεται σε κοντινό (near IR, 0,70-1,50 μm), ενδιάμεσο (middle IR, 1,50-5,60 μm) και μακρινό (far IR, 5,60-1000 μm). Το υπέρυθρο χωρίζεται επίσης, ανάλογα με κάποιες ιδιότητες του, σε ανακλώμενο (reflected IR, από 0,70-3,00 μm) και το θερμικό

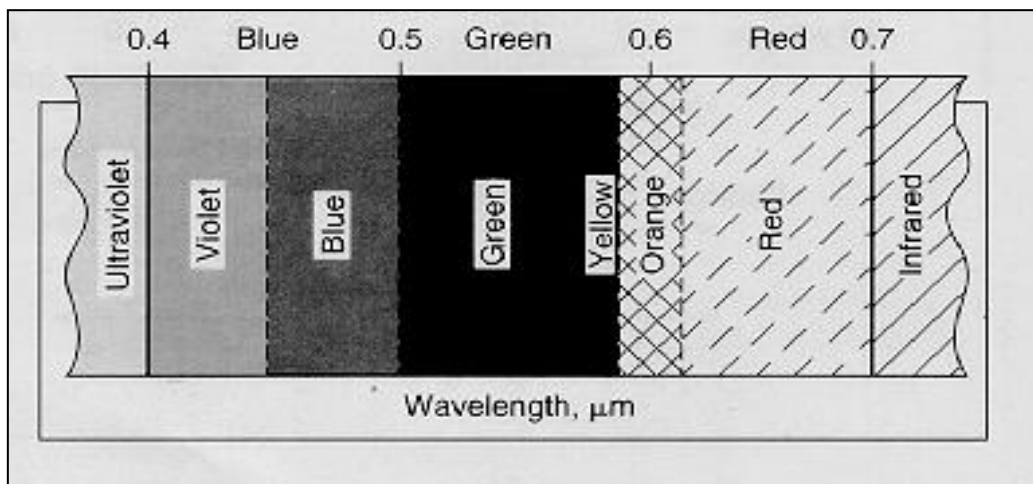
(thermal IR, από περίπου τα 3,00 έως τα 1000 μm ή 0,1 cm). Το κανάλι των μικροκυμάτων τοποθετείται μεταξύ του υπέρυθρου και των ραδιοκυμάτων, με μήκος κύματος από 0,1 cm έως 1 m. Αυτό περιλαμβάνει τα μεγαλύτερα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση. Η ακτινοβολία των μικροκυμάτων έχει την ικανότητα να διαπερνάει τα σύννεφα και τις επιφάνειες των δένδρων. Σε αυτό το κομμάτι της ακτινοβολίας, δηλαδή στο μικροκυμματικό κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος υπάρχουν παθητικοί και ενεργητικοί αισθητήρες. Στους παθητικούς αισθητήρες το όργανο καταγραφής (δέκτης) καταγράφει την ενέργεια που προέρχεται από το στόχο (αντικείμενο) τον ίδιο, ενώ στους ενεργητικούς υπάρχει η καταγραφή του σήματος που όμως παράγεται από τον ίδιο τον δορυφόρο, αποστέλλεται στον στόχο και επιστρέφοντας μετά, καταγράφεται από τους δέκτες τα ανακλώμενα στοιχεία.

2.2.5.2 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΓΗΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η σημαντικότερη πηγή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας είναι ο ήλιος όπου τροφοδοτεί τη Γη με φώς και θερμότητα, αγαθά απαραίτητα για την ζωή στον πλανήτη μας. Το μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας απαντά σε μήκη κύματος 0,48 μm στην πράσινη περιοχή του ορατού φωτός και συμπίπτει σε γενικές γραμμές με την ακτινοβολία που δίνεται από το νόμο του Planck για μέλαν σώμα (Black body)



Εικόνα 3. Κύρια περιοχή του Η/Μ φάσματος και τα κανάλια του ,με το μήκος κύματος, την συχνότητα και την ενέργεια των φωτονίων(Friberg,1968)



Εικόνα 4.Χρώματα του ορατού φάσματος που παράγονται όταν η ακτίνα του λευκού φωτός περνάει μέσα από ένα πρίσμα (Avery & Berlin, 1992)

θερμοκρασίας 6000°K . Σαν μέλαν σώμα θεώρησε μια υποθετική πηγή ενέργειας που συμπεριφέρεται με ιδεατό τρόπο, δηλαδή απορροφά όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία χωρίς να την ανακλά καθόλου και ταυτόχρονα εκπέμπει ενέργεια με την μέγιστη αποδοτικότητα. Αντίθετα η μέγιστη ακτινοβολούμενη ενέργεια της Γης, με μέση θερμοκρασία περίπου 290°K , απαντά περίπου στα 10 μm , στη θερμική ζώνη. Επομένως από μόνη της η γη είναι μια άριστη πηγή ενέργειας για δέκτες ευαίσθητους στη θερμική υπέρυθη ζώνη. Η ποιότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας καταγράφεται από τα όργανα καταγραφής και επηρεάζεται άμεσα από την ατμόσφαιρα, της οποίας η μεσολάβηση είναι εκλεκτική κατά την διέλευση της μέσω αυτής, σε διάφορα μήκη κύματος, γεγονός που σημαίνει ότι άλλα μήκη κύματος περνάνε ελεύθερα ενώ άλλα περιορίζονται αισθητά. Οι περιοχές αυτές του φάσματος που περιλαμβάνουν ειδικά μήκη κύματος τα οποία μπορούν ανεμπόδιστα να διαπεράσουν την ατμόσφαιρα καλούνται **ατμοσφαιρικά παράθυρα** (atmospheric windows) ή διερχόμενα κανάλια (transmission bands), ενώ σαν απορροφούμενα κανάλια (absorption bands) ή ατμοσφαιρικά τυφλά (atmospheric blinds) ορίζονται οι περιοχές εκείνες όπου τα μήκη κύματος δεσμεύονται μερικώς ή ολικώς.

2.2.5.3 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο φτάνει στα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας και κατόπιν λαμβάνεται από τα όργανα καταγραφής, αφού περάσει δύο φορές μέσα από την ατμόσφαιρα. Κατά το πέρασμα της αυτό υφίσταται μεταβολές από την επίδραση τόσο των αιωρούμενων μικροσωματιδίων όσο και των μορίων διαφόρων αερίων, που παίρνουν μέρος στην σύσταση της ατμόσφαιρας. Οι διάφοροι τρόποι

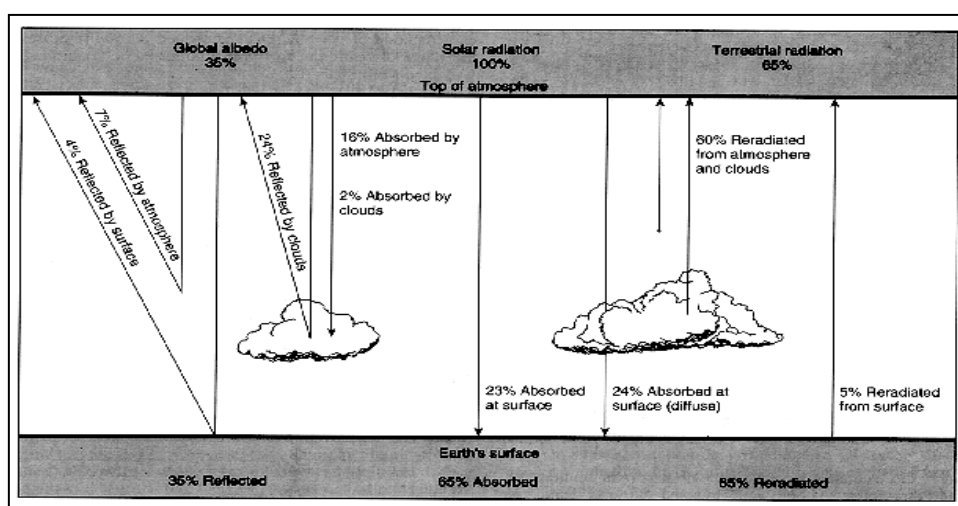
με τους οποίους αντιδρά η ηλεκτρομαγνητικά ακτινοβολία με την ατμόσφαιρα είναι:

α) να απορροφηθεί και να ακτινοβοληθεί ξανά σε μακρά μήκη κύματος, τα οποία προκαλούν την άνοδο της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας.

β) να ανακλαστεί και να διαχυθεί χωρίς καμιά μεταβολή στην ταχύτητα και στο μήκος κύματος της.

γ) να διέλθει ευθύγραμμα, σχεδόν ανεμπόδιστη.

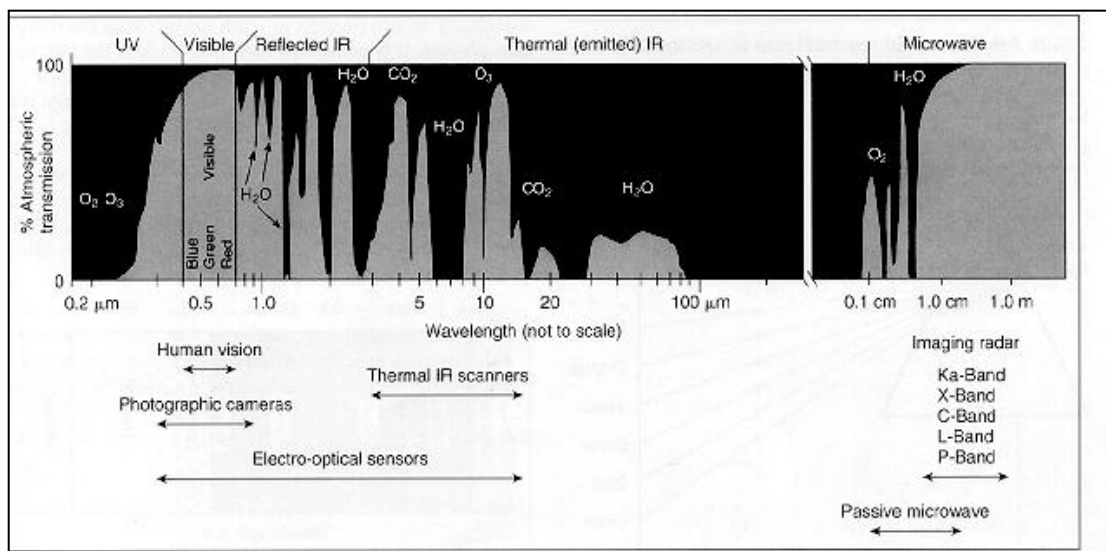
Ένας μεγάλος αριθμός αερίων της ατμόσφαιρας, τα περισσότερα απορροφητικά, όπως τα O_2 , N_2 , O_3 , CO_2 και οι υδρατμοί, είναι υπεύθυνα για την απορρόφηση σε ορισμένα μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Περίπου το 16% της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας απορροφάται κατευθείαν από τα αέρια της ατμόσφαιρας, που είναι πολύ μεγάλο ποσοστό σε σύγκριση με το 2% που απορροφάται από τα σύννεφα, τα οποία είναι οι καλύτεροι ανακλαστήρες. Τα περισσότερα ατμοσφαιρικά παράθυρα γίνονται λιγότερο διαφανή όταν η ατμόσφαιρα έχει αυξημένη υγρασία.



Εικόνα 5. Ισοζύγιο ακτινοβολίας της γης με την ατμόσφαιρα (Critchfield, 1974)

Η απορρόφηση από τα αέρια έχει ένα μέγιστο μήκος κύματος μικρότερο από 0,30 μm (υπεριώδης ακτίνες Χ και γ) και ένα ελάχιστο σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από τα 0,60 cm (μικροκύματα). Σε αντίθεση τα σύννεφα απορροφούν την περισσότερη από την μικροκυματική ακτινοβολία που προέρχεται από την γήινη επιφάνεια, οπότε με τον τρόπο αυτό κλείνουν το θερμικό υπέρυθρο παράθυρο.

Μόνο η μικροκυματική ακτινοβολία, με μήκος κύματος μεγαλύτερο από 0,90 mm, είναι δυνατόν να διαπεράσει τα σύννεφα.



Εικόνα 6.Κύριες φασματικές περιοχές που χρησιμοποιεί η τηλεπισκόπηση, με το φάσμα της ατμοσφαιρικής απορρόφησης (ατμοσφαιρικά παράθυρα και τυφλά, γκρι και μαύρα αντίστοιχα) και τις περιοχές που καλύπτουν τα συστήματα τηλεπισκόπησης (Shertz & Stevens, 1970)

Συγκεκριμένα στο ορατό ή στο κοντινό του ορατού τμήματος υπέρυθρο φάσμα, η διάχυση του φωτός από την ατμόσφαιρα είναι η κύρια αιτία μείωσης της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, ενώ σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από 18 μm, στην μικροκυματική περιοχή, δεν υπάρχει μεγάλη εξασθένηση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που να οφείλεται στην ατμόσφαιρα. Η απορρόφηση κυριαρχεί στο υπέρυθρο τμήμα (1-20 μm) όπου διάφορες απορροφητικές ζώνες, δηλαδή περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που απορροφούν πολύ, λόγω της παρουσίας διαφόρων αερίων,

υδρατμών ύδατος, διοξειδίου του άνθρακα, όζοντος και λεπτόκοκκης σκόνης. Αυτά απορροφούν την ακτινοβολία με αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα να γίνεται θολή.

2.2.5.4 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ

Μετά την αρχική διέλευση της από την ατμόσφαιρα η ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια με την οποία αντιδρά επίσης με ανάκλαση, διάχυση, απορρόφηση ή και με διαπέραση σε περίπτωση μιας αρκετά λεπτής επιφάνειας. Κάθε φυσικό ή τεχνητό αντικείμενο της γήινης επιφάνειας, βομβαρδίζεται από τον ήλιο με ακτινοβολία, που καταλαμβάνει ένα πολύ μεγάλο μέρος του φάσματος και έπειτα την ανακλά, την διαχέει ή την απορροφά.

- Σαν ανάκλαση ορίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η ακτινοβολία κάνει "γκελ" πάνω στην επιφάνεια του εδάφους ή ενός αντικειμένου και φεύγει από αυτή αναλλοίωτη και με γωνία ίση και αντίθετη από αυτή που έχει όταν φτάνει στο αντικείμενο, και εξαρτάται:

α) από την κατεύθυνση της ακτινοβολίας

β) από την ένταση της ακτινοβολίας

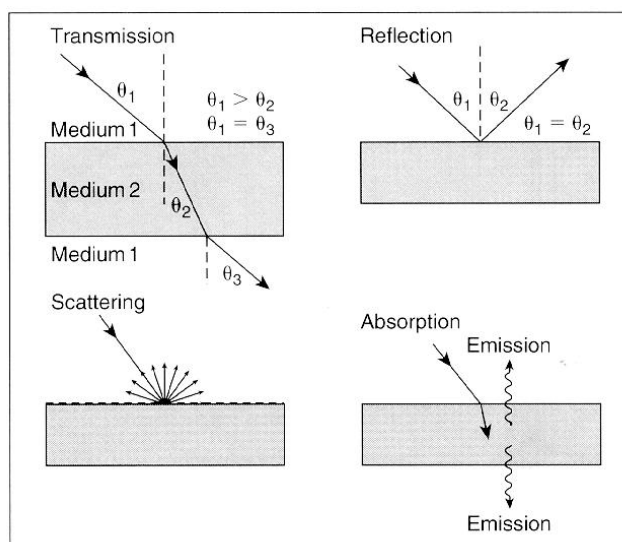
γ) το μήκος κύματος και την συχνότητα της ακτινοβολίας που λαμβάνεται από τα αντικείμενα στη βάση της ατμόσφαιρας

δ) την φασματική εξάπλωση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας

- Σαν απορρόφηση εκφράζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η ακτινοβολία δεσμεύεται από το αντικείμενο και έπειτα επανεκπέμπεται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος του θερμικού υπέρυθρου.

- Σαν διάχυση ορίζεται η διάδοση της ακτινοβολίας που πέφτει στο αντικείμενο σε διάφορες κατευθύνσεις συμπεριλαμβανομένου και της αρχικής κατεύθυνσής της. Στη φύση η διάχυση είναι πιο συνήθης από ότι η ανάκλαση. Η μετάδοση γίνεται όταν η ακτινοβολία διαπερνάει ένα αντικείμενο χωρίς να αλλάζει η συχνότητά του.

Εάν η ακτινοβολία περνάει από ένα μέσο σε ένα άλλο με διαφορετική πυκνότητα τότε αλλάζει η ταχύτητα και το μήκος κύματος, με ταυτόχρονη μεταβολή της γωνίας εισόδου της ακτινοβολίας.

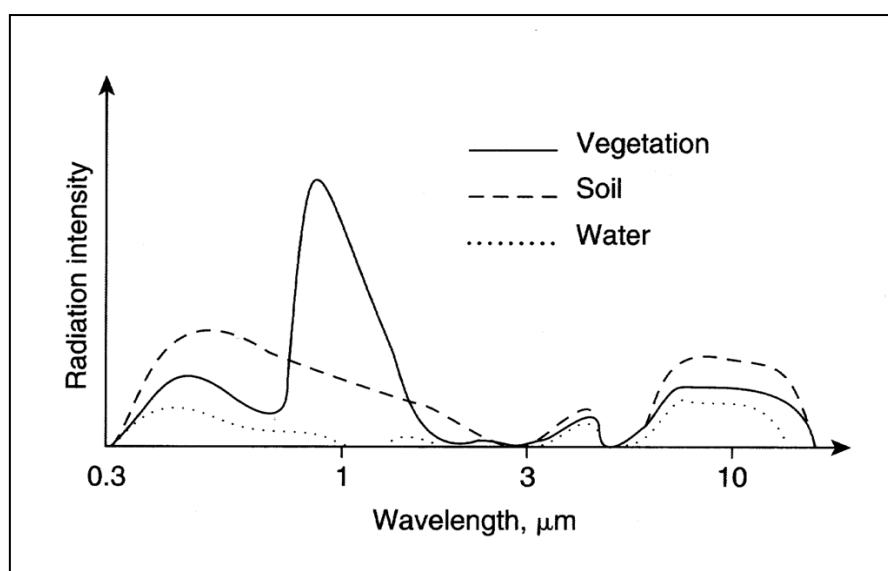


Εικόνα 7. Οι τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις τις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας (Avery & Berlin, 1992)

Τα φυσικά χαρακτηριστικά του κάθε αντικειμένου δείχνουν το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται και αποδίδεται, σε διάφορα μήκη κύματος, με τον δικό του χαρακτηριστικό τρόπο, ανάλογα με την σύσταση του και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται. Δηλαδή, το ποσόν και η φασματική κατανομή της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ενέργειας από ένα αντικείμενο χρησιμοποιείται σαν μέσο αναγνώρισης του αντικειμένου αυτού. Η ιδιότητα αυτή αναφέρεται σαν η **φασματική ταυτότητα** (spectral

signature) ή **φασματική απόκριση** (spectral response) του αντικειμένου και καταγράφεται κατάλληλα από διάφορους δέκτες (sensors), διαφόρων δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά παρατήρησης της Γης, (Mather 1991, Sabins 1997, Campbell 1996).

Κατ' αυτόν τον τρόπο, καταγράφεται και αναλύεται η ανακλαστική συμπεριφορά και η εκπομπή ενέργειας των διαφόρων αντικειμένων της επιφάνειας της Γης, ώστε να διευκολυνθεί η εκλογή των κατάλληλων δεκτών και φασματικών ζωνών που θα βοηθήσουν καλύτερα στον εντοπισμό των αντικειμένων, και των ιδιοτήτων τους, που μας ενδιαφέρουν.



Εικόνα 8.Τυπικές καμπύλες φασματικής απόκρισης για τρία υλικά της γήινης επιφάνειας (σχεδιασμός από τη NASA)

Εκτός από τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις, όπως απορρόφηση, ανάκλαση και διάχυση, που διαμορφώνουν την πληροφορία, που συλλέγεται με μεθόδους τηλεπισκόπησης, άλλος παράγοντας που επιδρά στην ποιότητα του φάσματος είναι η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία εξαρτάται από το ύψος του Ηλίου (sun elevation).

2.2.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της Τηλεπισκόπησης με χρήση εικόνων, όπου χρησιμοποιούνται φασματικές ζώνες στο ορατό υπέρυθρο και μικροκυματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, περιγράφονται με τους όρους **χωρική** (spatial), **φασματική** (spectral) και **ραδιομετρική** (radiometric) διακριτική ικανότητα.

- Σύμφωνα με τον Mather (1991) η χωρική ανάλυση ενός συστήματος καταγραφής δεν είναι εύκολη έννοια να ορισθεί. Μπορεί δε, να μετρηθεί με ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών τρόπων, εξαρτημένων από τους σκοπούς των ενδιαφερομένων.

Ο Townshead (1980) χρησιμοποιεί τέσσερα διαφορετικά κριτήρια για να ορίσει την χωρική ανάλυση. Αυτά είναι οι γεωμετρικές ιδιότητες του συστήματος εικόνας, η δυνατότητα διάκρισης των αντικειμένων που αποτελούν τους ερευνητικούς στόχους, η δυνατότητα να μετρηθούν οι φασματικές τους ιδιότητες καθώς και η μέτρηση της περιοδικότητας των επαναλαμβανόμενων στόχων (σχήμα 9.).

Ο Αστάρης (1994) αναφέρει σαν χωρική διακριτική ικανότητα μιας εικόνας ή φωτογραφίας, την ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο αντικειμένων στην οποία οι εικόνες αυτών των δύο αντικειμένων φαίνονται χωριστά και καθαρά. Αντικείμενα που βρίσκονται σε πλησιέστερη απόσταση από αυτήν θα φαίνονται στην εικόνα ως ένα αντικείμενο. Η χωρική διακριτική ικανότητα εξαρτάται από την αντίθεση (κοντράστ) των αντικειμένων της εικόνας. Σαν αντίθεση ορίζεται ο λόγος μεταξύ της διαφοροποίησης στην φωτεινότητα μεταξύ ενός αντικειμένου και των υπολοίπων που βρίσκονται γύρω του και του αθροίσματος των δύο αυτών φωτεινοτήτων, εκφραζόμενο επί της εκατό ή σύμφωνα με τον Campell (1987)

ορίζεται σαν η διαφοροποίηση της φωτεινότητας ενός αντικειμένου και του φόντου που υπάρχει γύρω του.

Η αντίθεση (contrast) εξαρτάται από:

1. το σχήμα των αντικειμένων ή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του
2. το λόγο του προσανατολισμού (όψη) (aspect ratio) του μήκους σε σχέση με το πλάτος
3. τον αριθμό των αντικειμένων σε μία περιοχή
4. το "άπλωμα" (βαθμός που εκτείνεται) και η ομοιομορφία του γύρω χώρου

Στις δορυφορικές ψηφιακές εικόνες που προήλθαν από τους σαρωτές ή τις TV-cameras η χωρική διακριτική ικανότητα ταυτίζεται με το "στοιχείο της εικόνας" (pixel) που είναι η "στοιχειώδης επιφάνεια" της Γης που καταγράφεται από τους δέκτες. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος μέτρησης της χωρικής διακριτικής ικανότητας, που στηρίζεται στις γεωμετρικές ιδιότητες του συστήματος είναι το IFOV (Instantaneous Field of View) του αισθητήρα. Το IFOV ορίζεται ως η περιοχή στην επιφάνεια της Γης που ανιχνεύεται από ανάλογο όργανο για ένα συγκεκριμένο ύψος, σε μία δεδομένη στιγμή (Mather, 1991), και εξαρτάται επίσης από την ταχύτητα της κίνησης σάρωσης και την κίνηση του οχήματος μεταφοράς του συστήματος.

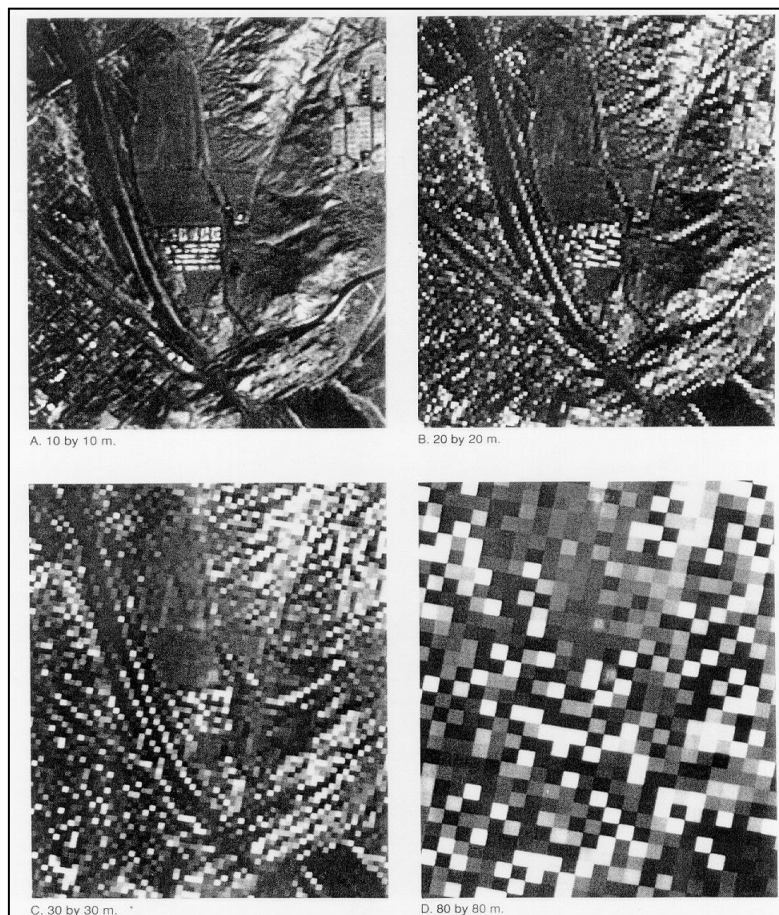
- Η δεύτερη σημαντική ιδιότητα ενός οπτικού συστήματος εικόνας είναι η φασματική του διακριτική ικανότητα.

Η φασματική διακριτική ικανότητα είναι σημαντική, πράγμα που φαίνεται καθαρά από δύο σημεία:

1. από τη θέση στο φάσμα, το εύρος και ο αριθμός των φασματικών καναλιών μπορεί να καθορίζει τον βαθμό των διαφόρων στόχων στις πολυφασματικές εικόνες.

2. από τη χρήση των πολυφασματικών εικόνων μπορεί να επιφέρει πολύ καλά αποτελέσματα διακριτικής ικανότητας σε σχέση με οποιαδήποτε μεμονωμένη μπάντα.

Όμως η αύξηση της φασματικής ανάλυσης δεν μπορεί να αυξηθεί απεριόριστα χωρίς να πληρωθεί κάποιο τίμημα. Έτσι, η αύξηση της φασματικής ανάλυσης στα τεχνολογικώς προηγμένα συστήματα δορυφόρων επιδρά αρνητικά στα προϊόντα, όπως για παράδειγμα μείωση του λόγου S/N (S= σήμα, N= θόρυβος- signal to ratio).



Εικόνα 9.Εικόνες που παρουσιάζονται με διαφορετικό pixel εδαφικής ανάλυσης. Η χωρική ανάλυση καθορίζεται από το μέγεθος του pixel. Η περιοχή είναι ένα κομμάτι της πόλης Victorville στη νότια Καλιφόρνια (Sabins, 1997)

Τα συστήματα pushbroom ("πέρασμα σκούπας") δίνουν καλύτερα αποτελέσματα στον λόγο S/N για υψηλής φασματικής ικανότητας προϊόντα, σε σχέση με τους μηχανικούς σαρωτές.

- Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στον αριθμό των ψηφιακών επιπέδων που χρησιμοποιούνται για να εκφραστούν τα δεδομένα ενός αισθητήρα. Γενικά, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των επιπέδων, τόσο μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα θα έχουμε. Για παράδειγμα, μία εικόνα που αποτελείται από δύο ψηφιακά επίπεδα, το επίπεδο 0 (μηδέν) θα εμφανίζεται ως μαύρο και το επίπεδο 1 (ένα) ως λευκό. Εάν αυξηθούν τα επίπεδα θα εμφανιστούν στην εικόνα διάφορες διαβαθμίσεις του γκρι, επομένως θα έχουμε μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα των στόχων. Για παράδειγμα ο Tucker (1979) ανακάλυψε την σχέση μεταξύ της ραδιομετρικής ικανότητας και της ικανότητας να διακρίνει μεταξύ των διαφόρων ειδών βλάστησης και βρήκε μία βελτίωση 2-3% όταν χρησιμοποίησε 256 επίπεδα (8 bits) από ότι όταν χρησιμοποίησε 64 επίπεδα (6 bits).

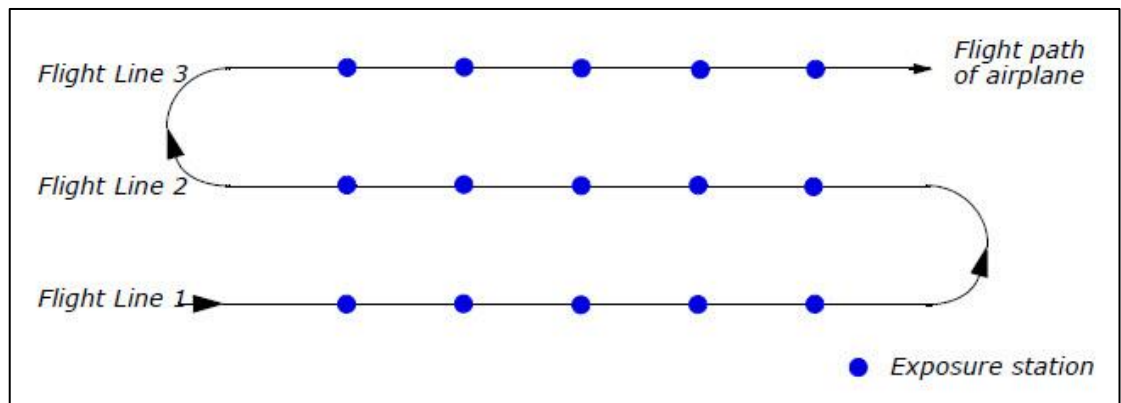
2.2.7 ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

2.2.7.1 ΓΕΝΙΚΑ

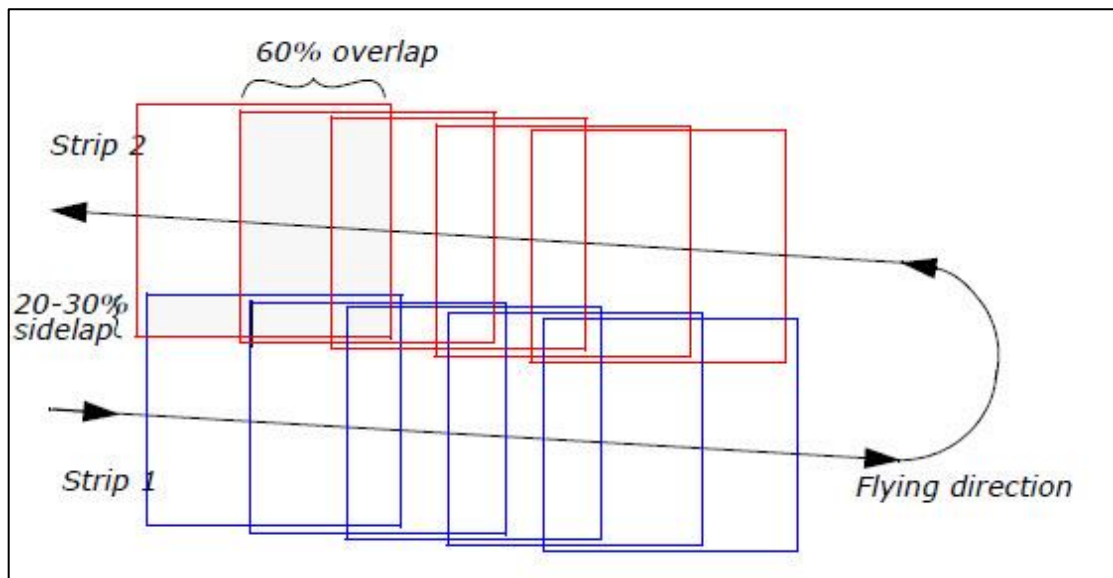
Η αεροφωτογραφία είναι η πιο κοινή, ευέλικτη και οικονομική μορφή τηλεπισκόπησης. Επίσης είναι και ιστορικά η αρχαιότερη, με την πρώτη αεροφωτογράφιση να εκτελείται το 1858 στην πόλη Bienre της Γαλλίας από τον Gaspard Felix Tournachon, γνωστότερος ως "Nadar". Σε αυτή την πρώτη προσπάθεια δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιο αεροσκάφος, μια που η εφεύρεση του θα καθυστερούσε για 50 χρόνια ακόμη περίπου, αλλά ένα μπαλόνι με προσδεμένη σε αυτό κάμερα.

Ο τρόπος εκτέλεσης μιας αεροφωτογράφισης είναι σχετικά γνωστός. Μια φωτογραφική κάμερα, γνωστή και ως αερομηχανή ή φωτομηχανή, τοποθετείται σε κάποιο αεροσκάφος, συνήθως αεροπλάνο. Το αεροπλάνο εκτελεί στο επιθυμητό ύψος πτήση πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος σε καθορισμένο δρομολόγιο, έτσι

ώστε να την καλύπτει πλήρως. Σε όλη την διάρκεια της πτήσης η κάμερα παίρνει συνεχώς διαδοχικές φωτογραφίες του εδάφους. Αυτές οι αεροφωτογραφίες εκτυπώνονται και οι σχετικοί επιστήμονες είναι σε θέση να εξαγάγουν πληροφορίες από αυτές, τόσο ποιοτικής φύσεως(φωτοερμηνεία) όσο και ποσοτικής (φωτογραμμετρία).



Εικόνα 10. Τυπικό δρομολόγιο αεροφωτογράφισης (ERDAS Field Guide)



Εικόνα 11. Λεπτομέρεια του δρομολογίου. Διακρίνονται οι επικαλύψεις μεταξύ των διαδοχικών Α/Φ(ERDAS Field Guide)

2.2.7.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΗΣ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ

Οι αεροφωτογραφίες ήταν για αρκετά χρόνια και συνεχίζουν να είναι και στις μέρες μας ο πιο αποδοτικός τρόπος εξαγωγής πληροφοριών στις Γεωεπιστήμες. Επιστήμες όπως η Τοπογραφία, η Γεωλογία, η Δασολογία και η Γεωπονία αναπτύχθηκαν με αλματώδεις ρυθμούς όταν εισήγαγαν την αεροφωτογράφιση στις τεχνικές παρατήρησης που διέθετε η κάθε μία. Αυτό οφείλεται σε κάποια αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα της αεροφωτογράφισης σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Αυτά είναι (Lillesand&Kiefer,1987)

1. Η πλεονεκτική θέση παρατήρησης

Η αεροφωτογραφία μας δίνει την δυνατότητα να παρατηρούμε μεγάλες περιοχές από πάνω. Έτσι τα στοιχεία του εδάφους που μας ενδιαφέρουν δεν διαχωρίζονται από το χωρικό πλαίσιο αναφοράς. Για παράδειγμα, εάν η περιοχή ενδιαφέροντος είναι μια πεδινή αγροτική έκταση, σε μια αεροφωτογραφία έκτος από αυτή μπορούμε να αποτυπώσουμε συγχρόνως και τους γύρω οικισμούς, τους ορεινούς όγκους, το υδρογραφικό δίκτυο και το οδικό δίκτυο. Έχουμε, οπότε, την δυνατότητα να βλέπουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα της ευρύτερης περιοχής, πράγμα αδύνατο να συμβεί με επιτόπιες επισκέψεις. Επίσης, όπως φαίνεται στο παραπάνω παράδειγμα, σε μια αεροφωτογραφία περιέχονται πολλές πληροφορίες και ο επιστήμονας κάθε συναφούς επιστημονικού πεδίου μπορεί να εξάγει χρήσιμα συμπεράσματα.

2. Δυνατότητα παρατήρησης κάθε σταδίου εξέλιξης ενός δυναμικού φαινομένου.

Φαινόμενα όπως πυρκαγιές, πλημύρες, πετρελαιοκηλίδες είναι δυναμικής φύσεως και εξελίσσονται στο χρόνο. Το ανθρώπινο

μάτι αδυνατεί να παρατηρήσει κάθε στάδιο απομονωμένο από τα υπόλοιπα. Με τις αεροφωτογραφίες μπορούμε να κάνουμε τέτοιου είδους παρατηρήσεις, ενώ με συνδυασμό μιας σειράς αεροφωτογραφιών είναι δυνατή η παρατήρηση της εξέλιξης του φαινομένου.

3.Μόνιμη καταγραφή

Η αεροφωτογραφία είναι μέσο μόνιμης καταγραφής της εικόνας που παρουσιάζει η περιοχή μελέτης μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Συνεπώς, η επεξεργασία των δεδομένων και η εξαγωγή συμπερασμάτων μπορεί να γίνει σε κάποια άλλη χρονική στιγμή και από ένα μεγάλο αριθμό ειδικών επιστημόνων.

4.Διευρυμένη φασματική ευαισθησία

Το φωτογραφικό φιλμ είναι ευαίσθητο σε διπλάσιο εύρος συχνοτήτων Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε σχέση με το ανθρώπινο μάτι. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι η υπεριώδης(UV) και η υπέρυθρη(IR) ακτινοβολία, οι οποίες καταγράφονται σε ειδικά φιλμ. Κατά συνέπεια, ο παρατηρητής είναι σε θέση να «βλέπει» αόρατα, στο μάτι, φαινόμενα.

5.Αυξημένη χωρική και γεωμετρική ακρίβεια

Με την επιλογή κατάλληλης κάμερας, φιλμ και με τις κατάλληλες παραμέτρους πτήσης είναι εφικτό να παρατηρηθούν χωρικές λεπτομέρειες και να μετρηθούν ,με τα σωστά επιλεγμένα σημεία αναφοράς, ακριβείς αποστάσεις και θέσεις σημείων ενδιαφέροντος.

2.2.7.3 ΑΡΧΕΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

Θα γίνει μια παρουσίαση των βασικών αρχών, υλικών και μεθόδων της συμβατικής αεροφωτογράφισης.

Το φιλμ

Για λόγους απλότητας θα γίνει αναφορά στο ασπρόμαυρο φιλμ. Αυτό αποτελείται από μια πλαστική βάση. Πάνω σε αυτή βρίσκεται ένα γαλάκτωμα φωτοευαίσθητης ουσίας, συνήθως άλατα του αργύρου με κάποιο αλογόνο. Όταν τα άλατα αργύρου εκτίθενται στο φως, υφίστανται μια φωτοχημική αντίδραση, η οποία προκαλεί τον σχηματισμό μιας αόρατης εικόνας. Στην φάση της ανάπτυξης του φιλμ (εμφάνιση), το φιλμ εμβαπτίζεται σε ένα διάλυμα, τα άλατα αργύρου που έχουν αντιδράσει μετατρέπονται σε κόκκους αργύρου, οι οποίοι είναι μαύροι και σχηματίζεται μια ορατή εικόνα. Οι περιοχές του φιλμ που εκτέθηκαν στο φως εμφανίζονται ως τόνοι του γκρι, ανάλογα με το ποσό του φωτός (ενέργεια σε μορφή φωτονίων) που δέχτηκαν.

Η έκθεση στο φως εξαρτάται από την φωτεινότητα της σκηνής. Πράγματι, είναι προφανές ότι όσο πιο περισσότερη ηλιοφάνεια υπάρχει την στιγμή της αεροφωτογράφισης, τόσο περισσότερη ενέργεια, μέσω της ανάκλασης του φωτός στην γήινη επιφάνεια, είναι διαθέσιμη να ερεθίσει το φωτοευαίσθητο φιλμ. Επίσης η διάμετρος του φακού επηρεάζει την έκθεση στο φως. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος, τόσο περισσότερο φως εισέρχεται. Ο χρόνος έκθεσης έχει να κάνει με το πόσο χρόνο είναι ανοικτό το διάφραγμα της κάμερας. Όσο περισσότερο μένει ανοικτό το διάφραγμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η έκθεση. Τέλος, το εστιακό μήκος, δηλαδή η απόσταση από τον φακό έως το επίπεδο του φιλμ, επηρεάζει την έκθεση.

Προφανώς, χρήσιμες αεροφωτογραφίες για την οποιανδήποτε ανάλυση είναι οι καθαρές αεροφωτογραφίες με σωστή έκθεση. Αυτό απαιτεί σωστή εστίαση της κάμερας. Η εστίαση της κάμερας εξαρτάται από το εστιακό μήκος f , την απόσταση του αντικειμένου από τον φακό και την απόσταση του επιπέδου στο οποίο βρίσκεται το αντικείμενο από τον φακό.

2.2.8 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ

Με τον γενικό όρο «εξωτερικές επιδράσεις» εννοούμε μια σειρά παραγόντων εκτός του συστήματος κάμερα-φιλμ, οι οποίοι επηρεάζουν την έκθεση του φιλμ στο φως και κατά συνέπεια την ποιότητα των αεροφωτογραφιών. Οι εξωτερικές επιδράσεις μπορούν να έχουν αιτία γεωμετρικούς και ατμοσφαιρικούς παράγοντες.

2.2.8.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

1. Υποβάθμιση της έκθεσης (exposure fall-off)

Οι αεροφωτογραφίες είναι ουσιαστικά μια απεικόνιση της διαφοράς φωτεινότητας στα διάφορα σημεία της περιοχής που φωτογραφίζεται. Λόγω της υποβάθμισης της έκθεσης, μια σκηνή με αντανάκλαση φωτός χωρικά ισοκατανεμημένη, δεν απεικονίζεται ως αεροφωτογραφία με ισοκατανεμημένη έκθεση. Αντίθετα, αυτό που παρατηρείται είναι μέγιστη έκθεση στο κέντρο του φιλμ, η οποία μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από αυτό προς όλες τα κατευθύνσεις. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στο ότι, μια ακτίνα φωτός διέρχεται από το κέντρο του διαφράγματος. Τότε η έκθεση E_0 είναι ανάλογη του εμβαδού A του διαφράγματος. Εάν μια ακτίνα διέρθει από το διάφραγμα υπό γωνία θ , τότε η απόσταση που διανύει μέχρι το φιλμ δεν είναι πλέον το εστιακό μήκος f αλλά η απόσταση $f_\theta = f/\cos\theta$ που είναι μεγαλύτερη από την απόσταση f . Τότε η έκθεση,

λόγω του ότι εξαρτάται από το συνημίτονο της γωνίας θ , είναι μειωμένη σε σχέση με την E_0 .

2. Θέση Αντικείμενου

Επίσης σημαντικός γεωμετρικός παράγοντας που αφορά στην έκθεση είναι η θέση σημείου ενδιαφέροντος στην σκηνή σε σχέση με την θέση της κάμερας και του Ήλιου. Λόγω του ύψους στο οποίο βρίσκεται ο Ήλιος, του αζιμούθιου και της γωνίας θέασης της κάμερας, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν πολλές σκιές στην αεροφωτογραφία.

2.2.8.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

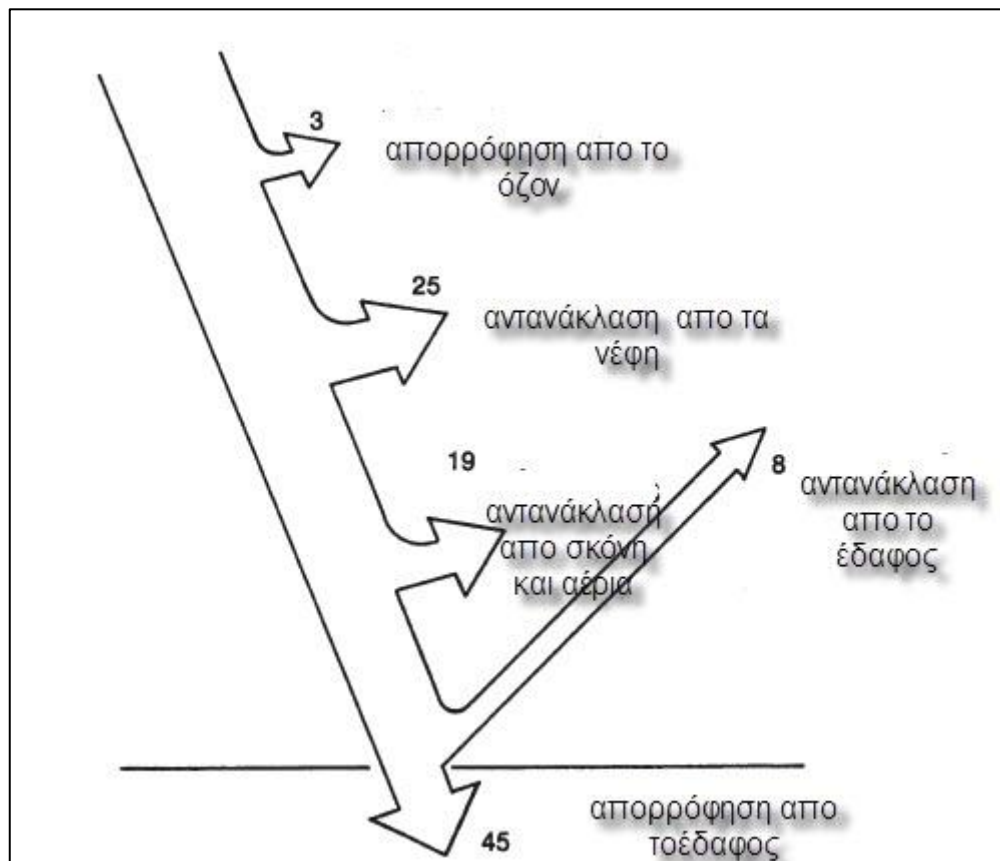
Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο φτάνει στα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας και κατόπιν λαμβάνεται από την κάμερα, αφού περάσει δύο φορές μέσα από την ατμόσφαιρα. Κατά το πέρασμα της αυτό υφίσταται μεταβολές από την επίδραση τόσο των αιωρούμενων μικροσωματιδίων όσο και των μορίων διαφόρων αερίων, που παίρνουν μέρος στην σύσταση της ατμόσφαιρας. Οι διάφοροι τρόποι με τους οποίους αντιδρά η ηλεκτρομαγνητικά ακτινοβολία με την ατμόσφαιρα είναι:

α) να απορροφηθεί και να ακτινοβοληθεί ξανά σε μακρά μήκη κύματος, τα οποία προκαλούν την άνοδο της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας.

β) να ανακλαστεί και να διαχυθεί χωρίς καμιά μεταβολή στην ταχύτητα και στο μήκος κύματος της.

γ) να διέλθει ευθύγραμμα, σχεδόν ανεμπόδιστη.

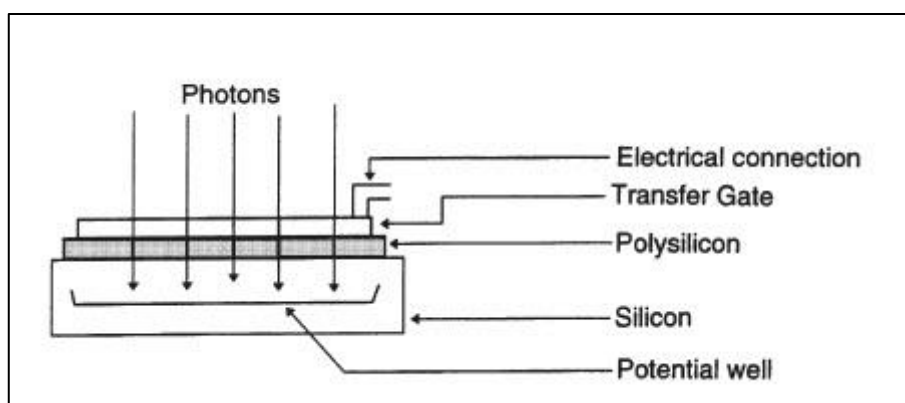
Συμπερασματικά προκύπτει ότι η ατμόσφαιρα επηρεάζει την φωτεινότητα της περιοχής που αεροφωτογραφίζεται αρνητικά, καθώς μειώνεται η ποσότητα φωτός που πέφτει στο έδαφος. Μειωμένη φωτεινότητα σημαίνει μικρότερη έκθεση του φιλμ και τελικά η αεροφωτογραφία περιέχει λιγότερη πληροφορία. Επιπλέον, το ποσό του φωτός που προέρχεται από την σκέδαση των ακτίνων του Ηλίου δίνει εσφαλμένες πληροφορίες, ειδικά από την στιγμή που αυτό το ποσό φωτός δεν αντανάκλαται από την επιφάνεια της γης.



Εικόνα 12. Αλληλεπίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα και το έδαφος. (προσαρμογή από Campbell & Wynne, 2011)

2.2.9 ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

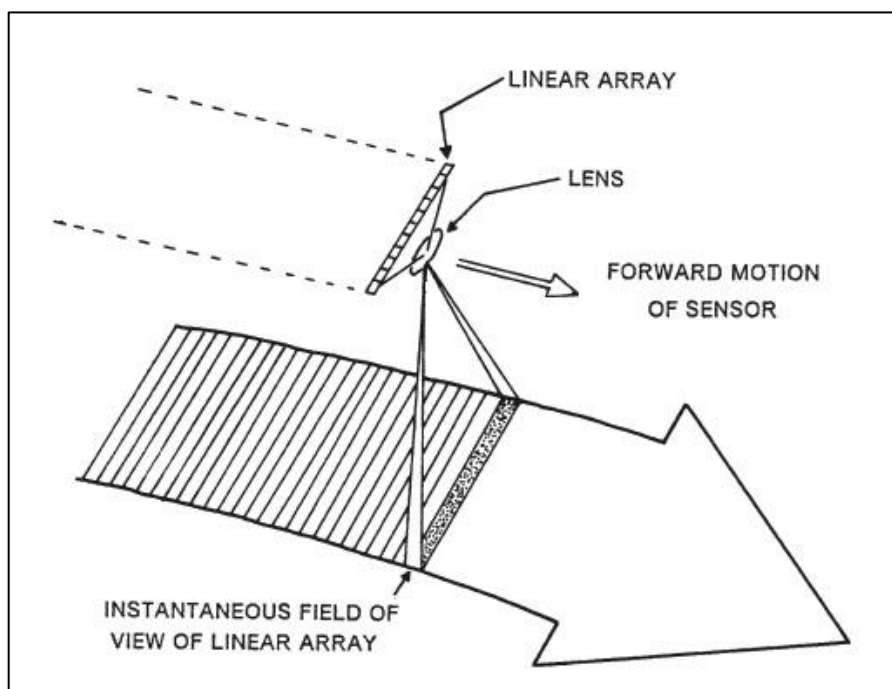
Η ψηφιακή αεροφωτογραφία ακολουθεί τις αρχές της κλασσικής αεροφωτογραφίας με μια σημαντική διαφορά. Δεν χρησιμοποιείται πλέον φιλμ αλλά μικροηλεκτρονικές διατάξεις CCD (charged-coupled devices). Το CCD είναι ένα chip, το οποίο έχει την ιδιότητα να είναι ανιχνευτής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, δηλαδή φωτός.



Εικόνα 13.Charged Coupled Device (Campbell & Wynne,2011)

Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσκρούσει πάνω σε αυτόν τον ανιχνευτή, προκαλεί ηλεκτρικό φορτίο, το οποίο είναι ανάλογο με το πόση ενέργεια μετέφερε η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και, κατά συνέπεια, ανάλογο με την φωτεινότητα της σκηνής. Κάθε ένας ανιχνευτής CCD, εντοπίζει ακτινοβολία που προέρχεται από ένα pixel της εικόνας. Αν θέλουμε μια αεροφωτογραφία 10 Mpixel, απαιτούνται 10×10^6 ανιχνευτές CCD.

Τελικά οι αεροφωτογραφίες αποθηκεύονται σε μαγνητικά μέσα.



Εικόνα 14. Τρόπος λήψης ψηφιακής αεροφωτογραφίας (Campbell & Wynne, 2011)

2.3 ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι συστήματα αυτόματης γεωγραφικής επεξεργασίας που περιγράφουν αντικείμενα του πραγματικού κόσμου σε σχέση με:

1. Την θέση τους ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων
2. Παραμέτρους που δεν έχουν σχέση με την γεωγραφική τους θέση
3. Τους τοπολογικούς συνδέσμους που έχουν με άλλα αντικείμενα

Τα Σ.Γ.Π είναι μια τεχνολογία που έχει επιστημονικό αλλά και πρακτικό υπόβαθρο. Πολλοί ορισμοί για τα Σ.Γ.Π έχουν προταθεί κανείς όμως δεν είναι απολύτως ικανοποιητικός. Πολύ απλά, ένα

Σ.Γ.Π μπορεί να θεωρηθεί σαν μια αποθήκη ψηφιακών χαρτών (Κόλλια,2000). Άλλος ορισμός είναι ότι το Σ.Γ.Π είναι εργαλείο Η/Υ για την λύση γεωγραφικών προβλημάτων και την επεξεργασία χωρικών δεδομένων ή είναι συστήματα λογισμικού που συνδέουν την θέση των αντικειμένων με πληροφορίες για το είδος τους. Ένας πιο πλήρης ορισμός είναι ότι τα Σ.Γ.Π είναι συστήματα για την συλλογή, την αποθήκευση, την ανάκτηση με όποιο τρόπο χρειάζεται, την επεξεργασία και την αποτύπωση των γεωγραφικών δεδομένων για κάποιο σκοπό.

Τα Σ.Γ.Π είναι κάτι παραπάνω από εργαλεία για τις παραπάνω διαδικασίες. Είναι εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την οργάνωση και την παράσταση χωρικών πληροφοριών και την ανάλυση των χωρικών επιδράσεων εναλλακτικών αποφάσεων. Είναι εργαλεία για την μελέτη του περιβάλλοντος, εργαλεία για την μελέτη των δυνατών αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από κάποιο συγκεκριμένο σχεδιασμό. Δηλαδή χρησιμοποιούνται όπως οι προσομοιωτές (simulators) των αεροπορικών πτήσεων για να αποφευχθούν τα λάθη ορισμένων ενεργειών πριν εφαρμοστούν στην γη (σχεδιασμός χρήσεων γης, αξιολόγηση καλλιεργειών, εγγειοβελτιωτικά έργα).

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι ένα συνεχώς αναπτυσσόμενο επιστημονικό πεδίο που βρίσκεται στην τομή πολλών επιστημών όπως της τοπογραφίας, της γεωγραφίας, των ηλεκτρονικών υπολογιστών, της φωτογραμμετρίας, της τηλεπισκόπησης, της γεωστατιστικής και άλλων που αφορούν τον χειρισμό και την ανάλυση των χωρικών δεδομένων.

2.3.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΓΣΠ-ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Ένας σταθμός Σ.Γ.Π μπορεί να προσφέρει τις εξής δυνατότητες:

- 1.Την εισαγωγή δεδομένων, όπως αναλογικούς χάρτες και επίθεση πληροφοριών καθώς και την ταξινόμηση των πληροφοριών, ψηφιακών δεδομένων εικόνας.
- 2.Την αποθήκευση και υποστήριξη πληροφοριών με τις απαραίτητες χωρικές σχέσεις.
- 3.Την διαχείριση δεδομένων (όπως έρευνα και ανάκτηση πληροφοριών, υπολογισμούς κλπ.) με έγκαιρο τρόπο.
- 4.Την παρουσίαση δεδομένων εξαγωγής με μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών τρόπων, όπως την ταξινόμηση σε πίνακες, την παρουσίαση σε video και την δημιουργία χαρτών από ειδικά πακέτα επεξεργασίας.
- 5.Την επεξεργασία κάποιων επιπέδων μοντέλων, υπολογίζοντας τα δεδομένα εισαγωγής και δίνοντας παράλληλα δεδομένα εξόδου ανάλογα με την επεξεργασία των κατάλληλων παραγόντων και στοιχείων των δεδομένων.

Ένα ιδανικό σύστημα πληροφοριών θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να εξυπηρετεί τους χρήστες, ενώ επιπλέον θα πρέπει να είναι ικανό να μπορεί να δέχεται και τα συνεχώς ανανεωμένα δεδομένα που δημιουργούνται καθημερινά. Για αυτό είναι απαραίτητο να υποστηρίζεται από ένα εξελιγμένο, υψηλής ταχύτητας Η/Υ, ένα ισχυρό πακέτο επεξεργασίας και ένα ευέλικτο και πλήρες σύστημα περιφερειακών εισαγωγής και εξαγωγής δεδομένων.

Τα δεδομένα εισαγωγής σε ένα Σ.Γ.Π. μπορούν να λάβουν διάφορες μορφές, όπως:

1. τιμές (values) για ένα σύνολο από σημεία (υψομέτρου, βαρύτητας, γωνίες κλίσεων και κατεύθυνσης).
2. συνεχή καταγραφή κατά μήκος μίας γραμμής (σεισμικά προφίλ, γεωφυσικά δεδομένα).
3. περιοχές (areas) εκλεγμένες σαν ομογενείς κατηγορίες (λιθολογικοί χάρτες, χάρτες βλάστησης).
4. γραμμές που εκφράζουν εδαφικά χαρακτηριστικά (ρήγματα, δρόμοι, ιδιοκτησιακά όρια)
5. συνεχείς ή ημισυνεχείς εικόνες με χρωματική διαβάθμιση του γκρι ή ακόμα και έγχρωμες.

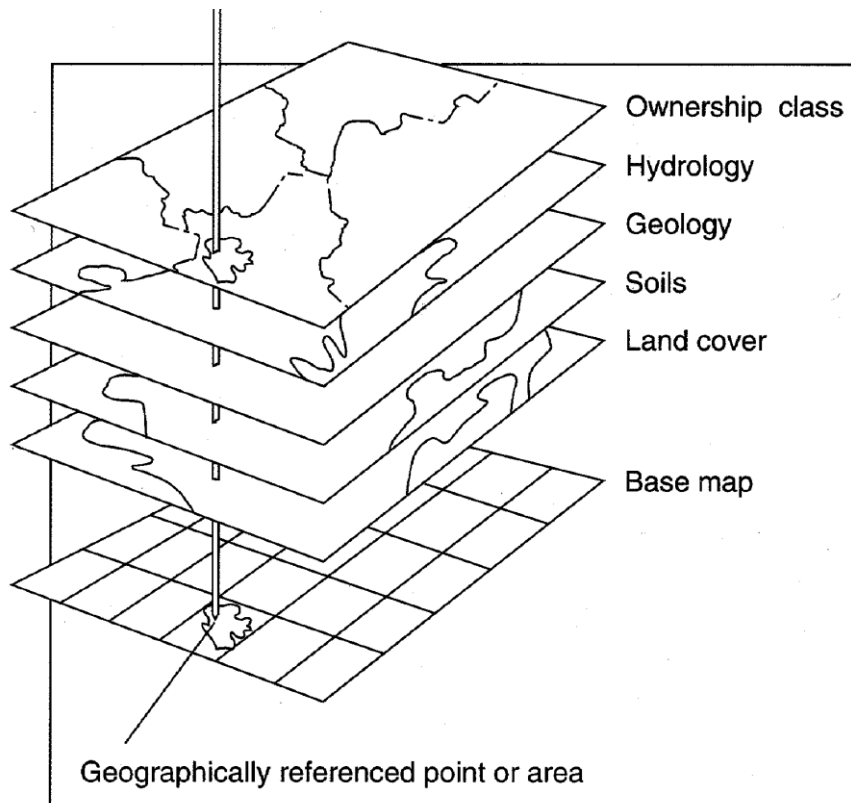
Τα δεδομένα που εισάγονται σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι σε αναλογική μορφή και μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή, στις δύο διαστάσεις, με την ψηφιοποίηση χαρτών (ισοϋψείς, υδρογραφικό δίκτυο κλπ. πάνω σε ειδικά τραπέζια, τους ψηφιοποιητές) και με την αυτόματη ψηφιοποίηση που γίνεται με ειδικούς σαρωτές (laser scanner). Τα ψηφιακά δεδομένα έπειτα θα πρέπει να διορθωθούν κατάλληλα ώστε να αποκτήσουν κλίμακα, δηλαδή να ενσωματωθούν σε ένα ήδη υπάρχον σύστημα συντεταγμένων κάποιου χάρτη του Σ.Γ.Π.

Πληροφορίες για επιλεγμένα χαρακτηριστικά, όπως ρήγματα, το υπάρχον υδρογραφικό δίκτυο ή περιοχές φλεβών πυριγενών πετρωμάτων, μπορούν να εξαχθούν από γεωλογικούς και τοπογραφικούς χάρτες που έχουν εκδοθεί. Επίσης είναι δυνατή η σύνθεση πολυεπίπεδων δεδομένων θεματικών χαρτών με διάφορα χαρακτηριστικά εδάφους, πράγμα που προσθέτει επιπλέον στοιχεία στην ερμηνεία και εξασφαλίζεται με την ύπαρξη ενός κοινού συστήματος συντεταγμένων. Μέσα από μια συγκεκριμένη τιμή πληροφοριών η ανάλυση παίρνει το ρίσκο της επικέντρωσης στην σημαντικότερη συσχέτιση των δεδομένων. Ένα σημαντικό

μειονέκτημα αυτής της επεξεργασίας είναι ότι εξαγονται μέσες τιμές δεδομένων που διαχέονται και παρουσιάζονται αρκετές φορές στην εικόνα, αλλοιώνοντας το τελικό αποτέλεσμα.

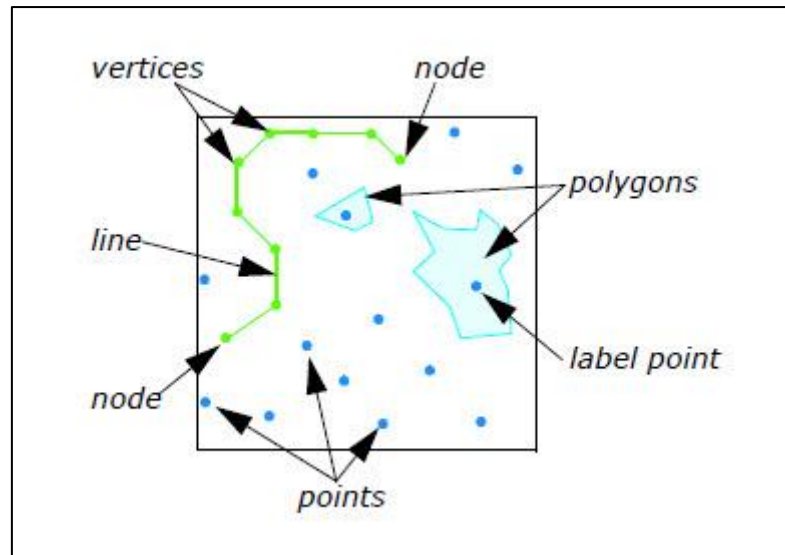
Λόγω της μεγάλης κλίμακας των δεδομένων και του μεγάλου εύρους των δυνατών εφαρμογών, είναι απαραίτητη η σωστή διαχείριση των δεδομένων με κατάλληλο τρόπο εισαγωγής τους και κατάλληλη αποθήκευσή τους, καθώς και η εύκολη συντήρηση και ανάκληση αυτής της πληροφόρησης. Τα Σ.Γ.Π επίσης δίνουν την δυνατότητα της χρησιμοποίησης δύο ειδών αυτόματων αναλύσεων:

1. την επιφανειακή ανάλυση που αναφέρεται στην ανάλυση των δεδομένων σε ένα επίπεδο και
2. την ανάλυση επιπέδων που αναφέρεται στην ανάλυση του συνδυασμού δεδομένων raster και vector χαρτών.



Εικόνα 15. Ένα πληροφοριακό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών που αναδεικνύει σαν βάση ένα χάρτη που συνοδεύεται από διάφορους καταγραμμένους χάρτες επίθεσης (Avery & Berlin 1992)

Στη διανυσματική (vector) μορφή οι χωρικές οντότητες παρουσιάζονται όπως είναι στις τρεις διαστάσεις, όπου οι δύο αναπαριστούν την θέση και το σχήμα τους στην επιφάνεια του εδάφους ενώ η άλλη ορίζει την πληροφορία. Ένα σημείο στην επιφάνεια είναι ένα απλό στοιχείο και ορίζεται από ένα απλό ζευγάρι ψηφιακών συντεταγμένων. Τα μικρά τμήματα γραμμών αναπαρίστανται από τις συντεταγμένες των τελευταίων σημείων τους. Περιοχές του εδάφους εκφράζονται σαν ευθύγραμμο-συντασσόμενα πολύγωνα, που ορίζονται ψηφιακά από τις συντεταγμένες των κορυφών τους, δηλαδή ουσιαστικά οι vector μορφές δεδομένων επιπέδου είναι η απευθείας μετάφραση των αυθεντικών χαρτών.



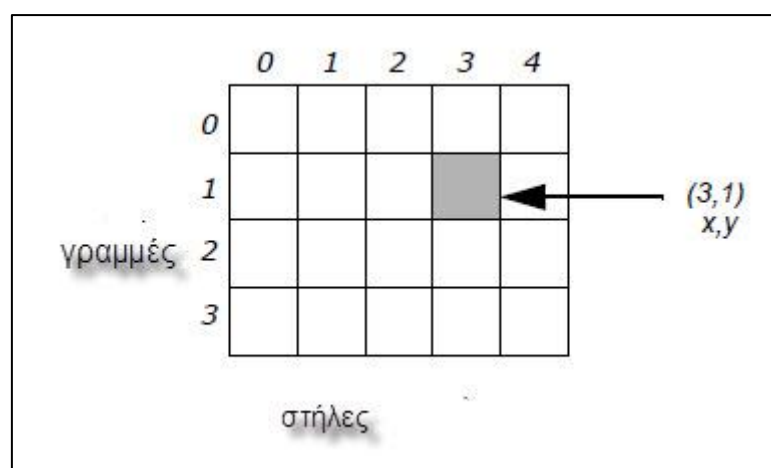
Εικόνα 16. Διανυσματική μορφή δεδομένων. Διακρίνονται διάφοροι τύποι αυτής (ERDAS Field Guide)

Όπως έχει αναφερθεί ήδη η εισαγωγή των δεδομένων που περιέχονται στα σημεία γίνεται είτε χειρονακτικά ύστερα από αναγνώριση των συντεταγμένων τους ή ημι-αυτόματα χρησιμοποιώντας τον ψηφιοποιητή. Η τιμή ή θεματικός κώδικας εισάγεται σαν τρίτη διάσταση από τον ίδιο τον χρήστη. Γραμμές και περιοχές μπορούν επίσης να εισαχθούν με τον ψηφιοποιητή. Οι περιοχές μετατρέπονται σε πολύγωνα με τον από τον Η/Υ και ο χρήστης έπειτα εισάγει το μοτίβο ή τιμή ή οτιδήποτε άλλο περιλαμβάνουν.

Οι μορφές πλέγματος (grid) βασίζονται στον καταμερισμό ενός χάρτη σε **κελιά** (cells) με ομοιόμορφο μέγεθος και σχήμα. Τα κελιά μπορεί να είναι τετράγωνα, τρίγωνα, εξάγωνα ή άλλα κανονικά πολύγωνα. Χρησιμοποιούνται όταν οι χάρτες περιέχουν θεματικές τάξεις. Η είσοδος των δεδομένων βασίζεται σε ένα οδηγό που μετακινείται αυτόματα σε όλο το χάρτη βήμα προς βήμα στη μέση κάθε κελιού. Ο χρήστης δίνει στον κώδικα ή στην παρεμβαλλόμενη τιμή των δεδομένων που έχουν την μορφή των ισοϋψών και που μετά καθορίζεται στο κελί. Αν και είναι γενικά απλούστερη στη

χρήση από ότι τα vector δεδομένα, η μορφή πλέγματος δεν καταγράφει περιοχές ή γραμμές με μεγάλη ακρίβεια.

Τα raster δεδομένα μπορούν να παραχθούν αυτόματα με σάρωση (scanning). Η μορφή raster είναι η καλύτερη μέθοδος για την παρουσίαση των χωρικών δεδομένων αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει την θεματική πληροφόρηση. Τα αντικείμενα μιας εικόνας μπορούν να παραχθούν ανάλογα με την τιμή του pixel που καθορίζεται από τον χρήστη ή αυτόματα. Μετά την εισαγωγή τους, ένα σύνθετο λογισμικό παρεμβάλλει μεταξύ των δειγμάτων και των ορισμένων τιμών που υπάρχουν σε κάθε pixel. Το εύρος των αναλογικών τιμών μετατρέπεται στο κανονικό εύρος από 0-255 που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία εικόνας. και η τιμή κάθε pixel αντικαθίσταται.



Εικόνα 17. Raster μορφή δεδομένων (ERDAS Field Guide)

Η raster μορφή είναι ουσιώδης για τα τηλεσκοπικά δεδομένα, πολλά από τα οποία ούτως ή άλλως λαμβάνονται σε αυτή τη μορφή. Επίσης είναι η πιο συμβατή μορφή δεδομένων στους ψηφιακούς υπολογιστές από οποιαδήποτε άλλη.

2.3.3 ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΝΟΣ Γ.Σ.Π.

Σύμφωνα με τον Sabins (1997) τα στάδια αυτά είναι τα εξής:

1. Συλλογή δεδομένων:

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την συλλογή και προετοιμασία των διαφόρων γεωγραφικών δεδομένων, που μπορεί να περιέχονται σε πολυφασματικές εικόνες (δορυφορικές ή αεροφωτογραφίες), ισοϋψών (τοπογραφία), θεματικών χαρτών (κλίματος, εδαφών κ.α.) και/ή δεδομένα πινάκων (στατιστικά). Αυτά πρέπει να μετατραπούν από αναλογικά σε ψηφιακά. Κάποια δεδομένα μπορεί να περιλαμβάνουν διαφορετικούς χάρτες προσαρμογής που καλύπτουν την ίδια περιοχή και τα οποία είναι φορμαρισμένα σε raster μορφή αλλά μπορεί να διαφέρουν στην κλίμακα και στο εύρος (size) του pixel.

2. Γεωκωδικοποίηση δεδομένων:

Έπειτα πρέπει να γίνει μια γεωκωδικοποίηση των δεδομένων, που είναι η ένταξή τους σε ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων. Η συλλογή και γεωκωδικοποίηση των δεδομένων είναι γενικά μία αρκετά χρονοβόρα διαδικασία. Ένας εναλλακτικός όρος που χρησιμοποιείται αντί της γεωκωδικοποίησης είναι το **Georeference**.

4. Προκύπτοντα χαρακτηριστικά:

Μετά την γεωκωδικοποίηση μερικά δεδομένα, όπως χάρτες χρήσης γης και κάλυψης γης, είναι έτοιμα για το στάδιο της ανάλυσης. Ένα δεδομένο το οποίο είναι έτοιμο για ανάλυση καλείται και σαν χαρακτηριστικό, ενώ άλλα δεδομένα χρειάζονται μια επιπρόσθετη επεξεργασία για να παράγουν κάποια κατάλληλα χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, ένα ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) στο οποίο το υψόμετρο δίνει μεν μια

πληροφόρηση και αποτελεί ένα χαρακτηριστικό, αλλά απαιτεί επιπλέον επεξεργασία για να δώσει κάποια επιπρόσθετα χρήσιμα χαρακτηριστικά, όπως την κλίση (slope), προσανατολισμό των κλίσεων (aspect) και την διάρκεια έκθεσης ενός αντικειμένου στον ήλιο. Κάθε φασματική ζώνη μιας πολυφασματικής εικόνας αποτελεί ουσιαστικά ένα χαρακτηριστικό. Ο συνδυασμός των φασματικών ζωνών μπορεί να δώσει επιπρόσθετα χαρακτηριστικά. Η συλλογή και γεωκωδικοποίηση των χαρακτηριστικών δεδομένων συχνά καλούνται **δεδομένα εισαγωγής** (input data).

5. Ανάλυση χαρακτηριστικών των δεδομένων:

Τα χαρακτηριστικά δεδομένα, επεξεργάζονται ψηφιακά ώστε να παράγουν την επιθυμητή πληροφόρηση, όπως οι κατηγορίες των χρήσεων γης, χρησιμοποιώντας διαφορετικά βήματα ανάλογα με την περίπτωση.

Σε ένα τυπικό πρώτο βήμα επιλέγονται τμήματα χαρακτηριστικών που κατηγοριοποιούνται χρησιμοποιώντας εποπτικούς και με μη εποπτικούς αλγορίθμους. Αυτή η διαδικασία κατηγοριοποίησης καλείται επίσης και **συγκρότημα-ομάδα** (clustering), γιατί παράγει συγκροτήματα δεδομένων με κοινά χαρακτηριστικά. Τα αρχικά συγκροτήματα, σπάνια είναι τα επιθυμητά τελικά προϊόντα, γιατί συνήθως είναι πολύ μεγάλα και περιέχουν πολλές διαφορετικές κλάσεις δεδομένων. Το επόμενο βήμα είναι να διασπασθούν τα συγκροτήματα σε μικρότερες ομοιογενείς υποδιαιρέσεις. Αυτή η επεξεργασία καλείται επίσης και **στρωμάτωση** (stratification). Προκύπτουν έτσι αρκετά νέα χαρακτηριστικά, ανάλογα και με τον αριθμό των υποδιαιρέσεων που θα εφαρμοστούν. Το τελικό βήμα είναι η απόδοση μιας ονομασίας σε κάθε τάξη, με ένα περιγραφικό όνομα.

6. Παρουσίαση αποτελεσμάτων:

Οι ονομασμένες τάξεις, συνδυάζονται με βοηθητικά δεδομένα, όπως τα πολιτικά όρια (σύνορα) ή συντεταγμένες γεωγραφικού μήκους και πλάτους.

Το τελικό προϊόν ενός Σ.Γ.Π. είναι τυπικά ένας χάρτης με τις επιθυμητές πληροφορίες που δείχνουν με χρώματα ή διάφορα χαρακτηριστικά. Είναι επίσης απαραίτητη η προσθήκη των δεδομένων σε πίνακες πληροφοριών για πιο εύκολη πρόσβαση στα δεδομένα.

Ο σκοπός της προεπεξεργασίας είναι η αποκατάσταση των χωρικών σχέσεων των στοιχείων ενδιαφέροντος που εμφανίζονται στην αεροφωτογραφία. Από μαθηματικής σκοπιάς, ο σκοπός της γεωμετρικής διόρθωσης της εικόνας είναι να μετασχηματιστεί το σύστημα συντεταγμένων της εικόνας (χ, ψ) , το οποίο μπορεί να έχει υποστεί παραμορφώσεις, σε συγκεκριμένο σύστημα (X, Y) χαρτογραφικής προβολής. Πιο απλά, η ορθοαναγωγή της αεροφωτογραφίας αποσκοπεί στην απόδοση συντεταγμένων στα στοιχεία της.

Κατά τη σάρωση της εικόνας προκύπτουν ορισμένες παραμορφώσεις της οι οποίες καταλήγουν σε λανθασμένη αποτύπωση της γήινης επιφανείας. Αυτές διακρίνονται σε συστηματικές και τυχαίες.

2.4 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.4.1 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στις αεροφωτογραφίες, όπως σχεδόν σε όλες τις τηλεπισκοπικές απεικονίσεις υπάρχουν σφάλματα τα οποία καθιστούν αυτά τα προϊόντα ακατάλληλα για χρήση, πριν μεσολαβήσει η διαδικασία απαλοιφής αυτών των σφαλμάτων. Αυτό γιατί η συσσώρευση

σφαλμάτων υποβαθμίζει κατά ένα μεγάλο βαθμό την ακρίβεια των προϊόντων των όποιων επεξεργασιών γίνονται με χρήση αυτών των εικόνων (Μερτίκας, 2009). Τα σφάλματα διακρίνονται σε:

Συστηματικά σφάλματα

Αφορούν σε παραμορφώσεις που οφείλονται στα χαρακτηριστικά της αερομηχανής, την στιγμιαία θέση της, το ύψος, την ταχύτητα, πιθανές παρεκκλίσεις της τροχιάς κλπ. Διορθώνονται με την εφαρμογή συγκεκριμένων μαθηματικών μοντέλων από το ειδικό λογισμικό στο σταθμό λήψεως. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η παραμόρφωση που προκαλείται από την προς ανατολίας κίνηση της γης κατά την διάρκεια των σαρώσεων. Εξαιτίας αυτού κάθε σάρωση από Βορρά προς Νότο (κατερχόμενη) καταγράφει περιοχή της οποίας η αρχή είναι ελαφρά δυτικότερα από την προηγούμενη σάρωση.

Τυχαίες παραμορφώσεις (σφάλματα)

Αφορούν σε λάθη παραμένοντα μετά την διόρθωση των συστηματικών σφαλμάτων. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα, τα οποία διορθώνονται με πληροφορίες που δίνει ο ίδιος ο αισθητήρας, εδώ η διόρθωση γίνεται με την χρήση επιγείων σημείων ελέγχου (Ground Control Points- GCPs) τα οποία προμηθεύει ο χρήστης. Η νέα εικόνα που σχηματίζεται ονομάζεται "διορθωμένη εικόνα".

2.4.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ

Στην Τηλεπισκόπηση υπάρχουν τρεις τύποι γεωμετρικών διορθώσεων:

1. Η γεωμετρική αναγωγή (rectification) της εικόνας, που καλύπτει την γεωμετρία της διαδικασίας λήψης της εικόνας
2. Η εγγραφή εικόνας σε άλλη εικόνα, που αναφέρεται στον μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων μιας εικόνας σε κάποιο άλλο μια άλλης εικόνας.

3. Η εγγραφή εικόνας σε χάρτη, που αφορά στον μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων μιας εικόνας στο χαρτογραφικό σύστημα συντεταγμένων του εδάφους.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την διόρθωση των γεωμετρικών παραμορφώσεων των δεδομένων μιας ψηφιακής εικόνας. Σε αυτή την μελέτη η γεωμετρική διόρθωση έγινε με την τεχνική των πολυώνυμων.

2.4.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΠΟΛΥΩΝΥΜΑ

Βασίζεται στον καθορισμό ενός μαθηματικού μετασχηματισμού πολυωνύμων, ανεξαρτήτως της πηγής και του είδους της γεωμετρικής παραμόρφωσης την οποία προκάλεσαν. Μια απλοποιημένη και ευρέως αποδεκτή λύση με πολυωνυμική προσέγγιση είναι της μορφής :

$$x = \sum_{p=0}^n \sum_{q=0}^n a_{pq} X^p Y^q$$
$$y = \sum_{p=0}^n \sum_{q=0}^n b_{pq} X^p Y^q$$

όπου οι συντελεστές a και b προσδιορίζονται από τα σημεία ελέγχου στο έδαφος (Ground Control Points).

Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται χάρτης που να απεικονίζει την περιοχή που αντιστοιχεί στην εικόνα και να είναι γεωμετρικά ορθός, δηλαδή να μην περιέχει γεωμετρικές παραμορφώσεις πέραν των συνήθων χαρτογραφικών παραμορφώσεων. Κατόπιν ορίζουμε δυο συστήματα αναφοράς. Το ένα σύστημα περιγράφει τις θέσεις των σημείων στον χάρτη (X, Y) και το άλλο σύστημα ορίζει τις θέσεις των pixel στην εικόνα (x, y).

Θεωρούμε ότι τα δύο συστήματα αναφοράς σχετίζονται μεταξύ τους με ένα ζευγάρι συναρτήσεων απεικονίσεων f, g της γενικής μορφής:

$$x = f(X, Y) = \sum_{p=0}^n \sum_{q=0}^n a_{pq} X^p Y^q$$

$$y = g(X, Y) = \sum_{p=0}^n \sum_{q=0}^n b_{pq} X^p Y^q$$

Αν οι συναρτήσεις f και g είναι γνωστές, τότε θα μπορούσαμε να εντοπίσουμε ένα σημείο (x, y) στην εικόνα, αν είναι γνωστές οι συντεταγμένες του (X, Y) στον χάρτη. Ισχύει επίσης και το αντίστροφο.

Συνήθως οι σχέσεις μετασχηματισμού $f(X, Y)$ και $g(X, Y)$ επιλέγονται ως απλά πολυώνυμα πρώτου, δευτέρου ή τρίτου βαθμού.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί ένα πολυώνυμο πρώτου βαθμού (αφινικός μετασχηματισμός) έχουμε:

$$x = a_0 X + a_1 Y + a_2$$

$$y = b_0 X + b_1 Y + b_2$$

Αν οι συντελεστές (a, b) είναι γνωστοί, τότε ο μετασχηματισμός από τον χάρτη στη εικόνα είναι επίσης γνωστός. Οι τιμές των παραπάνω συντελεστών προσδιορίζονται από τα σημεία ελέγχου (GCPs, Ground Control Points).

2.5 ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ

Το GPS είναι ένα Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης που δημιουργήθηκε από το Υπ. Άμυνας των Η.Π.Α. Βρίσκει πολλές εφαρμογές, όπως η παγκόσμια πλοήγηση, χαρτογραφικές, τοπογραφικές και άλλες επιστημονικές εργασίες, μελέτη σεισμών, συγχρονισμός τηλεπικοινωνιακών δικτύων κ.α. Η αρχή λειτουργίας του είναι παρόμοια με αυτή της κλασικής «γεωδαιτικής οπισθοτομίας», και ο προσδιορισμός θέσης επιτυγχάνεται με επεξεργασία μετρήσεων αποστάσεων από τον δέκτη προς 4 ή περισσότερους δορυφόρους που βρίσκονται σε γνωστές θέσεις.

Το GPS διακρίνεται σε τρία λειτουργικά μέρη, το διαστημικό, που περιλαμβάνει τους 32 ενεργούς δορυφόρους, το επίγειο, που αφορά τους σταθμούς ελέγχου, και το τμήμα των χρηστών. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει ένα ραδιοσήμα στην περιοχή των μικροκυμάτων αποτελούμενο από φέρουσες συχνότητες διαμορφωμένες από ψηφιακούς κώδικες και ένα μήνυμα πλοήγησης, το οποίο εκπέμπεται κατ' ελάχιστο σε δύο διακριτούς κώδικες, τον C/A, που είναι ελεύθερα διαθέσιμο στο κοινό, και τον P, που είναι κρυπτογραφημένος (λειτουργία «anti-spoofing»), και η αποκρυπτογράφηση του γίνεται μόνο από τον Αμερικανικό Στρατό και κάποιους ακόμα εξειδικευμένους χρήστες. Συνολικά χρησιμοποιούνται πέντε συχνότητες (L1-L5) και ο λόγος διαθεσιμότητας περισσοτέρων της μίας είναι η διόρθωση της ιονοσφαιρικής καθυστέρησης.

Για τον υπολογισμό της θέσης στο GPS χρησιμοποιούνται μετρήσεις κώδικα ή φέρουσας φάσης. Για την εξάλειψη των διαφόρων σφαλμάτων των μετρήσεων στο GPS χρησιμοποιούνται οι γραμμικοί συνδυασμοί των παρατηρήσεων. Υπάρχουν αρκετοί συνδυασμοί, όπως η απλή διαφορά μεταξύ δορυφόρων, η απλή διαφορά μεταξύ δεκτών, η διπλή διαφορά, η τριπλή και ο γραμμικός

συνδυασμός απαλλαγμένος από την ιονόσφαιρα (μετρήσεις στις L1 και L2 συχνότητες). Τα σφάλματα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: αυτά που οφείλονται στους δορυφόρους, αυτά που οφείλονται στο δέκτη και αυτά που οφείλονται στη διάδοση των σημάτων. Ο προσδιορισμός της θέσης του χρήστη GPS μπορεί να γίνει είτε με απόλυτο εντοπισμό είτε με σχετικό. Ο σχετικός εντοπισμός διακρίνεται σε πραγματικού χρόνου και σε μετεπεξεργασία των μετρήσεων.

Ανάλογα με τη τεχνική που εφαρμόζεται στην ύπαιθρο διακρίνονται ο στατικός εντοπισμός, ο γρήγορος, ο ψευδοκινηματικός, ο κινηματικός και η χρήση εικονικών σταθμών. Παράλληλα με την ανάπτυξη του GPS ιδρύθηκαν διάφοροι φορείς παροχής δεδομένων και προϊόντων GPS. Ένας από αυτούς είναι η IGS, η οποία συγκεντρώνει και αναλύει δεδομένα GPS από ένα δίκτυο μόνιμων σταθμών παρακολούθησης των συστημάτων GPS και GLONASS. Από την επεξεργασία τους προκύπτουν τα διάφορα προϊόντα που παρέχει δωρεάν στους χρήστες των συστημάτων αυτών και αφορούν τις εφημερίδες και τα χρονόμετρα δορυφόρων και σταθμών, τις παραμέτρους περιστροφής της γης, τις συντεταγμένες των σταθμών του δικτύου καθώς και τις ταχύτητές τους και, τέλος, τις ατμοσφαιρικές παραμέτρους.

2.5.1 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS

Όπως προαναφέρθηκε, τα σφάλματα που υπάρχουν στις μετρήσεις με το σύστημα GPS, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε 3 ομάδες.

1. Σφάλματα που οφείλονται στους δορυφόρους

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα σφάλματα που οφείλονται στις εκπεμπόμενες εφημερίδες, δηλαδή τα σφάλματα που προέρχονται από τα τροχιακά στοιχεία των δορυφόρων, καθώς και

αυτά που οφείλονται στην αστάθεια του χρονομέτρου του δορυφόρου. Επίσης, εδώ κατατάσσεται και η απόκλιση που προκαλούσε η ενεργοποίηση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας (Selective Availability - SA), μιας διαδικασίας σκόπιμης υποβάθμισης των δορυφορικών σημάτων GPS για τους πολιτικούς χρήστες σχεδόν από την αρχή λειτουργίας του GPS, η οποία όμως καταργήθηκε το 2000.

2. Σφάλματα που οφείλονται στο δέκτη

Τα σφάλματα που οφείλονται στο χρονόμετρο του δέκτη κατατάσσονται προφανώς σε αυτή την κατηγορία. Άλλα τέτοια σφάλματα είναι και αυτά που προκύπτουν από το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών του σήματος, που προκαλείται από την αντανάκλασή του στις διάφορες επιφάνειες του περιβάλλοντος του δέκτη. Τέλος υπάρχουν και σφάλματα που προκαλούνται από τις διάφορες διακυμάνσεις του κέντρου φάσης της κεραίας, και τα οποία εντάσσονται στην κατηγορία αυτή.

3. Σφάλματα από την διάδοση των σημάτων.

Εδώ κατατάσσονται τα σφάλματα που προκύπτουν από την καθυστέρηση του σήματος καθώς αυτό περνά από τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας. Διακρίνονται λοιπόν δύο πηγές σφαλμάτων, η ιονοσφαιρική και η τροποσφαιρική καθυστέρηση, που προφανώς οφείλονται στα στρώματα της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας αντίστοιχα. Στην ιονόσφαιρα, τα φορτισμένα σωματίδια είναι αυτά που κάνουν το σήμα να «αναπηδά δεξιά – αριστερά», με αποτέλεσμα την επιβράδυνση της ταχύτητάς του, ιδιαίτερα τις περιόδους έντονης ηλιακής δραστηριότητας. Στην τροπόσφαιρα η ταχύτητα του σήματος επηρεάζεται από τους υδρατμούς και τα καιρικά φαινόμενα που επικρατούν. Σε αυτή την ενότητα σφαλμάτων συμπεριλαμβάνεται και το *φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών του σήματος*, γνωστό ως *multipath error*.

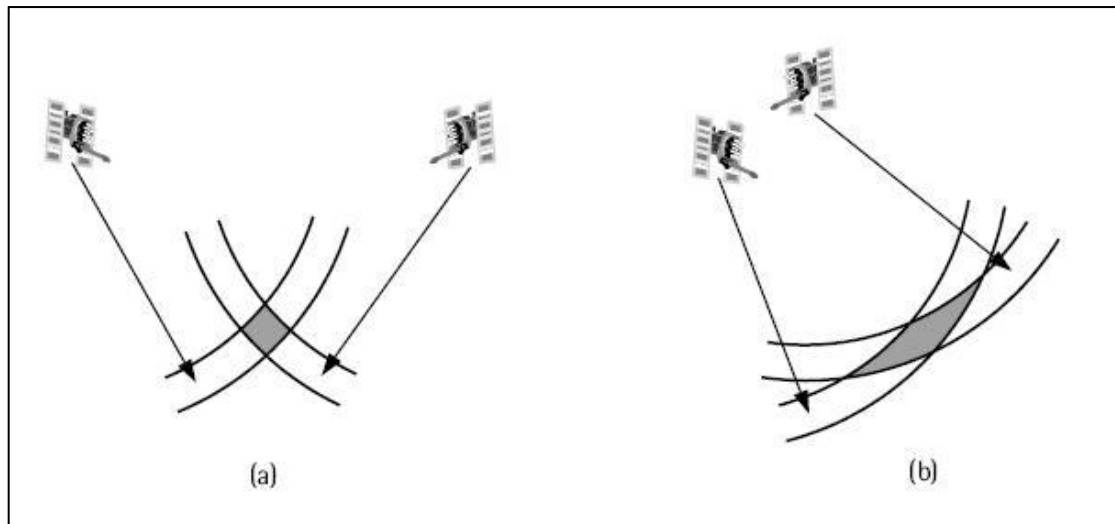
Προκαλείται από την αντανάκλαση του σήματος στις διάφορες επιφάνειες του περιβάλλοντος που συναντάει προτού φτάσει την κεραία του δέκτη.

Τέλος, σημαντική πηγή σφαλμάτων είναι και η γεωμετρία των δορυφόρων, η οποία δεν κατατάσσεται σε κανένα από τα παραπάνω, αλλά δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να παραληφθεί.

Ένας δείκτης της ποιότητας της γεωμετρίας του δορυφορικού σχηματισμού είναι το λεγόμενο *GDOP (Geometric Dilution of Precision)* ή «Γεωμετρική Απώλεια της Ακρίβειας», το οποίο εξαρτάται από το πλήθος των παρατηρούμενων δορυφόρων και την θέση τους στον ουράνιο θόλο και σε σχέση με τη θέση του χρήστη. Μια μεγάλη γωνία μεταξύ των δορυφόρων μειώνει την τιμή του GDOP και παρέχει καλύτερης ακρίβειας μέτρηση. Αντιθέτως, μια μικρή γωνία μεταξύ των δορυφόρων αυξάνει το GDOP και παρέχει χειρότερες μετρήσεις. Είναι προφανές πως η επιλογή των κατάλληλων δορυφόρων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τον δείκτη GDOP, διαδικασία την οποία είναι σε θέση να παρέχουν ορισμένοι προηγμένοι δέκτες. Μια αποδεκτή τιμή για τον GDOP είναι μικρότερη του 5. Ο GDOP αναλύεται περαιτέρω σε τρεις όρους, οποίοι μετρώνε την ακρίβεια του συστήματος GPS, η οποία μεταβάλλεται συνεχώς με την κίνηση των δορυφόρων.

Οι όροι αυτοί είναι:

1. TDOP (Time Dilution of Precision) ο οποίος αντανάκλα την επιρροή της γεωμετρίας των δορυφόρων στην ικανότητα του GPS δέκτη να υπολογίζει με ακρίβεια τον χρόνο,
2. HDOP (Horizontal Dilution of Precision) και
3. VDOP (Vertical Dilution of Precision) που δείχνουν κατά πόσο η γεωμετρία των δορυφόρων επηρεάζει τον ακριβή υπολογισμό της οριζοντιογραφικής και υψομετρικής, αντίστοιχα, θέσης του σταθμού.



Εικόνα 18. Αναπαράσταση της γεωμετρικής απώλειας της ακρίβειας. Στην περίπτωση (b) η μικρή γωνία μεταξύ των δορυφόρων αυξάνει το GDOP.

2.5.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GPS

Ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου στο χώρο με χρήση του συστήματος GPS μπορεί να επιτευχθεί με τους παρακάτω τρόπους:

ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ

Στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης – point positioning – αρκεί η χρήση ενός μόνο δέκτη GPS. Ο δέκτης αυτός μετράει ψευδοαποστάσεις από 4 ή περισσότερους ορατούς δορυφόρους, χρησιμοποιώντας τον εκπεμπόμενο κώδικα. Η αναμενόμενη οριζοντιογραφική ακρίβεια για έναν πολιτικό δέκτη C/A κώδικα, χωρίς να είναι ενεργοποιημένη η SA, είναι περίπου 22 μέτρα. Ο απόλυτος εντοπισμός πραγματοποιείται σε σχέση με ένα σύστημα αναφοράς, το οποίο είναι αυστηρώς ορισμένο και ελέγχεται.

ΣΧΕΤΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ

Στον σχετικό προσδιορισμό θέσης (relative positioning) χρησιμοποιούνται 2 δέκτες οι οποίοι λειτουργούν ταυτόχρονα και παρακολουθούν τους ίδιους δορυφόρους. Ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις φέρουσας φάσης ή ψευδοαποστάσεων. Ο σχετικός εντοπισμός

διακρίνεται σε πραγματικού χρόνου εντοπισμό – real time positioning – ή εντοπισμό από μετεπεξεργασία των παρατηρήσεων – post-mission ή post-processing .

Επίσης, ανάλογα με την τεχνική που εφαρμόστηκε στο πεδίο, ο εντοπισμός διακρίνεται σε:

1. *Στατικό Εντοπισμό*, που δίνει ακρίβειες της τάξης των μερικών χιλιοστών και απαιτεί την ταυτόχρονη χρήση τουλάχιστον δύο δεκτών, όπου ο ένας τοποθετείται σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες και ο άλλος καταλαμβάνει για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα (40-90 λεπτά) το άγνωστο σημείο.
2. *Γρήγορο Στατικό*, ο οποίος χρησιμοποιεί την ίδια μεθοδολογία με τον προηγούμενο, με σημαντική όμως μείωση του χρονικού διαστήματος μέτρησης στο προς προσδιορισμό σημείο, το οποίο κυμαίνεται στα 5-20 λεπτά, και επιτυγχάνονται ακρίβειες μερικών εκατοστών.
3. *Ψευδο-κινηματικό*, που έχει παρόμοια μεθοδολογία με τον γρήγορο στατικό, με την διαφορά ότι βασίζεται στην αλλαγή της γεωμετρίας των δορυφόρων, λόγω ανακατάληψης των άγνωστων σημείων μετά από κάποιο χρονικό διάστημα.
4. *Κινηματικό εντοπισμό*, ο οποίος χαρακτηρίζεται από ταχεία κατάληψη σημείων (1-2 λεπτά) και με κυμαινόμενες ακρίβειες της τάξης των μερικών εκατοστών. Η σύγχρονη εκδοχή του είναι η RTK (Real Time Kinematic) με σημαντικά πλεονεκτήματα στο χρόνο προσδιορισμού της θέσης των σημείων.
5. *Εντοπισμό με τη χρήση εικονικών σταθμών (Virtual reference stations, VRS positioning)*

2.5.3 ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ GPS

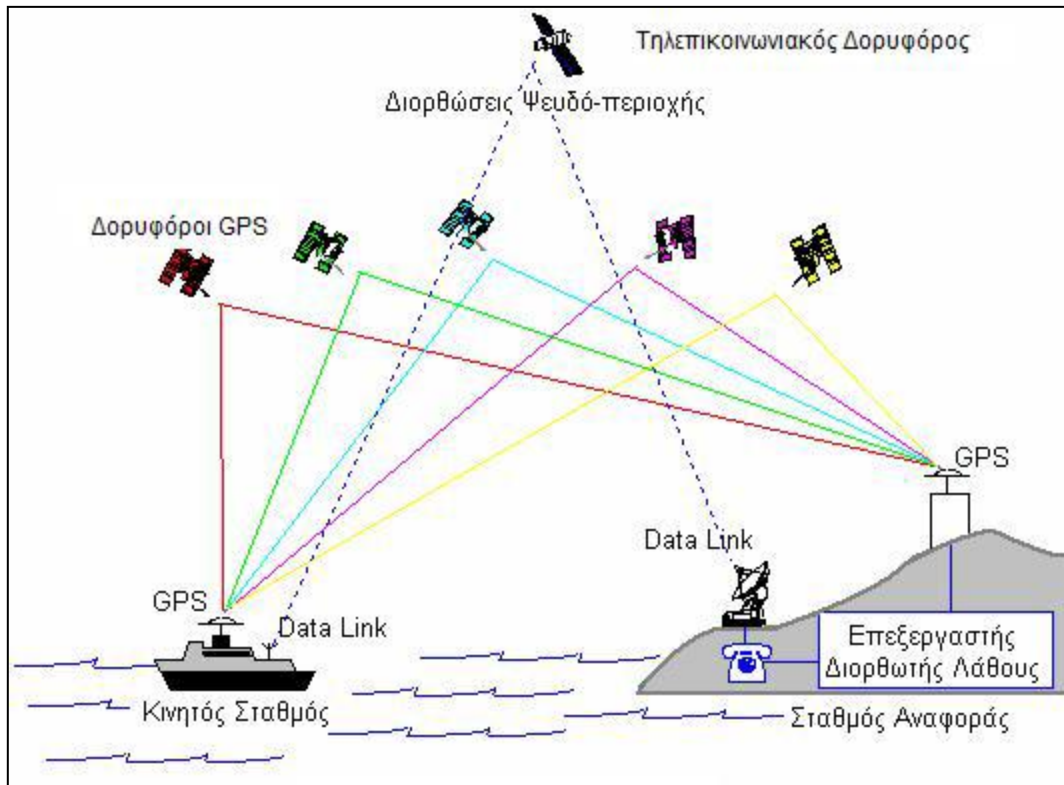
Αν και το GPS είναι το ακριβέστερο σύστημα προσδιορισμού θέσης και πλοήγησης, εντούτοις οι άνθρωποι, με τη βοήθεια της επιστήμης, που όλο και εξελίσσεται, πάντα βρίσκουν τεχνικές

προκειμένου να επιτύχουν ακόμη καλύτερες ακρίβειες στα αποτελέσματα. Δύο από τα πιο πρόσφατα συστήματα που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό θα περιγραφούν στη συνέχεια.

Το Διαφορικό GPS

Το Διαφορικό GPS είναι ένα παγκόσμιο σύστημα μέτρησης με το οποίο είναι δυνατό να επιτευχθούν μετρήσεις ακρίβειας μερικών μέτρων σε κινούμενα μέσα (π.χ. αεροπλάνα, πλοία), αλλά και προσδιορισμός γεωγραφικών θέσεων με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Για τους παραπάνω λόγους βρίσκει πολλές εφαρμογές σε ναυσιπλοΐα, χαρτογραφήσεις, χερσαίες και παράκτιες έρευνες και αλλού. Η βασική ιδέα πάνω στην οποία στηρίζεται το DGPS είναι ότι τα σφάλματα που παρουσιάζονται στον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου σε μία περιοχή, είναι παρόμοια με τα σφάλματα για όλα τα σημεία που βρίσκονται μέσα σε αυτή την (τοπική) περιοχή. Έτσι, σε ένα σταθερό σημείο του οποίου οι συντεταγμένες έχουν μετρηθεί με ακρίβεια και η πραγματική του θέση είναι γνωστή, τοποθετείται ένας DGPS σταθμός αναφοράς (reference station). Ο σταθμός αυτός δέχεται τα ίδια σήματα που δέχονται και οι γειτονικοί του GPS δέκτες από τους δορυφόρους. Κατόπιν, υπολογίζεται η θέση του σταθμού σαν να ήταν άγνωστος και συγκρίνεται με την πραγματική, γνωστή, θέση του. Καθώς τα σήματα επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, σχεδόν πάντα θα υπάρχει μία διαφορά μεταξύ της πραγματικής θέσης και της θέσης που δίνει το GPS σύστημα. Η διαφορά που προκύπτει ονομάζεται *Διαφορική Διόρθωση* και, όπως είναι φυσικό, η ίδια διαφορά θα ισχύει για όλους του σταθμούς GPS (rover stations) που βρίσκονται μέσα σε μία μεγάλη περιοχή (εκατοντάδων χιλιομέτρων) γύρω από το σταθμό αναφοράς. Έτσι, ο DGPS σταθμός αναφοράς μεταδίδει τη διόρθωση αυτή στους χρήστες των GPS που κινούνται μέσα στην περιοχή αυτή, οι οποίοι την χρησιμοποιούν για να διορθώσουν τις μετρήσεις τους ή τις τελικές δουλέψει ένα τέτοιο

σύστημα, αποτελεί η δυνατότητα των GPS rover δεκτών να λαμβάνουν σήματα από έναν DGPS σταθμό αναφοράς. Αυτό επιτυγχάνεται με ραδιοζεύξη (data link), η οποία παρέχει τη σύνδεση μεταξύ του σταθμού αναφοράς με τον κινητό σταθμό.



Εικόνα 19. Αρχή λειτουργίας Διαφορικού GPS

Ο σταθμός αναφοράς υπολογίζει τα σφάλματα του συστήματος για όλους τους δορυφόρους που ανιχνεύει, και ακολούθως μεταδίδει κωδικοποιημένη αυτή την πληροφορία, μέσω ειδικών συσκευών εκπομπής σημάτων, στους GPS δέκτες που κινούνται στην περιοχή. Επίσης, μαζί με τα σφάλματα αυτά, ο σταθμός αναφοράς μεταδίδει και το ρυθμό μεταβολής τους. Οι δέκτες λαμβάνουν όλα αυτά τα δεδομένα και κάνουν τις κατάλληλες διορθώσεις ανάλογα με τους δορυφόρους που χρησιμοποιούν.

Το WAAS (WIDE AREA AUGMENTATION SYSTEM)

Το σύστημα WAAS, είναι ένας ειδικός τύπος συστήματος διαφορικού GPS σχεδιασμένου ειδικά για εφαρμογές αεροπλοήγησης, το οποίο αποτελείται από 25 επίγειους σταθμούς στην βόρεια Αμερική. Παρέχει διορθωτικά δεδομένα, που αφορούν τις τροχιές των GPS δορυφόρων, τη λειτουργία των χρονομέτρων τους και τα σφάλματα που προκαλούνται στο σήμα τους από την ιονόσφαιρα και την ατμόσφαιρα, και τα οποία εκπέμπονται από έναν κεντρικό επίγειο σταθμό προς κάποιους γεωστατικούς δορυφόρους και στη συνέχεια στους δέκτες. Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται ο χρήστης να είναι κοντά σε κάποιον επίγειο σταθμό για να εκμεταλλευτεί τα δεδομένα αυτά. Τα σήματα μεταδίδονται με τη δομή του βασικού GPS και επομένως δεν χρειάζεται να υπάρχουν ειδικά κυκλώματα στον δέκτη. Το WAAS παρέχει λίγες δυνατότητες όταν χρησιμοποιείται έξω από την περιοχή κάλυψης των επίγειων σταθμών. Η ακρίβεια εντούτοις που επιτυγχάνεται με τη χρήση του συστήματος αυτού είναι της τάξης των 2-3μ (Δημοπούλου ,2008)

2.6 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

2.6.1 ΓΕΝΙΚΑ

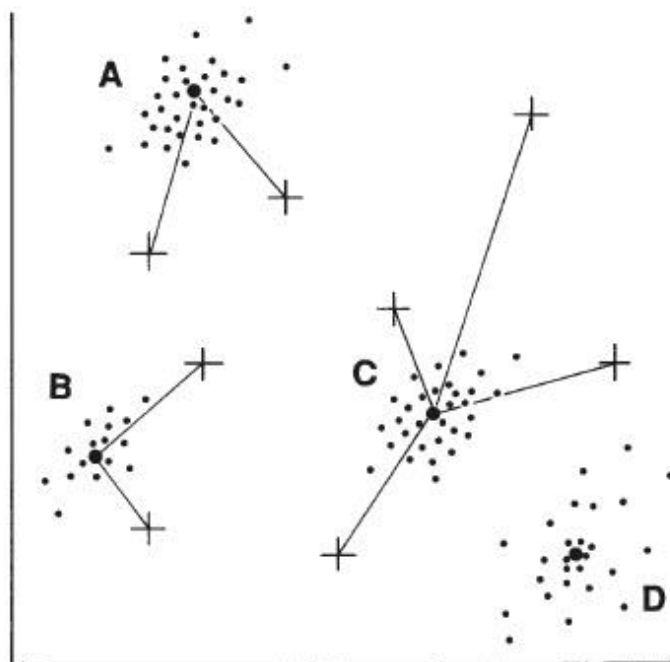
Σκοπός της ταξινόμησης μιας εικόνας που προκύπτει από κάποια τηλεπισκοπική μέθοδο είναι η αυτόματη κατηγοριοποίηση όλων των pixel της εικόνας σε διακριτές κατηγορίες ή κλάσεις, οι οποίες μπορεί να είναι χρήσιμες γης ή κατηγορίες που βασίζονται στην ποσοτικοποίηση μιας ιδιότητας που μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή της εικόνας (Lillesand & Kieffer,1987). Μπορεί να είναι επιβλεπόμενη, εάν δημιουργούνται δεδομένα εκπαίδευσης για τον αλγόριθμο ή σε αντίθετη περίπτωση μη επιβλεπόμενη.

Η ταξινόμηση βασίζεται στο ότι διαφορετικοί τύποι στοιχείων της γήινης επιφάνειας έχουν διαφορετική φασματική υπογραφή. Παράδειγμα αυτού είναι το ότι οι δασικές εκτάσεις έχουν παντού (ή σχεδόν παντού) στην εικόνα το ίδιο χρώμα, αντανακλούν το ίδιο ποσό περίπου ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τελικά, τα pixel που αφορούν στις δασικές περιοχές έχουν τον ίδιο ψηφιακό αριθμό DN (digital number). Μάλιστα, αυτός διαφέρει και εντός των δασικών περιοχών, ανάλογα με το είδος των φυτών που αποτελούν τις δασικές περιοχές.

Η ταξινόμηση μπορεί να γίνει αξιοποιώντας την φασματική πληροφορία κάθε pixel, η οποία είναι η βάση της αυτόματης ταξινόμησης των καλύψεων γης. Επίσης μπορεί να γίνει αξιοποιώντας τις χωρικές ιδιότητες των pixel, όπως υφή, εγγύτητα των pixel μεταξύ τους, το σχήμα των αντικειμένων που σχηματίζουν τα pixel, το μέγεθος τους, η επαναληψιμότητα στοιχείων, όπως στην περίπτωση του δάσους, και το πλαίσιο αναφοράς. Αυτός ο τρόπος ταξινόμησης, που ομοιάζει ουσιαστικά με τον τρόπο που ταξινομεί το ανθρώπινο μάτι και ο εγκέφαλος το περιβάλλον του, είναι περισσότερο φωτοερμηνεία παρά ταξινόμηση.

Ένας άλλος τρόπος ταξινόμησης περιλαμβάνει και τον χρόνο ως κριτήριο. Χαρακτηριστική περίπτωση αυτού είναι όταν γίνεται αναγνώριση καλλιεργειών χρησιμοποιώντας αεροφωτογραφίες της ίδιας σκηνής αλλά τραβηγμένες σε διαφορετική χρονική περίοδο. Έτσι σε μια χειμερινή αεροφωτογραφία ένα αγροτεμάχιο με χειμερινά σιτηρά φαίνεται γυμνό, λόγω του ότι είναι η περίοδος σποράς. Την άνοιξη όμως είναι πράσινο γιατί υπάρχει βλάστηση.

2.6.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ



Εικόνα 20. Mean Distance ταξινομητής. Διακρίνονται τα μέσα διανύσματα A,B,C και D.

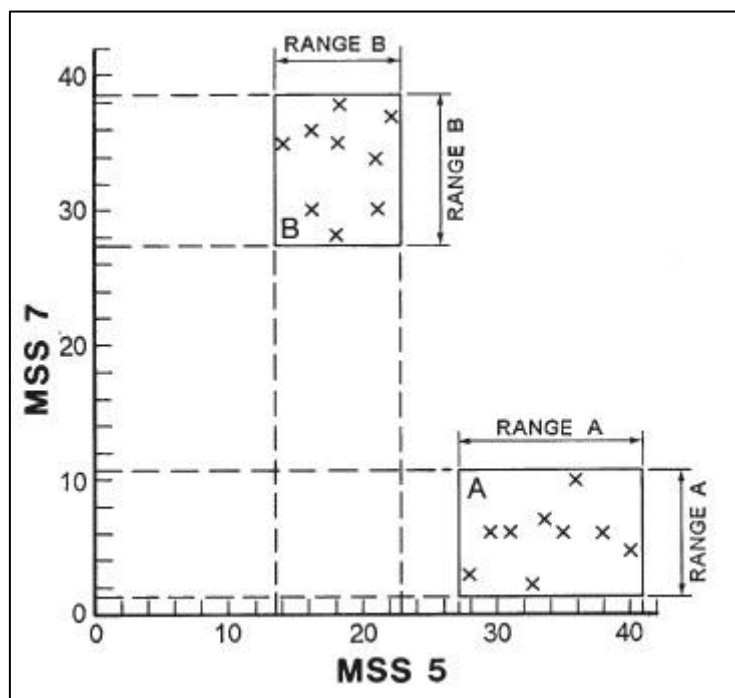
1. Ο ταξινομητής Ελάχιστης απόστασης

Η μέθοδος της μέσης απόστασης είναι μαθηματικά απλή, διότι περιλαμβάνει μέτρηση αποστάσεων και είναι γρήγορη σε εκτέλεση και υπολογιστικά αποδοτική. Παρόλα αυτά δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που οι φασματικές υπογραφές των διάφορων στοιχείων είναι κοντινές διότι η μέθοδος αυτή δεν λαμβάνει υπόψη της την διακύμανση των τιμών DN των pixel.

2. Ο ταξινομητής του κανόνα του παραλληλεπιπέδου

Αρχικά υπολογίζεται στα δεδομένα εκπαίδευσης του αλγορίθμου (training set) το εύρος (range) των τιμών DN για κάθε κλάση σε κάθε κατηγορία. Οι τιμές εντός αυτού του εύρους καλούνται περιοχή απόφασης. Το άνω όριο της περιοχής απόφασης

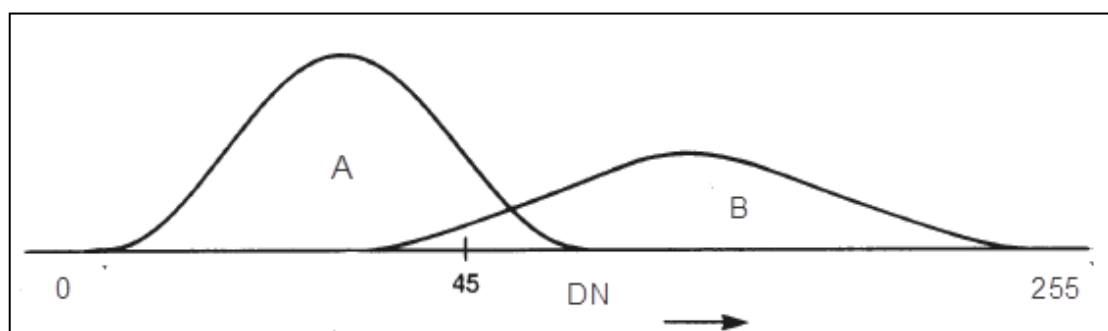
είναι η μεγαλύτερη τιμή DN και το κάτω όριο η μικρότερη. Ένα τυχαίο pixel ταξινομείται σε κάποια κλάση εάν η τιμή DN του pixel βρίσκεται εντός της περιοχής απόφασης. Σχηματικά, η περιοχή απόφασης απεικονίζεται ως παραλληλεπίπεδο. Κάθε παραλληλεπίπεδο αντιστοιχεί σε μια κλάση ταξινόμησης.



Εικόνα 21.Ο ταξινομητής του κανόνα του παραλληλογράμμου

Υπάρχει η περίπτωση τα παραλληλεπίπεδα να αλληλεπικαλύπτονται σε μέρος της περιοχής τους. Αυτό οφείλεται στην μεταβλητότητα των φασματικών τιμών κατά μήκος των καναλιών. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η δημιουργία παραλληλεπιπέδων με σκαλωτά επίπεδα. Ο αλγόριθμος κατά τα άλλα είναι απλός, σύντομος στην εκτέλεση, δεν απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ και είναι ευαίσθητος στην διακύμανση των φασματικών τιμών.

3.Μεγιστη Πιθανοφάνεια



Εικόνα 22. Ταξινομητής Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Οι δύο κλάσεις είναι οι A και B. Το pixel που ταξινομείται έχει $DN=45$.

Ο ταξινομητής μέγιστης πιθανοφάνειας στηρίζεται στην εύρεση της πιθανότητας η τιμή DN ενός pixel να βρίσκεται εντός του εύρους τιμών μιας κλάσης A. Πιο συγκεκριμένα, για να καθοριστεί η κλάση A_i στην οποία ανήκει ένα pixel x , ενδιαφερόμαστε για την δεσμευμένη πιθανότητα $P(A_i|x)$, όπου $i=1,2,3,\dots,k$. Η μαθηματική σχέση αυτή μεταφράζεται ως «ποια είναι η πιθανότητα ένα pixel με τιμή x να ανήκει στην κλάση A_i »

Ο κανόνας για την λήψη απόφασης για να ταξινομηθεί ένα pixel στην κλάση A και όχι στην B είναι:

$$X \in A \text{ αν } P(A|x) > P(B|x) \text{ για όλα τα } A \neq B$$

Από τα δεδομένα εκπαίδευσης του αλγορίθμου μπορεί να υπολογιστεί η διαθέσιμη πιθανότητα $P(x|A)$, δηλαδή η πιθανότητα να υπάρχει ένα pixel με τιμή x μέσα στην κλάση A. Η ζητούμενη πιθανότητα $P(A|x)$ και η διαθέσιμη πιθανότητα $P(x|A)$ συνδέονται με θεώρημα του Bayes της Στατιστικής

$$P(x|A) = \frac{P(x|A)P(A)}{P(x)}$$

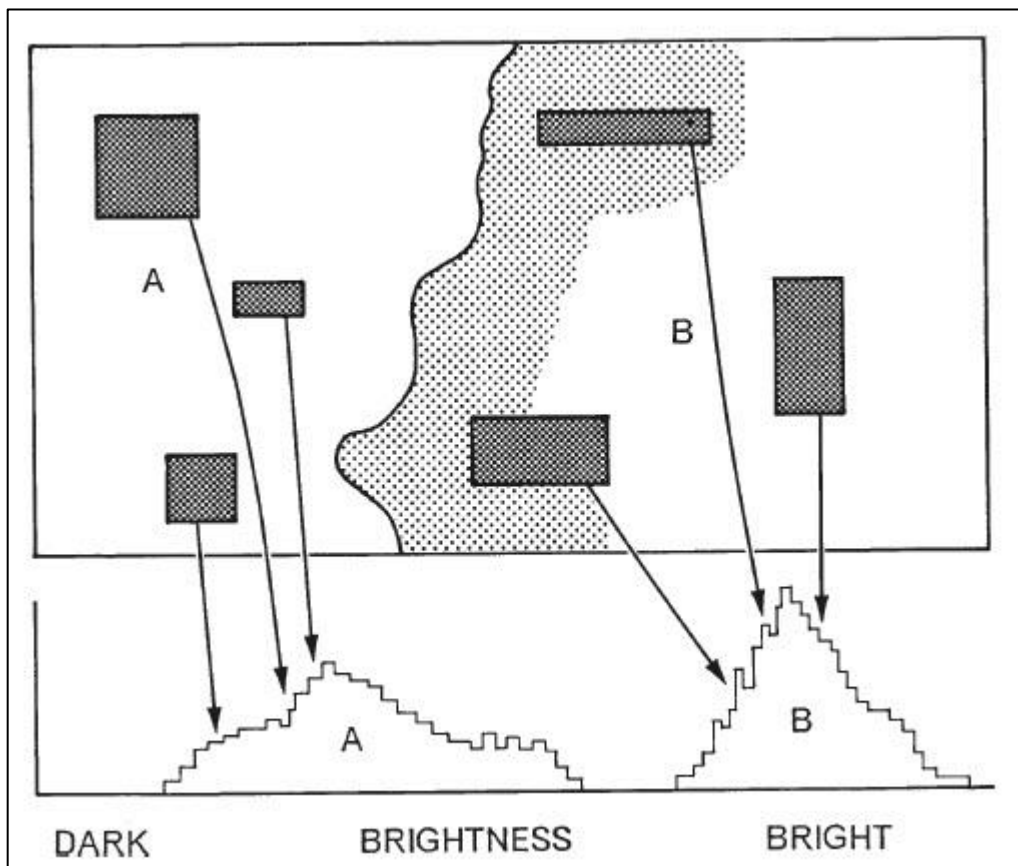
όπου $P(A)$ είναι η πιθανότητα της εμφάνισης της φασματικής κλάσης A στην εικόνα.

Άρα το κριτήριο απόφασης για την ταξινόμηση ενός pixel x γίνεται

$X \in A$ αν $P(x|A)P(A) > P(x|B)P(B)$ για όλα τα $A \neq B$.

2.6.3 ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Στην περίπτωση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι αναγκαίο να γίνει ως πρώτο στάδιο η εκπαίδευση του αλγορίθμου. Αυτό γίνεται από τον αναλυτή με την υποδείξη περιοχών της εικόνας των οποίων είναι γνωστή η κάλυψη. Αυτές οι υποδείξεις καλούνται δεδομένα εκπαίδευσης (training set).



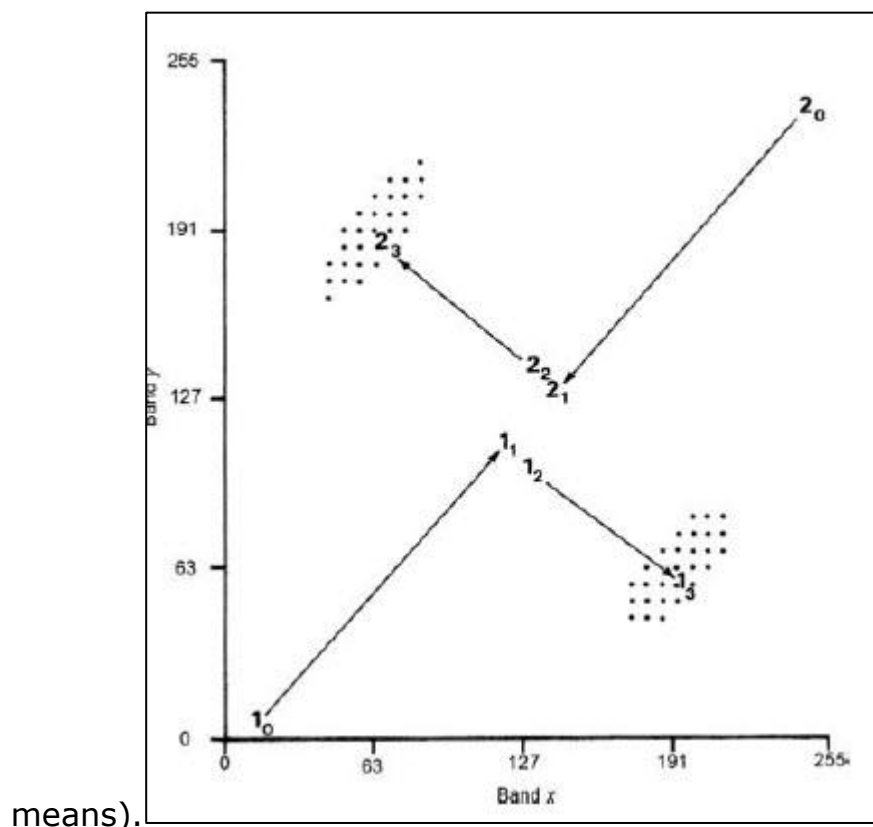
Εικόνα 23. Περιοχές εκπαίδευσης

Είναι πολύ σημαντικό στάδιο διότι η ταξινόμηση γίνεται βάση αυτών των δεδομένων και τυχόν σφάλμα στην υπόδειξη των περιοχών εκπαίδευσης θα σημάνει ανακρίβεια στην ταξινόμηση. Ακολουθεί η χρήση του κατάλληλου αλγορίθμου ταξινόμησης και το τελικό προϊόν είναι μια εικόνα σε κάθε pixel της οποίας έχει αυτόματα αντιστοιχηθεί η ετικέτα της κλάσης στην οποία ανήκει το pixel.

2.6.4 ΜΗ ΕΠΟΠΤΕΥΟΜΕΝΟΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΕΣ

Αντικειμενικός στόχος των μη εποπτευόμενων ταξινομητών είναι η εύρεση φυσικών ομάδων εικονοστοιχείων (clusters) σε μια εικόνα.

Αλγόριθμος των μετακινούμενων μέσων τιμών των ομάδων(K-



Εικόνα 24. Αλγόριθμός K-means. 1ο και 2ο είναι τα αρχικά κέντρα συσσώρευσης των pixel(Mather,1991)

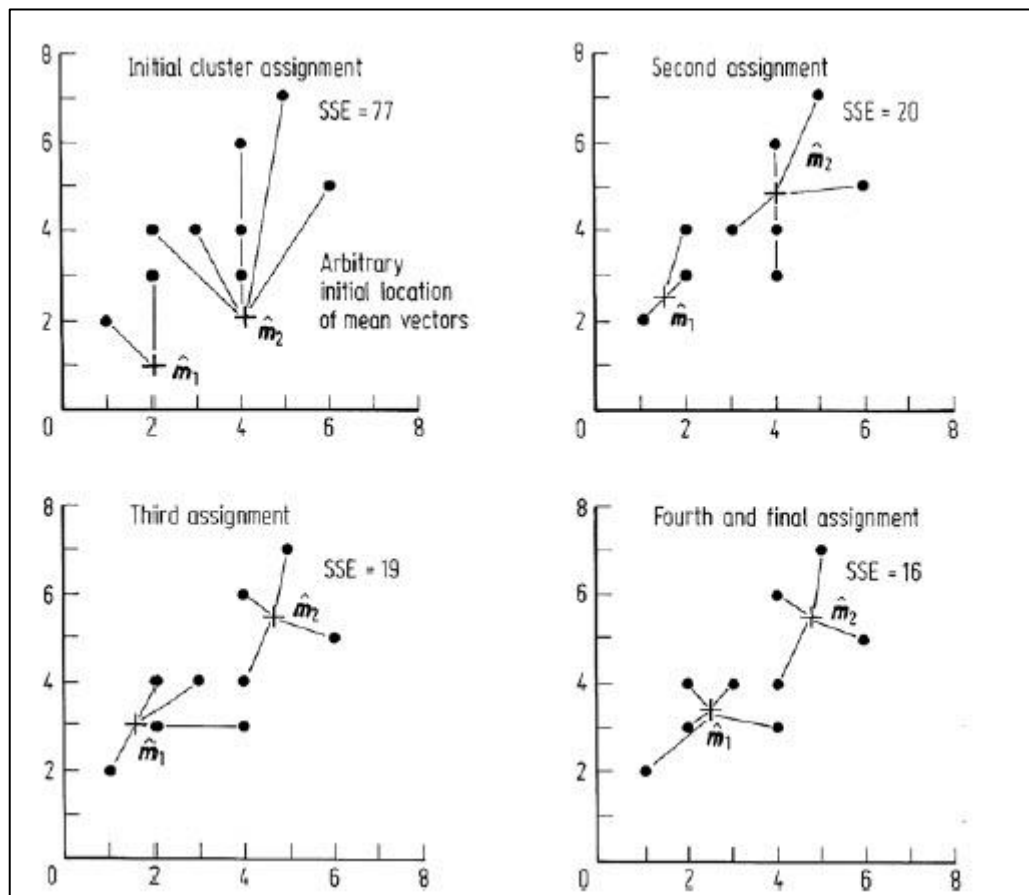
Κριτήρια ταξινόμησης στον αλγόριθμο K-means είναι οι θέσεις των ψηφίδων στην εικόνα και οι φασματικές ιδιότητες τους. Κατά την εκτέλεση αυτού του αλγορίθμου, αρχικά επιλέγονται κάποια pixel στον πολυφασματικό χώρο ως πιθανά κέντρα συσσώρευσης φασματικών κλάσεων. Τα κέντρα επιλέγονται τυχαία, αλλά ομοιόμορφα. Έπειτα κάθε pixel καταχωρείται στην κλάση εκείνη της οποίας το κέντρο απέχει λιγότερο από το pixel. Μέτρο αυτής της απόστασης είναι συνήθως η Ευκλείδεια απόσταση. Αφού έχει εκτελεστεί με αυτό τον τρόπο η ομαδοποίηση (clustering), δημιουργείται ένα νέο σύνολο κέντρων συσσωρεύσεων των pixel. Εάν η απόσταση των τελικών κέντρων από τα αρχικά είναι ασήμαντη, τότε η διαδικασία τερματίζεται. Σε αντίθετη περίπτωση επαναλαμβάνεται το δεύτερο βήμα έως ότου να ισχύσει αυτή η συνθήκη.

Ο αναλυτής καθορίζει ένα διάστημα ανοχής της φωτεινότητας, μέσα στα όρια του οποίου οφείλουν να κινούνται τα ομοειδή εικονοστοιχεία της ίδιας ομάδας. Το όριο αυτό καθορίζεται συνήθως από την τυπική απόκλιση της φωτεινότητας των pixel μιας εικόνας που έχουν δημιουργήσει μια ομάδα. Εάν η φωτεινότητα ενός pixel βρίσκεται εντός του διαστήματος ανοχής, γίνεται δεκτό στην ομάδα.

ISODATA

Πρόκειται ουσιαστικά για εξέλιξη του K-means, που έγινε από τους Ball και Hall το 1965. Αυτοί πρόσθεσαν 2 επιπλέον βήματα στον αλγόριθμο. Το πρώτο είναι η συνένωση και απαλοιφή clusters. Μετά την δημιουργία των ομάδων, όσες είναι πολύ μικρές απαλείφονται και όσες είναι αρκετά κοντά συγχωνεύονται σε μια νέα ομάδα. Το δεύτερο βήμα αφορά στην κατάτμηση clusters. Αν η

διασπορά των ριxel μιας ομάδας είναι αρκετά μεγάλη, τότε η ομάδα αυτή υποδιαιρείται σε δυο ομάδες.



Εικόνα 25. Ο αλγόριθμος ISODATA (Mather, 1991)

Ο αλγόριθμος ISODATA απαιτεί να καθοριστούν περισσότερες παράμετροι κατά την ταξινόμηση και να υπολογίζονται τα όρια της διασποράς, άρα είναι πολύπλοκος υπολογιστικά.

Ιεραρχική ομαδοποίηση

Ο αλγόριθμος αυτός ξεκινάει με την παραδοχή ότι όλες οι ψηφίδες αποτελούν ανεξάρτητες ομάδες φασματικών κλάσεων. Κατόπιν συστηματικά τις συγχωνεύει σε όλο και μεγαλύτερες ομάδες, ελέγχοντας συγχρόνως τις αποστάσεις των μέσων τιμών των clusters που προκύπτουν. Το ιστορικό της διαδικασίας συγχώνευσης

καταγράφεται σε ένα δενδρόγραμμα, το οποίο απεικονίζει σε ποιές αποστάσεις μεταξύ των κέντρων συγχωνεύτηκαν οι ομάδες των ψηφίδων.

2.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

2.7.1 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Είναι κοινός τόπος ότι πάντοτε υπάρχουν σφάλματα στην ταξινόμηση μιας τηλεπισκοπικής απεικόνισης. Σφάλμα ταξινόμησης είναι η αντιστοίχιση ενός εικονοστοιχείου κάποιας κατηγορίας σε μια άλλη κατηγορία. Τα σφάλματα δεν παρουσιάζουν τυχαία κατανομή σε όλη την εικόνα, αλλά ως ένα βαθμό εμφανίζονται με συστηματικό τρόπο. Λάθος ταξινομημένα εικονοστοιχεία εμφανίζονται ομαδοποιημένα κυρίως στα όρια της εικόνας ή στα χωρικά όρια των κλάσεων. Προκύπτει ότι για κάποια pixel δεν ήταν ξεκάθαρο σε ποια κλάση ανήκαν και έτσι ο ταξινομητής τα τοποθέτησε σε λάθος κλάση. Στην μη εποπτευόμενη ταξινόμηση τα σφάλματα προέρχονται από πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της χωρικής δομής του ανάγλυφου, της διαχωριστικής ικανότητας του δέκτη, των αλγόριθμων επεξεργασίας και της μεθοδολογίας ταξινόμησης. Στην εποπτευόμενη ταξινόμηση πηγές των σφαλμάτων είναι η κακή επιλογή των δεδομένων εκπαίδευσης του αλγορίθμου, η εσφαλμένη επιλογή μεθόδου ταξινόμησης, η υπερβολική γενίκευση.

2.7.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Σύμφωνα με τους Lillesand και Kieffer (1987) η ακρίβεια της ταξινόμησης εκφράζεται μέσα από την μήτρα σύγχυσης ή σφάλματος (confusion – error matrix) από την οποία υπολογίζονται η συνολική ακρίβεια (overall accuracy), η ακρίβεια του χρήστη (user's accuracy)

και η ακρίβεια παραγωγού (producer's accuracy). Η ακρίβεια του χρήστη αφορά την πιθανότητα του δείγματος της ταξινομημένης εικόνας να αναπαριστά σωστά την κάλυψη/χρήση γης και υπολογίζεται για κάθε κλάση ως τα pixel που βρίσκονται στην κύρια διαγώνιο της μήτρας λαθών δια τα συνολικά pixel της κατηγορίας. Η ακρίβεια παραγωγού ενδιαφέρεται για το πόσα δείγματα από τα στοιχεία αναφοράς μπόρεσε ο αλγόριθμος ταξινόμησης να τα καταχωρίσει σωστά. Υπολογίζεται για κάθε κλάση ως τα pixel που βρίσκονται στην κύρια διαγώνιο της μήτρας λαθών δια τα συνολικά training pixel της κατηγορίας.

Η μήτρα σύγχυσης αποτελεί μια τετράγωνη διάταξη αριθμών σε γραμμές και στήλες, όπου συνήθως οι γραμμές αναπαριστούν τα δεδομένα ταξινόμησης και οι γραμμές τα δεδομένα αναφοράς, παρουσιάζοντας τον αριθμό των δειγμάτων-εικονοστοιχείων που αποδίδονται σε μια συγκεκριμένη κλάση σε σχέση με την υφιστάμενη πραγματικότητα που επαληθεύεται από τα δεδομένα υπαίθρου. Η κύρια διαγώνιος του πίνακα αντιστοιχεί σε συμφωνία μεταξύ των δεδομένων εκπαίδευσης και των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης. Ο πίνακας αυτός αποτελεί ένα αποτελεσματικό τρόπο αναπαράστασης της συνολικής ακρίβειας και ταυτόχρονα της ακρίβειας κάθε κλάσης, που περιγράφεται με τα σφάλματα συμπερίληψης (commission errors) και τα σφάλματα παράλειψης (omission errors). Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης (overall accuracy) αποτελεί μια απλή μέτρηση συμφωνίας και υπολογίζεται από τις τιμές των κελιών που βρίσκονται στην κύρια διαγώνιο της μήτρας και συγκεκριμένα από το πηλίκο του αθροίσματος των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων προς τον συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στην μήτρα σύγχυσης.

Η μήτρα παρέχει μια συνολική εκτίμηση της ακρίβειας ενός θεματικού χάρτη, χωρίς όμως να δίνει πληροφορίες σχετικά με το

εύρος και την μεταβολή της ακρίβειας, την χωρική κατανομή των σφαλμάτων σε κάθε σημείο του χάρτη, ή την σχέση ανάμεσα στα σφάλματα και τις κλάσεις της χρήσης/κάλυψης γης.

Classification data	Reference data						Row total
	Row crops	Early succession	Pasture or hay	Coniferous forest	Deciduous forest	Open water	
Row crops	46	3	11	0	0	0	60
Early succession	5	58	4	5	4	0	76
Pasture or hay	7	1	55	0	0	0	63
Coniferous forest	0	1	0	64	3	0	68
Deciduous forest	0	3	0	9	1	0	13
Open water	0	0	0	1	1	10	12
Column total	58	66	70	79	9	10	292

Εικόνα 26. Μήτρα λαθών

Μέτρο της ακρίβειας της ταξινόμησης είναι και ο συντελεστής Κ (KAPPA statistic ή K^{hat}). Ο συντελεστής Κ είναι το μέτρο της διαφοράς ανάμεσα στην πραγματική συμφωνία μεταξύ δεδομένων αναφοράς και δεδομένων ταξινόμησης και την τυχαία συμφωνία μεταξύ δεδομένων αναφοράς και δεδομένων ταξινόμησης.

$$K = \frac{\text{ακρίβεια που παρατηρείται} - \text{τυχαία συμφωνία}}{1 - \text{τυχαία συμφωνία}}$$

Είναι μέτρο του κατά πόσο το ποσοστό επιτυχίας μιας μήτρας λαθών οφείλεται σε αληθή συμφωνία δεδομένων εκπαίδευσης – δεδομένων ταξινόμησης ή σε τυχαία συμφωνία.

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

Όπου Ν είναι ο αριθμός των στοιχείων της μήτρας

x_{i+} είναι το άθροισμα της γραμμής i

x_{+i} είναι το άθροισμα της στήλης i

x_{ii} είναι τα στοιχεία της διαγωνίου της μήτρας λαθών

Η τιμή $KAPPA=0,67$ σημαίνει ότι η ταξινόμηση που πραγματοποιήθηκε με τα δεδομένα εκπαίδευσης που επέλεξε ο αναλυτής είναι 67% καλύτερη από μια τυχαία ταξινόμηση. Τιμή $KAPPA=1$ αντιστοιχεί σε μια ιδανική περίπτωση, ενώ $KAPPA=0$ σημαίνει ότι η ταξινόμηση είναι τυχαία. Σπάνια παρατηρούνται και αρνητικές τιμές $KAPPA$, οι οποίες σηματοδοτούν πολύ κακή απόδοση του ταξινομητή.

2.7.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Έστω η μήτρα λαθών που προέκυψε από μια ταξινόμηση

	φυλλοβόλα	κωνοφόρα	Γυμνό έδαφος	θάμνοι	Άθροισμα γραμμής
φυλλοβόλα	65	4	22	24	115
κωνοφόρα	6	81	5	8	100
Γυμνό έδαφος	0	11	85	19	115
θάμνοι	4	7	3	90	104
Άθρ. στήλης	75	103	115	141	434

Υπολογίζονται οι δείκτες ακρίβειας

Συνολική ακρίβεια: άθροισμα κύριας διαγωνίου/σύνολο pixel

$$(65+81+85+90)/434=74\%$$

Η συνολική ακρίβεια δίνει την πληροφορία ότι πρόκειται για μια αρκετά ακριβής ταξινόμηση. Εάν το ζητούμενο είναι να ταξινομηθεί η κλάση των φυλλοβόλων, τότε θα πρέπει να ελεγχθεί η ικανότητα αυτής της ταξινόμησης να ταξινομεί με ακρίβεια την κλάση των

φυλλοβόλων. Θα πρέπει τότε να υπολογιστεί η ακρίβεια παραγωγού για την κλάση.

Ακρίβεια παραγωγού για την κλάση φυλλοβόλων: $65/75=87\%$.

Άρα αυτή η ταξινόμηση είναι ικανή να ταξινομήσει τα φυλλοβόλα με αρκετή ακρίβεια. Παρόλα αυτά, ο υπολογισμός της ακρίβειας χρήστη για αυτή την κλάση δίνει

Ακρίβεια χρήστη για την κλάση φυλλοβόλων: $65/115=57\%$

Από τον παραπάνω συλλογισμό προκύπτει το συμπέρασμα ότι παρόλο που το 87% των φυλλοβόλων ταξινομήθηκαν σωστά, *μόνο* το 57% των περιοχών που ταξινομήθηκαν στην κλάση «φυλλοβόλα» είναι όντως φυλλοβόλα. (Congalton, 1991)

Γίνεται λοιπόν προφανές ότι σε κάθε περίπτωση, κρίνεται αναγκαίο να αναφέρονται και οι δυο μετρήσεις για την καλύτερη εκτίμηση της ακρίβειας, διότι η αναφορά μόνο μιας από τις δύο μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

2.7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ

Σε γενικές γραμμές γίνεται συγκρίνοντας τους συντελεστές KAPPA. Αυτή η σύγκριση προϋποθέτει ότι ο υπολογισμός των KAPPA έχει γίνει λαμβάνοντας υπ' όψιν ορισμένες αρχές. Σύμφωνα με τον Congalton (2005) η πιο ουσιώδης αρχή είναι η συλλογή δεδομένων αναφοράς (reference ή test data) *διαφορετικών* από τα δεδομένα εκπαίδευσης. Στην περίπτωση που δημιουργηθεί μήτρα λαθών και υπολογιστεί ο δείκτης KAPPA από τα δεδομένα εκπαίδευσης του αλγορίθμου, τότε ο δείκτης KAPPA υπερεκτιμά την ακρίβεια της ταξινόμησης. Είναι, πιο απλά, σαν να δοκιμάζουμε την ικανότητα του ταξινομητή να διαχωρίζει τις διάφορες κλάσεις με δεδομένα που εκ

των προτέρων γνωρίζουμε ότι θα ταξινομηθούν σωστά. Παρόλα αυτά, ο υπολογισμός του KAPPA από τα δεδομένα εκπαίδευσης ήταν στο παρελθόν μια συνήθης πρακτική.

Δεύτερον, είναι αναγκαίο τα δεδομένα αναφοράς, είτε πρόκειται για τυχαία pixel, είτε για ομάδες να έχουν μια σχετική απόσταση μεταξύ τους. Αυτό για να μειωθεί όσο το δυνατόν η χωρική αυτοσυσχέτιση. Η χωρική αυτοσυσχέτιση (spatial autocorrelation) δεν τίποτα άλλο, παρά η τάση γειτονικών pixel να επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά ή τις ιδιότητες των γειτονικών τους pixel (Cliff & Ord, 1973).

Τρίτον, το πόσα δεδομένα αναφοράς (sampling size) θα συλλεχθούν είναι παράγοντας που επηρεάζει την εγκυρότητα του αποτελέσματος της εκτίμησης της ακρίβειας της ταξινόμησης. Ένας καλός κανόνας που μπορεί να ακολουθηθεί σε πρακτικό επίπεδο, είναι η συλλογή 50 με 100 δειγμάτων ανά κλάση που ταξινομείται (Cogalton & Green, 1999).

Για την σύγκριση μεταξύ δύο KAPPA, χρησιμοποιείται το Z-test (Smits, 1999; Foody, 2004)

$$Z = \frac{K1 - K2}{\sqrt{\sigma_{k1}^2 + \sigma_{k2}^2}}$$

Όπου, K1 ο δείκτης KAPPA της πρώτης ταξινόμησης

K2, ο δείκτης KAPPA της δεύτερης ταξινόμησης

σ_{k1}^2 η διακύμανση του K1 και σ_{k2}^2 η διακύμανση του K2.

Η χρήση του Z-test προϋποθέτει ότι κάθε KAPPA έχει υπολογιστεί από διαφορετικά δεδομένα αναφοράς και ότι η μηδενική υπόθεση που δοκιμάζεται είναι η:

$H_0: K1=K2$,η οποία απορρίπτεται με διάστημα εμπιστοσύνης 0,05, δηλαδή όταν είναι $|Z| > 1,96$.

2.8 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

2.8.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για να είναι εφικτή η ποσοτικοποίηση και έκφραση της θερμικής αίσθησης του ανθρώπου όπως αυτή διαμορφώνεται από τις περιβαλλοντικές –ατμοσφαιρικές συνθήκες έχουν επινοηθεί διάφοροι δείκτες. Αυτοί οι δείκτες, γνωστοί ως Βιομετεωρολογικοί – Βιοκλιματικοί δείκτες, προκύπτουν από τον μαθηματικό συνδυασμό διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και η υγρασία αέρος, η ταχύτητα ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία στις διάφορες εκφράσεις της. Σε κάποιους από τους δείκτες αυτούς εισάγονται και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντα χώρου όπως και δεδομένα που αφορούν στα άτομα που δέχονται την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Ένας διαχωρισμός των δεικτών αυτών μπορεί να γίνει με βάση τις θερμομετρικές συνθήκες (*Ματζαράκης 1995*), ως ακολούθως:

1. Δείκτες που αναφέρονται στο ψυχρό περιβάλλον: Στην περίπτωση αυτή έχουμε το συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου, όπως οι δείκτες απόψυξης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της στροβιλώδους μεταφοράς αισθητής θερμότητας.
2. Δείκτες οι οποίοι αναφέρονται στο θερμό περιβάλλον: Σε αυτούς γίνεται συνδυασμός της θερμοκρασίας του αέρα με διάφορες παράμετρους υγρασίας για τη μελέτη της εξάτμισης, που προκαλείται από το ανθρώπινο σώμα.

Οι δείκτες που εφαρμόζονται σε θερμά περιβάλλοντα ενδιαφέρουν ιδιαίτερα τον Ελλαδικό χώρο, γιατί η όποια επιβάρυνση από το θερμικό περιβάλλον προέρχεται συνήθως από υψηλές θερμοκρασίες και σπανιότερα από χαμηλές. Αυτό δεν οφείλεται μόνο στις γενικότερες κλιματικές συνθήκες της περιοχής αλλά και σε ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία διαμορφώνονται τοπικά. Πιο συγκεκριμένα λόγω της διόγκωσης των αστικών κέντρων (ως αποτέλεσμα της αστυφιλίας) το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας εντείνεται και επεκτείνεται διαρκώς. Απόρροια του φαινομένου αυτού είναι η αύξηση της θερμοκρασίας των πόλεων στις οποίες κατοικεί το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της χώρας.

2.8.2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Το περιβάλλον ως έννοια, περιλαμβάνει το σύνολο των φυσικών ή τεχνητών συνθηκών μέσα στις οποίες ζουν και αναπτύσσονται τα έμβια όντα. Στην περίπτωση των επιστημών της ατμόσφαιρας, η έννοια του περιβάλλοντος μπορεί να περιοριστεί στα στοιχεία ή στις διεργασίες που επηρεάζουν και αλληλεπιδρούν με αυτή. Το βασικότερο χαρακτηριστικό του περιβάλλοντος που καθορίζει την ποιοτική και ποσοτική επιρροή του στις βιοκλιματικές συνθήκες, είναι η διαμόρφωσή του. Με τον όρο διαμόρφωση, εννοείται ο συνδυασμός της *γεωμετρίας* (φυσικής ή τεχνητής) και τα *υλικά* που συνέβαλαν στη σύνθεσή της.

Δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί ποιο από τα δυο αυτά χαρακτηριστικά (γεωμετρία ή υλικά) διαδραματίζει σπουδαιότερο ρόλο στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών συνθηκών, γιατί οι ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι ευμετάβλητες και οι αλληλεπιδράσεις περίπλοκες (*Lowry 1969*).

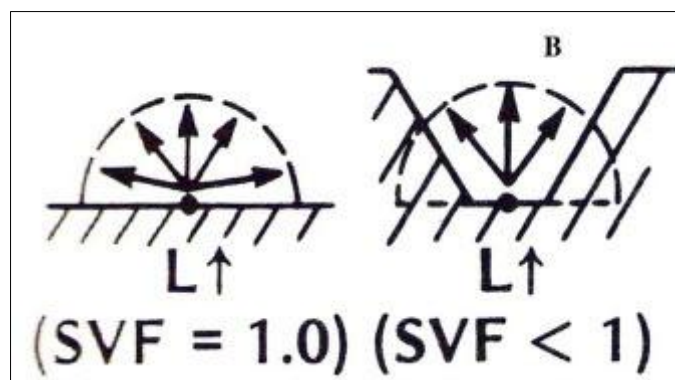
Μια περίπτωση έντονα τροποποιημένου περιβάλλοντος είναι το αστικό σε σύγκριση με τις υπόλοιπες συχνά απαντώμενες διαμορφώσεις (δασικό, περιαστικό, αγροτικό κ.α.). Έτσι στον αστικό χώρο παρατηρούνται γενικά αυξημένες τιμές θερμοκρασίας και μειωμένης σχετικής υγρασίας, οι οποίες αποδίδονται στο μεγάλο όγκο των δομικών υλικών. Παράλληλα, διαμορφώνονται μειωμένες τιμές ακτινοβολίας λόγω της αυξημένης ρύπανσης και χαμηλότερες τιμές ταχύτητας ανέμου λόγω της τραχύτητας της επιφάνειας της αστικής περιοχής, χαρακτηριστικά που έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών του συνθηκών (*Akinbode et al. 2008*).

Συνολικά, η επίδραση του δομημένου χώρου στις ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι τόσο μεγάλη που προέκυψε η ανάγκη για τον καθορισμό ενός ξεχωριστού τύπου κλίματος, του αστικού, που είναι τόσο διαφοροποιημένο ώστε να το εξετάζει ξεχωριστός κλάδος των ατμοσφαιρικών επιστημών, η Αστική Κλιματολογία (*Oliver 2005*).

2.8.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

Η γεωμετρία του χώρου είναι ένα από τα βασικά συστατικά της διαμόρφωσης περιβάλλοντος αφού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη σκίαση και τη ροή του ατμοσφαιρικού αέρα. Στην πράξη, ο σχεδιασμός ενός χώρου, σε όποια κλίμακα διαστάσεων και αν αναφέρεται, από μια ολόκληρη αστική περιοχή έως την αυλή μιας μεμονωμένης κατοικίας, μπορεί να τροποποιήσει τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τις τιμές των παραμέτρων όπως τη θερμοκρασία και την υγρασία αέρος, την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου και τέλος το ισοζύγιο των ακτινοβολιών. Η σημασία της γεωμετρικής διαμόρφωσης στη μελέτη των ατμοσφαιρικών συνθηκών οδήγησε

στην επινόηση μιας βασικής παραμέτρου μέσω της οποίας γίνεται δυνατή η περιγραφή της και η ένταξη της σε μαθηματικά πρότυπα (μοντέλα) που περιγράφουν τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου, την εξάπλωση της θερμικής ρύπανσης έως και τη διασπορά των ρύπων (Matzarakis et al. 2009). Η παράμετρος αυτή είναι ο Συντελεστής Θέαςσης του Ουράνιου Θόλου Sky View Factor (SVF).



Εικόνα 27.Ο Συντελεστής Θέαςσης του Ουράνιου Θόλου

Η παράμετρος SVF είναι ένα αδιάστατο μέγεθος που μπορεί να πάρει τιμές από 0.0 έως και 1.0 το οποίο υποδηλώνει το ποσοστό του ουράνιου θόλου (ημισφαίριο) που είναι ορατό από τον παρατηρητή από μια συγκεκριμένη θέση στο χώρο. Όταν δεν υπάρχει κανένα τμήμα του ουράνιου θόλου που να είναι ορατό τότε ο SVF λαμβάνει την τιμή 0.0 και όταν αντίθετα είναι ορατό το σύνολό του λαμβάνει την τιμή 1.0. Στην περίπτωση των κτιρίων, η θέαση του ουράνιου θόλου εξαρτάται από το εμβαδό του κτιρίου. Πολλές μελέτες συσχετίζουν μέσω αυτής, τη γεωμετρική διαμόρφωση με την ένταση της Αστικής Θερμικής Νησίδας – Urban Heat Island σε πολλές περιοχές του πλανήτη και σε διαφορετικές μορφές του αστικού χώρου (Arnfield 2003).

Εκτός των προαναφερθέντων, η γεωμετρική διαμόρφωση του χώρου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, στη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στις επιφάνειές των στοιχείων του χώρου (Eliasson 1992; Unger 2004). Η επίδραση όμως της γεωμετρικής διαμόρφωσης

είναι πιο έντονη και άμεση στην περίπτωση της παραμέτρου T_{mrt} (Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας) που είναι η πιο καθοριστική παράμετρος της θερμικής άνεσης του ανθρώπου και είναι απαραίτητη στον υπολογισμό των δεικτών Physiological Equivalent Temperature (PET), Predicted Mean Vote (PMV) και Standard Effective Temperature (*SET) που αυτή τη στιγμή είναι και τα σπουδαιότερα εργαλεία αξιολόγησης των βιοκλιματικών συνθηκών (*Emmanuel et al. 2007; Alcoforado et al. 2009*).

Τέλος, όπως είναι φυσικό, η διάταξη του τεχνητού ή φυσικού περιβάλλοντος και η τοπογραφία της περιοχής, η οποία εκφράζεται με την κλίση και την έκθεση του ανάγλυφου, καθορίζουν τον τρόπο ροής του ατμοσφαιρικού αέρα με αποτέλεσμα να διαμορφώνουν τόσο την ταχύτητα όσο και τη διεύθυνση του ανέμου (*Mochida et al. 2008*). Η ταχύτητα του ανέμου είναι μια από τις βασικές παραμέτρους που επιδρά στις βιοκλιματικές συνθήκες και κατά συνέπεια τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου σε ένα χώρο (*Fanger 1972*).

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι κάθε προσπάθεια υπολογισμού βιοκλιματικών συντελεστών εντός του αστικού περιβάλλοντος πρέπει απαραίτητα να περιλαμβάνει τον υπολογισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών όπως το εμβαδό και η περίμετρος των κτιρίων και των τοπογραφικών χαρακτηριστικών, όπως η κλίση και η έκθεση του ανάγλυφου.

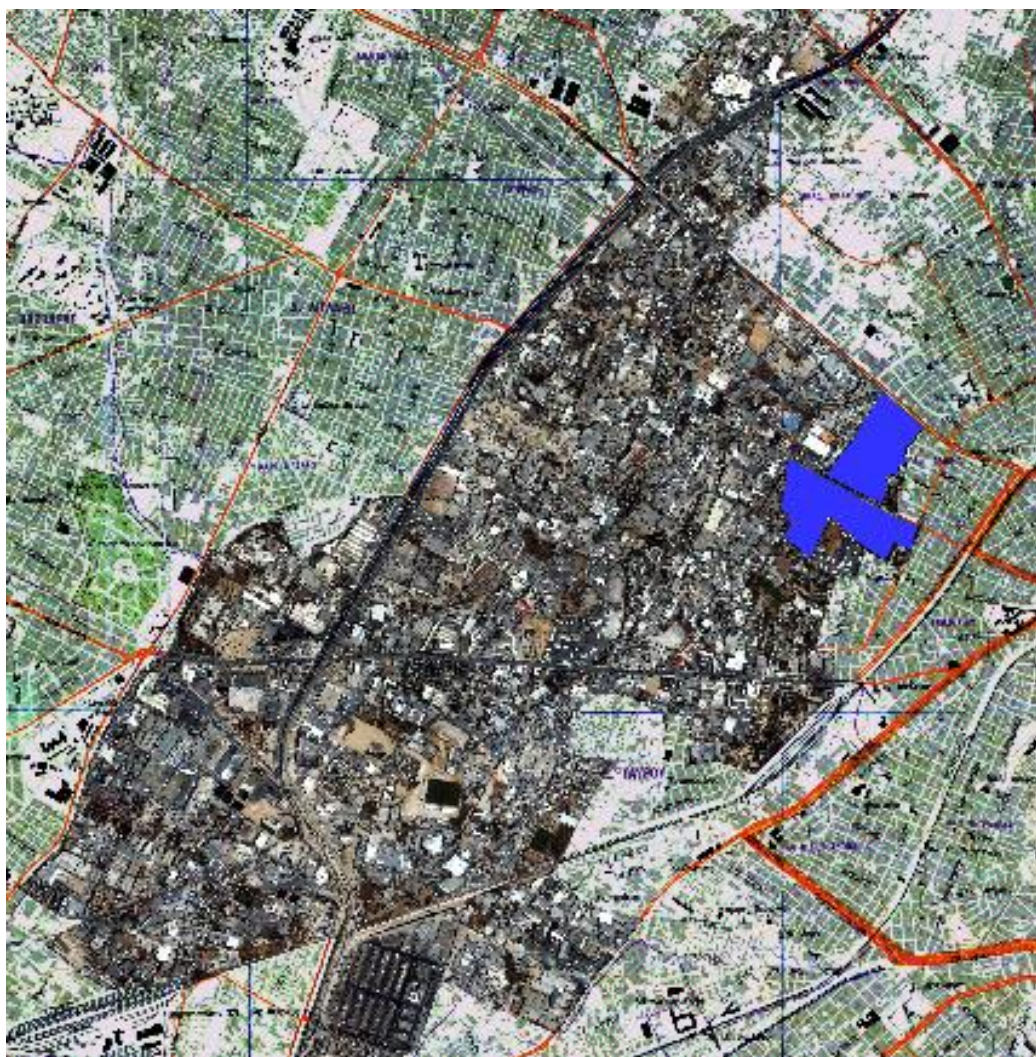
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ

Ο Ελαιώνας αποτελεί ένα ζωτικό χώρο στην καρδιά της Αθήνας. Κατέχει νευραλγική θέση αφού απέχει μόνο 3 χιλιόμετρα από την Ομόνοια και μόνο 2 χλμ. από την Ακρόπολη. Η περιοχή του Ελαιώνα είναι σε θέση κρίσιμη για την ανάπτυξη του αστικού Συγκροτήματος της Πρωτεύουσας και καταλαμβάνει κεντρικό τμήμα του Λεκανοπεδίου. Αναπτύχθηκε κυρίως κατά μήκος μεγάλων οδικών αξόνων (Λ. Αθηνών, Λ. Κηφισού, Ιερά Οδός, Π. Ράλλη, Πειραιώς Κωνσταντινουπόλεως) καθώς και κατά μήκος της σιδηροδρομικής γραμμής του ΟΣΕ.



Εικόνα 28. Αποψη περιοχής του Ελαιώνα (www.greekscapes.gr)

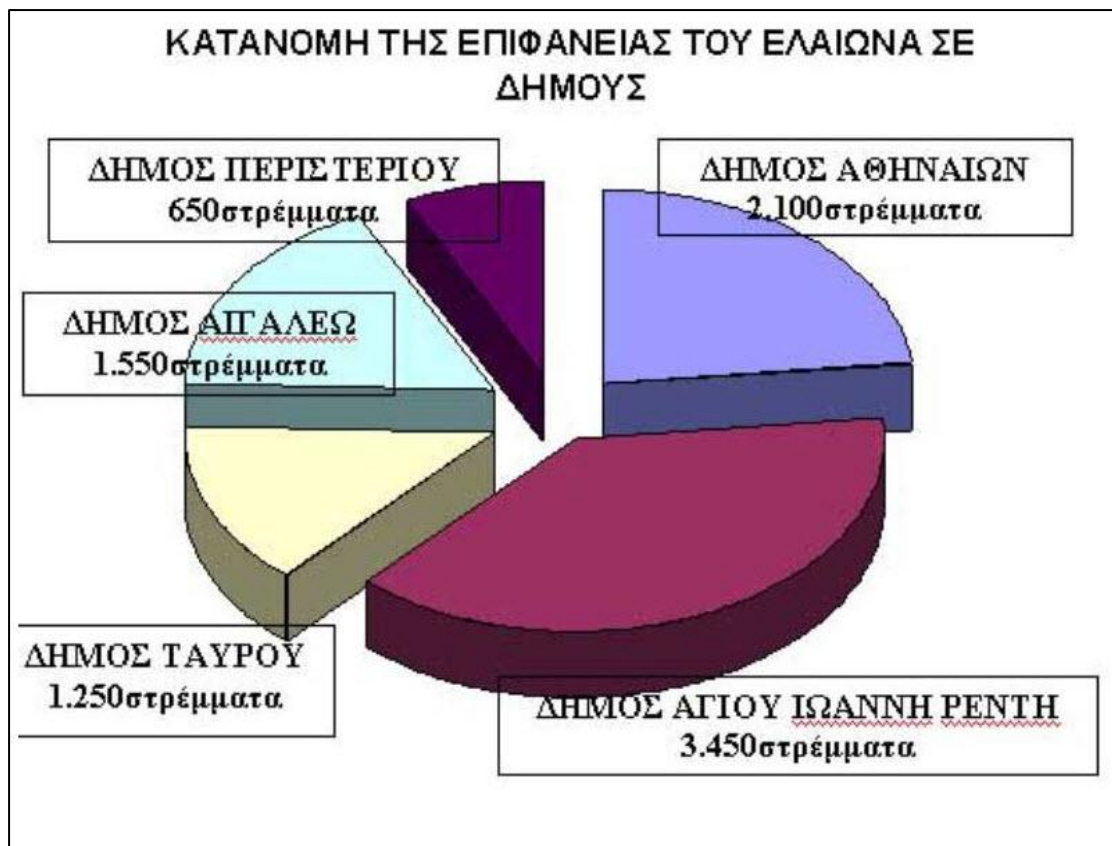


Εικόνα 29. Η περιοχή του Ελαιώνα από IKONOS-2 σε υπέρθεση του τοπογραφικού χάρτη της περιοχής. Η θέση του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών είναι σκιασμένη.



Εικόνα 30. Τρισδιάστατη χωροθέτηση της περιοχής του Γ.Π.Α. Διακρίνονται οι κύριες οδικές αρτηρίες γύρω από το Πανεπιστήμιο, τα όρη Αιγάλεω και Υμηττός, καθώς και ο όρμος του Φαλήρου

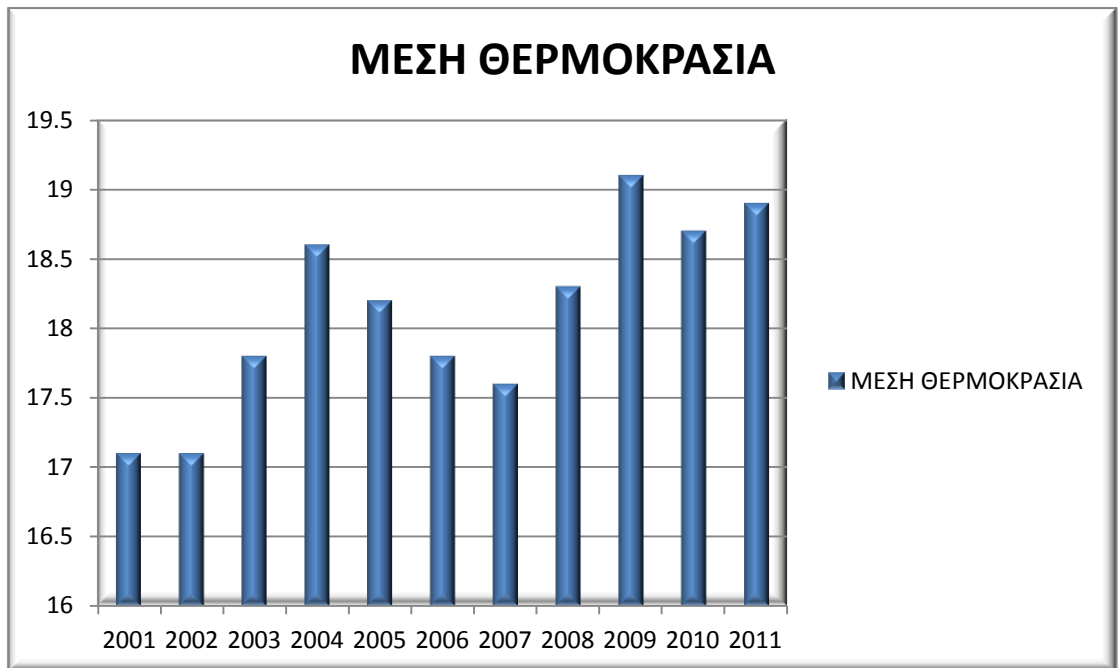
Είναι η τελευταία μεγάλη περιοχή που έμεινε εκτός σχεδίου. Ο Ελαιώνας έχει συνολική έκταση 9000 στρέμματα και αποτελείται από πέντε κομμάτια, τα οποία κατέχουν οι δήμοι: Αγίου Ιωάννου Ρέντη (3.450 στρέμματα), Αθηνών (2.000 στρ.), Αιγάλεω (1.550 στρ.) Ταύρου (1.200 στρ.) και Περιστερίου (500 στρ.).



Εικόνα 31. Κατανομή της επιφάνειας του Ελαιώνα σε δήμους.

3.2 ΚΛΙΜΑ

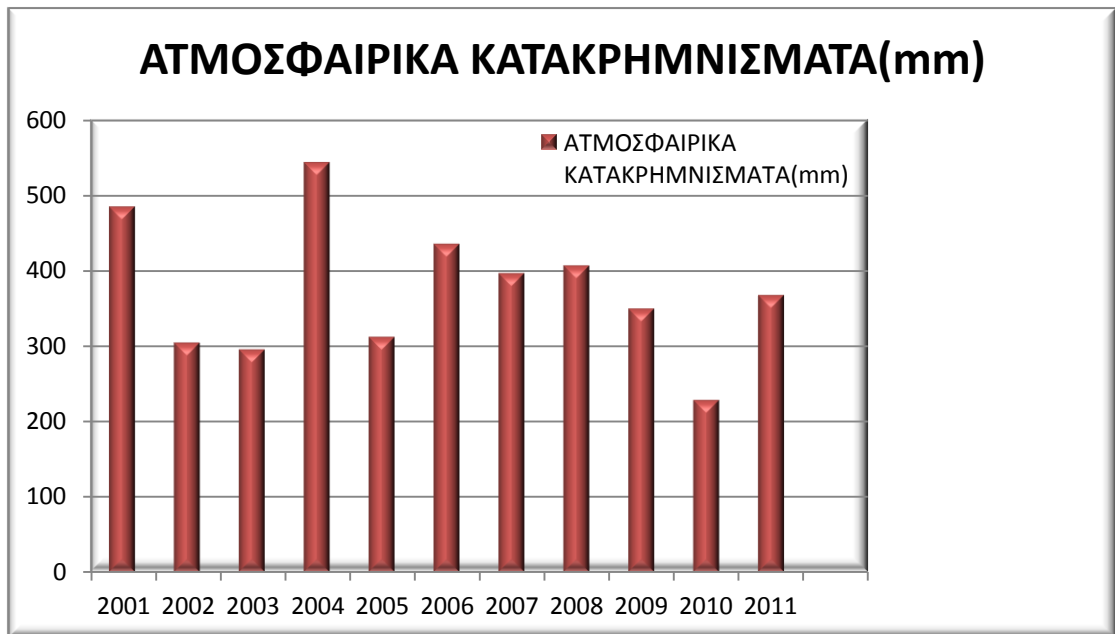
Τα στοιχεία του Μετεωρολογικού Σταθμού του Γ.Π.Α για την δεκαετία 1991-2001 δείχνουν ότι ο Ελαιώνας παρουσιάζει το τυπικό κλίμα της Αττικής, το οποίο χαρακτηρίζεται ξηροθερμικό, με θερμό καλοκαίρι και ήπιο χειμώνα. Οι βροχοπτώσεις είναι λίγες, ενώ η ηλιοφάνεια είναι άπλετη, ειδικά τους θερινούς μήνες. Δεν είναι τυχαίο λοιπόν ότι το δέντρο που κυριαρχούσε στο μεγαλύτερο μέρος της ιστορίας του Ελαιώνα, είναι η ελιά.



Διάγραμμα 1. Διαχρονικά δεδομένα θερμοκρασίας από τον μετεωρολογικό σταθμό του Γ.Π.Α



Διάγραμμα 2. Διαχρονικά δεδομένα μέσης σχετικής υγρασίας από τον μετεωρολογικό σταθμό του Γ.Π.Α



Διάγραμμα 3. Ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων από τον μετεωρολογικό σταθμό του Γ.Π.Α

3.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε όλη την μακραίωνη διαδρομή από τον Ακάδημο και το Πλάτωνα μέχρι τα μέσα του 1940, ο Ελαιώνας διατήρησε την ταυτότητα του και τη φυσιογνωμία του. Διατήρησε τους δεσμούς του και τη συμβατότητά του με το Αττικό τοπίο, την ιστορία και τον πολιτισμό της Αθήνας. Συνολικά 9.000 χιλιάδες στρέμματα γης κοντά στο κέντρο και στους αρχαιολογικούς χώρους της Αθήνας, ανάμεσα στο Κηφισό ποταμό, τα δυτικά προάστια, το Περιστέρι το Πειραιά μετατράπηκαν σταδιακά μετά το πόλεμο από αγροτική γη σε βιομηχανική χωρίς πρόγραμμα και χωρίς υποδομή.

3.3.2 ΑΡΧΑΙΟΣ ΕΛΑΙΩΝΑΣ

Κατά την αρχαιότητα ο φημισμένος ελαιώνας εκτεινόταν μεταξύ Ακαδημίας, Ιεράς Οδού και Κηφισού με μερικά ελαιόδεντρα μεγάλης ηλικίας. Η κύρια είσοδος στην πόλη των Αθηνών ήταν από τα δυτικά. Στα κλασικά χρόνια εκεί ήταν το «κάλλιστον προάστειον» με το «δημόσιον σήμα». Την καλλιέργεια της ελιάς εισήγαγε επίσημα στην Αττική ο Πεισίστρατος τον 6ο αι. π.Χ, ενώ η παραγωγή λαδιού αποτέλεσε μία από τις κύριες πλουτοπαραγωγικές πηγές της πόλης- κράτους των αρχαίων Αθηνών. Στο τρόπο φύτευσης και καλλιέργειας των ελαιοδέντρων αναφέρονται τόσο ο Σόλων όσο και ο Αριστοτέλης στην «Αθηναίων Πολιτεία», ενώ επί ποινή θανάτου προστατευόταν η φυσική τους ακεραιότητα και παρουσία. Τον 5ο αιώνα, στην περίοδο της ύψιστης ακμής της αθηναϊκής δημοκρατίας, η εξαγωγή του λαδιού αποτελούσε κρατικό μονοπώλιο, ενώ το λάδι χρησιμοποιούνταν για την πληρωμή των σιτηρών που εισάγονταν. Τέλος, λάδι, προερχόμενο από τον Ιερό Ελαιώνα και φυλαγμένο μέσα στους περίφημους Παναθηναϊκούς Αμφορείς, ήταν το έπαθλο των νικητών των αγώνων των Παναθηναίων, της μεγαλύτερης και πάνδημης γιορτής της πόλης. Η μεγάλη σημασία της ελιάς και του πολύτιμου καρπού της για την αρχαία Αθήνα καταδεικνύεται από την απεικόνιση κλάδου ελαίας πάνω στο νόμισμα της πόλης, τη δραχμή, δίπλα στη γλαύκα, το σύμβολο της θεάς προστάτιδός της, καθώς και των «θαλλοφόρων», των αθηναίων πολιτών που έφεραν κλάδους ελαίας κατά την πομπή των Παναθηναίων, πάνω στη ζωφόρο του Παρθενώνα. Το 480 π.Χ οι Πέρσες έκαψαν την αρχέγονη ελιά της Αθηνάς στο Ερέχθειο. Οι Αθηναίοι όταν μπήκαν ξανά στην Ακρόπολη με έκπληξη διαπίστωσαν ότι αυτή είχε αμέσως αναβλαστήσει. Ο Ιερός Ελαιών της αρχαίας Αθήνας καταστράφηκε από τη στρατιά του ρωμαίου στρατηγού Σύλλα κατά την εισβολή του στην Αττική το 86 π.Χ .

3.3.3 BYZANTINA ΧΡΟΝΙΑ

Ο Ιερός Ελαιών επιβίωσε, επαυξημένος και θαλλερός, στα βυζαντινά και μεταβυζαντινά χρόνια. Κατά την Τουρκοκρατία, οπότε έχουμε περισσότερες πληροφορίες για την περιοχή, χάρη στους διαφόρους επισκέπτες της, που αρχίζουν ολοένα να πυκνώνουν από το δεύτερο μισό του 17ου αιώνα, ολόκληρο το λεκανοπέδιο της Αθήνας, από την ακτογραμμή του Πειραιά και του Φαλήρου έως την είσοδο προς τα Μεσόγεια και από την Πάρνηθα έως την Πεντέλη και τον Υμηττό ήταν κατ' ουσίαν ένας απέραντος ελαιώνας. Ελαιώνας πάντως ή Λόγγος, όπως τον αποκαλούσαν οι Αθηναίοι, ονομαζόταν το κεντρικό και πιο γόνιμο τμήμα του. Εκτεινόταν κατά μήκος των όχθων του Κηφισού, αρχίζοντας προς Βορρά από τον σημερινό δήμο των Αγίων Αναργύρων, συνεχίζοντας μέχρι τα Πατήσια στα ανατολικά, περνώντας στη συνέχεια από την Ακαδημία Πλάτωνος, τον Βοτανικό, τον σημερινό Ταύρο και φθάνοντας στα νότια μέχρι το Μοσχάτο και τα έλη του Φαλήρου. Από εκεί συνέχιζε με κατεύθυνση βορειοδυτική προς τον δρόμο της Κούλουρης και την Ιερά Οδό και από εκεί προς τα Σεπόλια, τις Τρεις Γέφυρες και τα Άνω Λιόσια.

3.3.4 ΝΕΟΤΕΡΗ ΕΠΟΧΗ

Το πλούσιο σε άργιλο έδαφος σε συνδυασμό με τα άφθονα –κάποτε- υπόγεια νερά, το χαμηλό υψόμετρο, καθώς και η ευνοϊκή τοπογραφία (πεδινή θέση, ομαλό έδαφος) προσέλκυσαν από το 18^ο και το 19ο αιώνα τα πρώτα ελαιοτριβεία και τα κεραμοποιεία, κοντά στην Ιερά Οδό. Μεγάλο μέρος από τα ελαιόδεντρα του Λόγγου πυρπολήθηκε από τις στρατιές του Κιουταχή στη διάρκεια της Ελληνικής Επανάστασης. Σε όλες τις περιπτώσεις όμως ο Ελαιώνας αναβίωσε και έθαλλε ξανά. Μετά την ίδρυση του Νεοελληνικού κράτους άρχισαν να μολύνονται τα πηγάδια και τα ρέματα της περιοχής από τα βοθρολήματα καθώς η πόλη δεν είχε υπονόμους να τα απομακρύνουν. Άλλη πηγή μόλυνσης αποτελούσαν τα σφαγεία που λειτουργούσαν με υποτυπώδεις συνθήκες υγιεινής.

Κατά τη διάρκεια του μεσοπολέμου δημιουργήθηκαν οι πρώτες καλλιέργειες οπωροκηπευτικών, που προμήθευαν την Αθήνα (λαχαναγορά). Η συνολική καλλιεργήσιμη έκταση έφθανε τα 11.330 στρέμματα, που αρδεύονταν από 385 φρέατα, (Μπίρης, 1966). Υπολείμματα με τις κατοικίες γαιοκτημόνων σώζονται ακόμη.

Ακολούθησαν οι προπολεμικές εγκαταστάσεις χαρτοποιείων και σαπωνοποιείων, οι βυρσοδεψίες των δεκαετιών του '50 και '60 (κατά μήκος των οδικών αξόνων Ιεράς Οδού, Λ. Κηφισού κτλ), ως τα σύγχρονα συγκροτήματα πολύ-επιχειρήσεων των κλάδων τροφίμων, χημικών προϊόντων, ηλεκτρικών συσκευών και πλαστικών. Το μοναδικό εναπομείναν δείγμα του άλλοτε φυσικού «ελαιοτοπίου» βρίσκεται στη θέση των ΤΕΙ Αιγάλεω, στη διασταύρωση της Π. Ράλλη με τη Θηβών. Σποραδικά εντοπίζονται μικροί ναοί των Βυζαντινών και Νεότερων χρόνων, κυρίως δυτικά του άξονα της Αγ. Άννης.

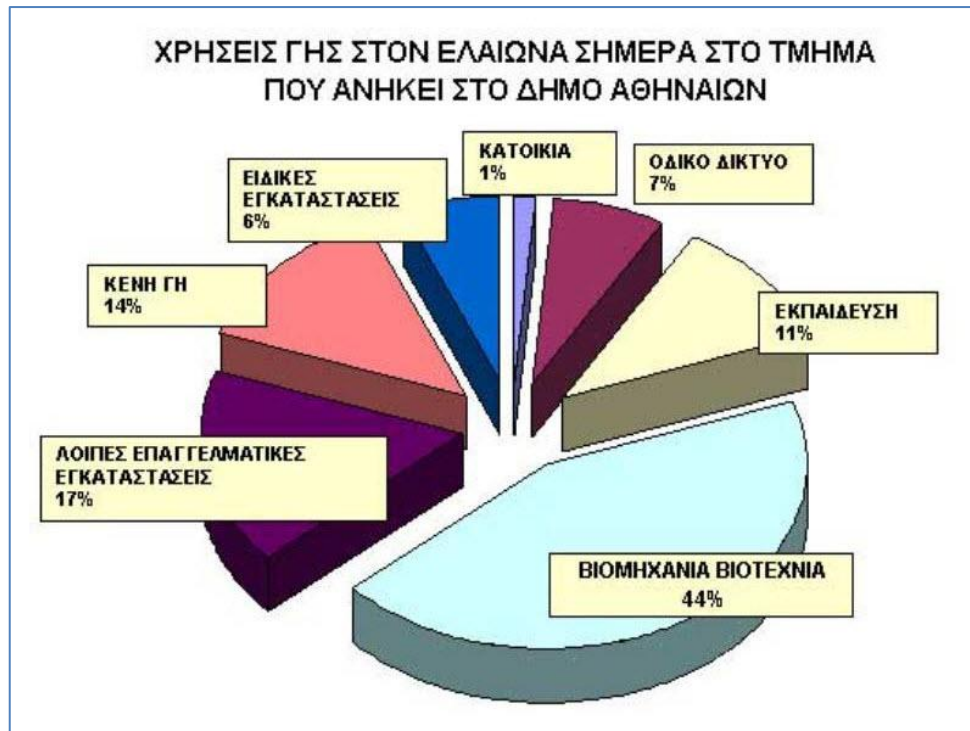
3.3.5 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Στον Ελαιώνα της Αθήνας δεν έχουν μείνει πια ελιές. Η υπεραιώνобία «ελιά του Πλάτωνα» στην Ιερά Οδό χτυπήθηκε από αυτοκίνητο στη δεκαετία του 1980. Οτι έχει απομείνει από αυτό το αιωνόβιο δέντρο φυλάσσεται πλέον στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Στην αρχή του καλοκαιριού του 2007 ξεριζώθηκαν αρκετές από τις τελευταίες αιωνόβιες ελιές που ακόμη ορθώνονταν στον χώρο του ΤΕΙ Πειραιά, πάνω από την οδό Πέτρου Ράλλη. Επιβιώνουν όμως διάσπαρτες μαρτυρίες του ιστορικού τοπίου: στέρνες και αρδευτικά κανάλια, κατάλοιπα του «κονακιού» του Χασεκλή μέσα στον κήπο του Γεωπονικού Πανεπιστημίου, περίπου τριάντα μεταβυζαντινές εκκλησίες, ερειπωμένα νεοκλασικά σπίτια με υπέροχη παλαιά βλάστηση.

Σήμερα στην περιοχή εργάζονται περίπου 50.000 άνθρωποι σε 2.400 βιομηχανίες – βιοτεχνίες, επιχειρήσεις και πρακτορεία και ζουν μόνιμα περίπου 5.000 κάτοικοι. Ακόμα υπάρχουν σε αυτήν την περιοχή Οργανισμοί κοινής Ωφελείας, Στρατώνες και Ανώτατες Σχολές. Κυρίαρχη εσωτερική λειτουργία στην περιοχή είναι η μικρής, μεσαίας και μεγάλης κλίμακας βιομηχανική δραστηριότητα και οι εγκαταστάσεις και χρήσεις που την πλαισιώνουν, ως υποδομή, ή ως υπηρεσίες υποστήριξης και εξυπηρέτησής της (αποθήκευση, μεταφορές). Εκτός από βιομηχανική περιοχή, όμως, ο Ελαιώνας μοιάζει σήμερα και με εκτεταμένο κυκλοφοριακό κόμβο.

3.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Από την άποψη των χρήσεων γης, σύμφωνα με το ΥΠΕΧΩΔΕ, ο Ελαιώνας αποτελείται από βιομηχανικές εγκαταστάσεις σε ποσοστό 44%, εγκαταστάσεις που σχετίζονται με όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης 11%. Το οδικό δίκτυο καταλαμβάνει το 7% της έκτασης του Ελαιώνα, ενώ οι κατοικίες μόνο 1%. Ειδικές εγκαταστάσεις αφορούν στο 6% ,λοιπές χρήσεις στο 17% και η κενή γη στο 14%. Συγχρόνως το πλήθος των οικονομικών δραστηριοτήτων, άλλοτε μικρής κι άλλοτε μεγάλης οικονομικής επιφάνειας, διαμορφώνει ένα συνονθύλευμα ετερόκλητων κοινωνικών ομάδων με κοινό χαρακτηριστικό την έλλειψη συμφιλίωσης με το χώρο και αποκλειστική χρήση του για νόμιμες και παράνομες απολαβές. Η κερδοσκοπία και το ασταθές θεσμικό καθεστώς ευνοούν μια κατάσταση διαρκούς μεταβλητότητας και υπονομεύει την αποδοτικότητα των παραγωγικών επιχειρήσεων. Συνέπεια των παραπάνω είναι οι απότομες διακυμάνσεις στις τιμές γης και ένα βιομηχανικό και ημιβιομηχανικό κτισμένο περιβάλλον με έντονο χαρακτήρα προσωρινότητας και μηδενικές επενδύσεις σε πάγιο κεφάλαιο. Έτσι παρουσιάζεται σε μεγάλο βαθμό η εικόνα της εγκατάλειψης, της χωματερής ακόμη σε πολλά σημεία.



Εικόνα 32. Παρουσίαση των χρήσεων γης του Ελαιώνα

3.5 ΤΟ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών βρίσκεται στο Βορειοανατολικό άκρο του Ελαιώνα και αποτελεί την «πράσινη πύλη» των μετακινούμενων από το κέντρο της Αθήνας δια της Ιεράς Οδού προς τις δυτικές συνοικίες Αιγάλεω, Χαϊδάρη, Νίκαια και Κορυδαλλό. Κατέχει σήμερα μια έκταση 247 στρεμμάτων, απέχει 3 χλμ. από την πλατεία Ομονοίας και 2 χλμ. από τον αρχαιολογικό χώρο της Ακρόπολης. Διασχίζεται από την Ιερά Οδό, η οποία ονομάζεται έτσι από την αρχαιότητα λόγω του ότι ήταν η διαδρομή που ακολουθούσε η πομπή των Παναθηναίων από την Αθήνα στην Ελευσίνα. Αποτελείται από 24 ανεξάρτητα κτίσματα που στεγάζουν αμφιθέατρα, εργαστήρια, γραφεία, χώρους πρασίνου, денδροκομείο, αμπελώνα και πειραματικές αροτράιες καλλιέργειες και γήπεδα. Σε αυτές τις εκτάσεις πρέπει να προσθέσουμε τον χώρο σταβλισμού οικόσιτων αγροτικών ζώων.

Στην θέση που βρίσκεται σήμερα το Γ.Π.Α ,εικάζεται ότι ήταν ο δήμος Λακιάδων και το τέμενος του ήρωα Λακίου, ο βωμός του Ζέφυρου

και το ιερό της Δήμητρας. Εδώ ο Φύταλος είχε φιλοξενήσει την θεά και εκείνη σε αντάλλαγμα του έδωσε το δέντρο της συκιάς και του δίδαξε την γεωργία.

Επί Τουρκοκρατίας, στην περιοχή που βρίσκεται σήμερα το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο ήταν τα κτήματα του διοικητή των Αθηνών, ο οποίος για 22 χρόνια(1774-1796) ήταν ο Χατζή Αλή Χασεκλή. Έτσι, κατά την περίοδο αυτή όλη η περιοχή ήταν γνωστή με το όνομα «στου Χασεκλή».

Το Πανεπιστήμιο ιδρύθηκε σε αυτόν τον χώρο όπου αρχικά βρισκόταν η Τριανταφυλλίδειος Γεωργική Σχολή από το 1888. Ο Παναγιώτης Τριανταφυλλίδης, πλούσιος έμπορος από την Βυτίνα, άφησε με την διαθήκη του το ποσό των 42.000 αυστριακών φλουριών στο ελληνικό δημόσιο προκειμένου να ιδρυθεί σχολείο το οποίο θα έφερε το όνομα του και θα συνέβαλλε στην πρόοδο της Ελλάδας. Το 1920 η σχολή εξελίχθηκε στην Ανωτέρα Γεωπονική Σχολή Αθηνών, το 1989 έγινε Πανεπιστήμιο με το όνομα «Γεωργικό Πανεπιστήμιο» και τελικά ,το 1995 φθάνει στην σημερινή μορφή του ως Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

4.ΣΥΛΛΟΓΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

4.1ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΔΙΟΥ-ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΑ-GPS

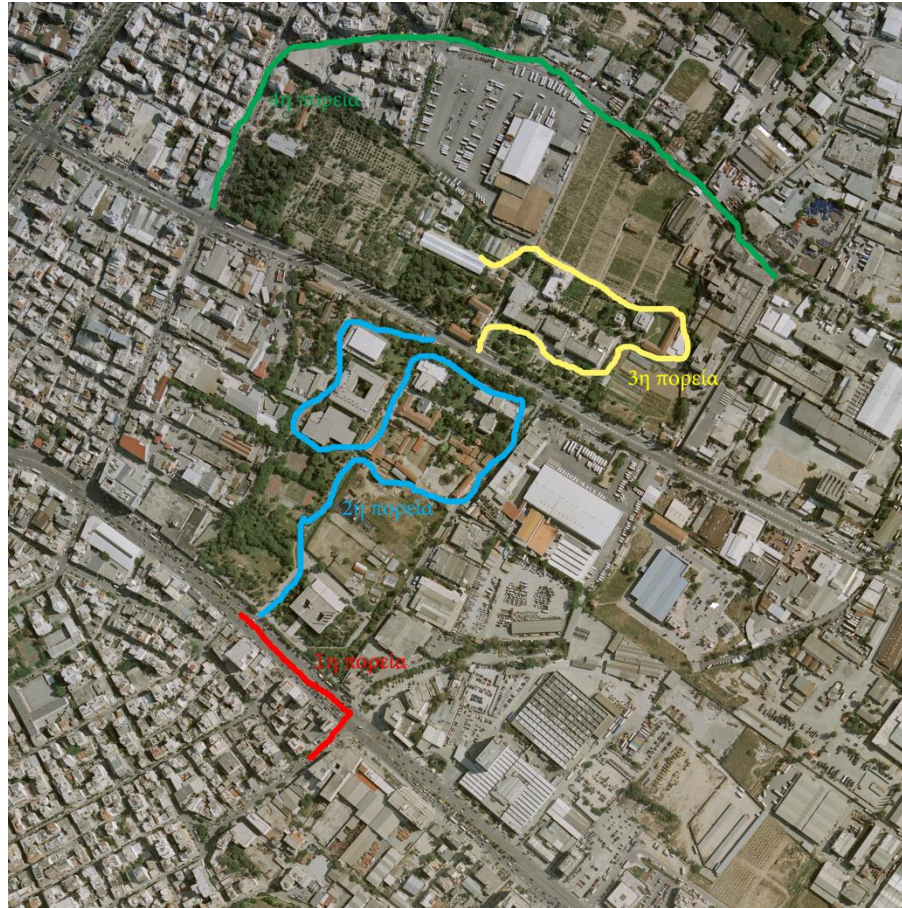
4.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Εργασία πεδίου καλείται εκείνη η απαραίτητη διαδικασία για την συλλογή δεδομένων που απαιτούνται για την γεωμετρική διόρθωση της αεροφωτογραφίας και την αύξηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων της έρευνας.

4.1.2 ΧΑΡΑΞΗ ΠΟΡΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

Για την συλλογή των Σημείων Ελέγχου Εδάφους (Ground Control Points), αρχικά σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν επάνω στην αεροφωτογραφία τέσσερις πορείες. Αυτές είναι:

1. Πορεία 1η : Κατά μήκος της Λ. Καβάλας
2. Πορεία 2η: Κατά μήκος του τμήματος του Γ.Π.Α ανάμεσα στις Λ. Καβάλας και Ιερά οδού.
3. Πορεία 3η: Κατά μήκος του τμήματος του Γ.Π.Α ανάμεσα από την Ιερά Οδό και το Αμαξοστάσιο.
4. Πορεία 4^η : Διαδρομή από Σπύρου Πάτση και γύρω από την κάτω Γεωπονική



Εικόνα 33. Τα δρομολόγια συλλογής Επίγειων Σημείων Ελέγχου. Με κόκκινο χρώμα παρίσταται η πρώτη πορεία, με γαλάζιο η δεύτερη, με κίτρινο η τρίτη και με πράσινο η τέταρτη

Η χάραξη διαφορετικών πορειών για την συλλογή GCPs είναι αναγκαία για τους σκοπούς αυτής της μελέτης, ώστε τα GCP να είναι όσο το δυνατόν καλύτερα κατανομημένα στο χώρο και να καλύπτουν βασικούς άξονες που διασχίζουν ή περικλείουν την περιοχή μελέτης. Μια εντελώς τυχαία δειγματοληψία θα είχε ως αποτέλεσμα μια εσφαλμένη διόρθωση, η οποία θα υποδηλωνόταν από ένα μεγάλο σφάλμα RMS. Κατά την χάραξη αυτών των δρομολογίων λήφθηκε υπ' όψιν η ευκολία αναγνώρισης των GCP στην αεροφωτογραφία. Για αυτόν τον λόγο αποφεύχθηκαν τα σημεία που βρίσκονται σε σκοτεινές περιοχές της αεροφωτογραφίας, καθώς και σημεία τα οποία δεν εντοπίζονται με σαφήνεια σε αυτή.

4.1.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (GROUND CONTROL POINTS)

Η συλλογή των σημείων με γνωστές συντεταγμένες έγινε με δέκτη GPS χειρός Garmin Dakota 10. Ο δέκτης δίνει την δυνατότητα να γνωρίζουμε την θέση των δορυφόρων και πληροφορίες σχετικά με την ισχύ του σήματος που εκπέμπουν. Απεικονίζει στην οθόνη τις συντεταγμένες του σημείου που αντιστοιχεί στην κεραία του και την ακρίβεια (CEP) με την οποία μετρούνται αυτές. Οι συντεταγμένες των GCPs είναι στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87). Χαρακτηριστικά του ΕΓΣΑ87 είναι ότι χρησιμοποιεί σαν datum το γεωειδές GRS80, οι συντεταγμένες εκφράζονται σαν ζεύγος τιμών (χ , ψ) με εξαψήφιο χ και επταψήφιο ψ , οι οποίες εκφράζουν σε μέτρα την απόσταση ενός σημείο από το κεντρικό βάθρο του Διονύσου, όπου είναι και η αρχή των αξόνων για το ΕΓΣΑ.

Παρατίθεται πίνακας με όλα τα σημεία που συλλέχθηκαν.



Εικόνα 34. Ο δέκτης GPS GARMIN Dakota 10 και η βασική οθόνη του




Πίνακας 1. Οι συντεταγμένες των GCPs στο ΕΓΣΑ.

A/A GCP	X(m)	Y(m)	ΑΚΡΙΒΕΙΑ (CEP)(m)
1	474173	4204293	13
2	474116	4204240	5
3	473986	4204352	10
4	474089	4204206	11
5	474216	4204085	9
6	474185	4204110	5
7	474142	4204040	5
8	474080	4204027	9
9	474205	4203917	7
10	474176	4203877	5
11	474071	4203892	4
12	474097	4203828	8
13	474054	4203780	8
14	474048	4203721	9
15	474015	4203757	13
16	473904	4203794	7
17	473954	4203899	13
18	473790	4203838	3
19	473705	4203885	3
20	473664	4203882	5
21	473926	4203736	4
22	473851	4203751	7
23	473840	4203726	11
24	473693	4203707	6
25	473707	4203759	7
26	473798	4203623	10
27	473714	4203566	11
28	473705	4203510	9
29	473856	4200365	9
30	473922	4203614	4
31	474194	4203620	4
32	474195	4203416	11
33	474241	4203410	6



34	474133	4203332	5
35	474085	4203411	11
36	473974	4203320	4
39	473772	4203405	3
38	473625	4203543	6
39	473532	4203627	7

Ακολουθούν πίνακες με την φωτογραφική τεκμηρίωση επιλεγμένων GCP.

Πίνακας 2. Φωτογραφική τεκμηρίωση των Επίγειων Σημείων Ελέγχου




ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	Α/Α GCP	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	1	Οδός Μητροδώρου
	2	Λεωφόρος Αθηνών
	3	Λεωφόρος Αθηνών

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	Α/Α GCP	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	4	Λεωφόρος Αθηνών
	5	Πύλη Λ. Αθηνών

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	Α/Α GCP	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	7	Κτίριο Ρουσόπουλου (Εργαστήριο Μηχανολογίας)
	8	Βοηθητική κατασκευή Κτ. Ρουσόπουλου

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	Α/Α GCP	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	9	Γήπεδο Μπάσκετ
	10	Γήπεδο Τένις
	11	Αποθήκη σανού

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	Α/Α GCP	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	12	Βιβλιοθήκη
	13	Κτίριο Χασιώτη
	14	Πράσινα Αμφιθέατρα

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	Α/Α GCP	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	15	Φοιτητική Λέσχη
	21	Πύλη Ιεράς Οδού
	22	Προαύλιος χώρος Κεντρικού Κτιρίου

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	Α/Α GCP	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	23	Κεντρικό Κτίριο
	24	Γεωργικό Μουσείο
	25	Θερμοκήπιο

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	Α/Α GCP	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	26	Αμπελώνας
	29	Εργαστήριο Εδαφολογίας
	30	Μεγάλο θερμοκήπιο

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	Α/Α GCP	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	31	Ιερά Οδός(πλησίον Σπύρου Πάτση)

Κατανομή των GCP στον χώρο του Γ.Π.Α

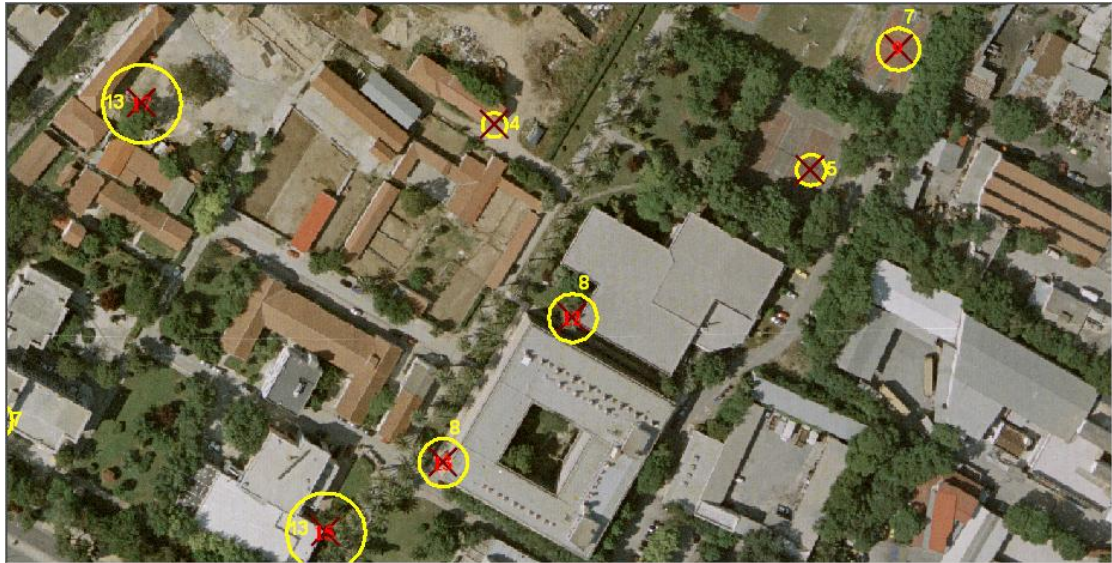


ΥΠΟΜΝΗΜΑ

✕ GCP

□ Ακρίβεια GCP σε μέτρα

Χάρτης 1. Η κατανομή των Επίγειων Σημείων Ελέγχου στο Γ.Π.Α



Εικόνα 35. Λεπτομέρεια από τον χάρτη κατανομής των GCPs .Η ακτίνα του κίτρινου κύκλου αντιστοιχεί στο μέγεθος του CEP.

5. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

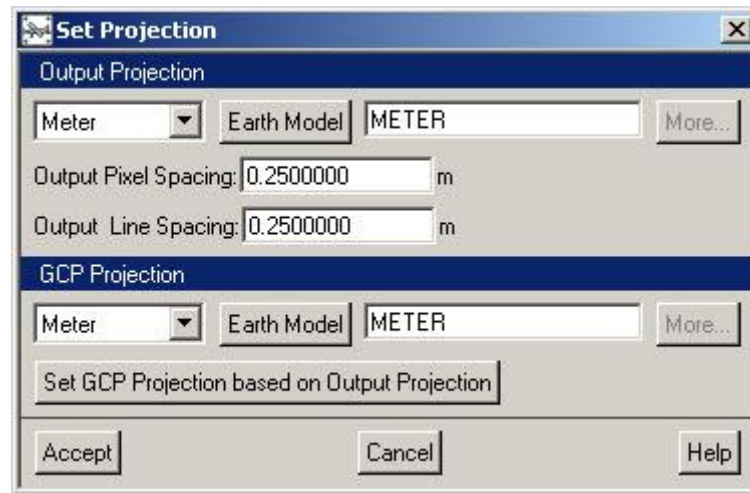
5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ

Η διαδικασία που ακολουθείται από το GEOMATICA κατά την γεωμετρική διόρθωση χωρίζεται σε δύο στάδια:

1. Μετασχηματισμός των συντεταγμένων των pixels.

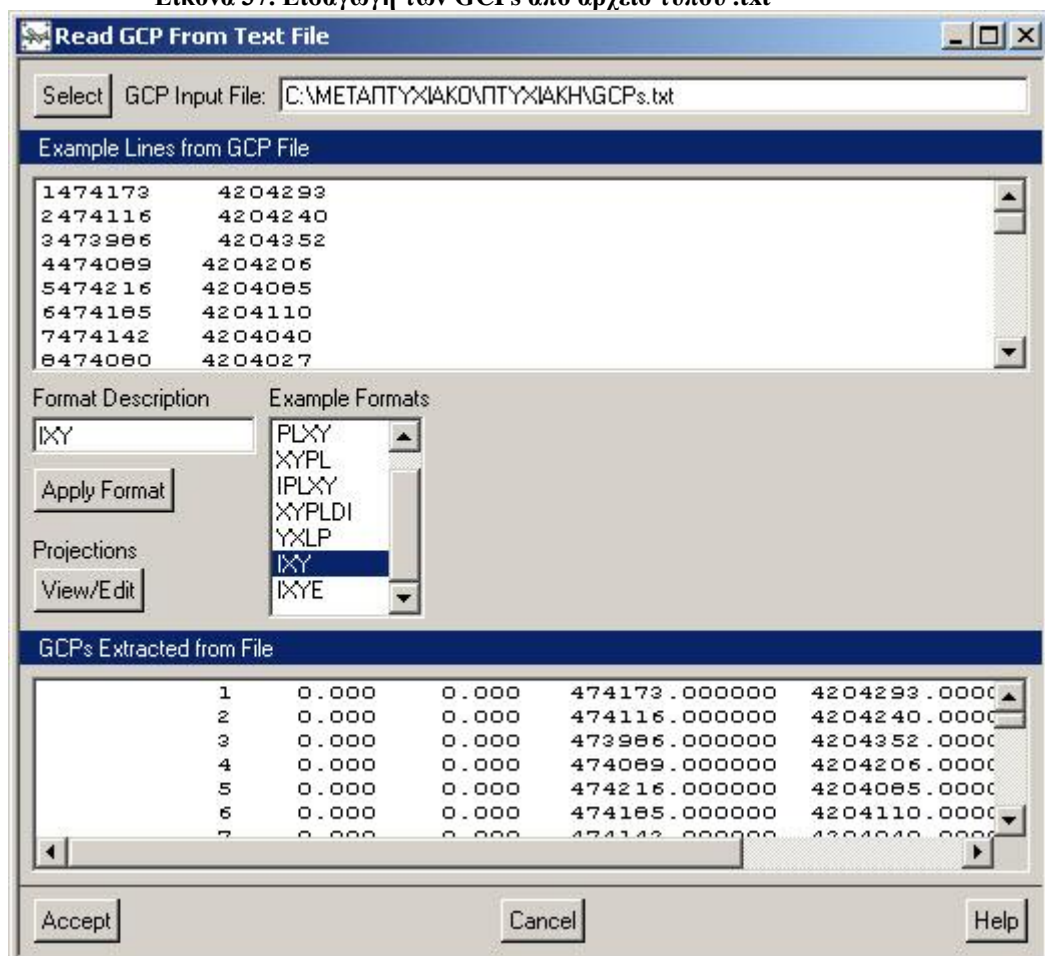
Στο στάδιο αυτό δόθηκαν στο GEOMATICA οι συντεταγμένες των GCPs που έχουν εξαχθεί από τα υπόβαθρα αναφοράς, έτσι ώστε αυτό να δημιουργήσει ένα καινούριο κানাβο από “κενά” προς το παρόν (όσον αφορά την τιμή λαμπρότητας) pixels, με καινούργιες ωστόσο συντεταγμένες (διορθωμένη εικόνα). Κατά την μετατροπή των συντεταγμένων και την δημιουργία του καινούριου κανάβου, προκαλείται το σφάλμα διόρθωσης ή RMS error (μέσο τετραγωνικό σφάλμα) το οποίο οφείλεται στην προσπάθεια επανατοποθέτησης των GCPs στην διορθωμένη εικόνα. Το RMS error υπολογίζεται σε pixel και εάν το συνολικό RMS υπερβαίνει το ένα pixel τότε απομακρύνονται τα GCPs που προκαλούν το μεγαλύτερο σφάλμα και υπολογίζονται εκ νέου οι συντεταγμένες της διορθωμένης εικόνας.

Ανάλογα με τον αριθμό των GCPs που έχουν βρεθεί χρησιμοποιούνται τα πολυώνυμα πρώτου (ελάχιστο 1 GCP) έως και πέμπτου (ελάχιστο 21 GCPs) βαθμού, με αυξανόμενη σε κάθε βαθμό ακρίβεια στον προσδιορισμό των νέων συντεταγμένων του διορθωμένου πίνακα (εικόνας). Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί η σημασία που έχει τα GCPs να διασκορπίζονται όσο το δυνατόν ομοιόμορφα στην εικόνα, διαφορετικά η χρήση πολυωνύμου τέταρτου ή πέμπτου βαθμού μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερο σφάλμα απ’ ότι π.χ. το πολυώνυμο πρώτου βαθμού στα σημεία της εικόνας που δεν υπάρχουν GCP.



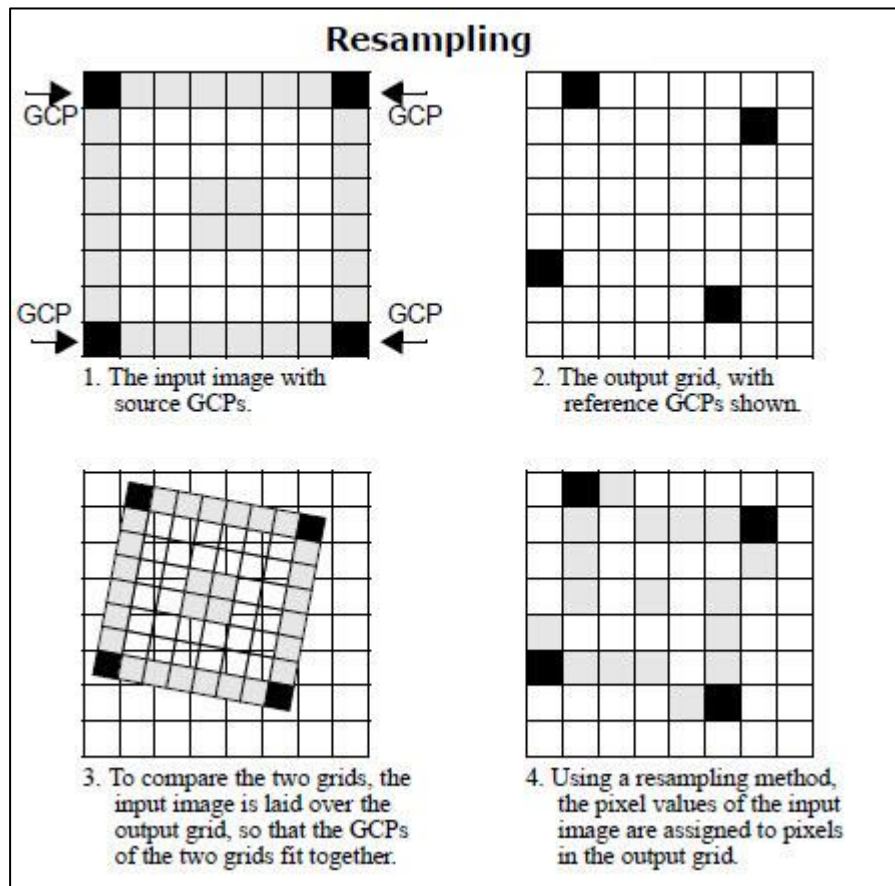
Εικόνα 36. Καθορισμός του προβολικού συστήματος στο οποίο θα εκφραστούν οι συντεταγμένες της διορθωμένης εικόνας

Εικόνα 37. Εισαγωγή των GCPs από αρχείο τύπου .txt



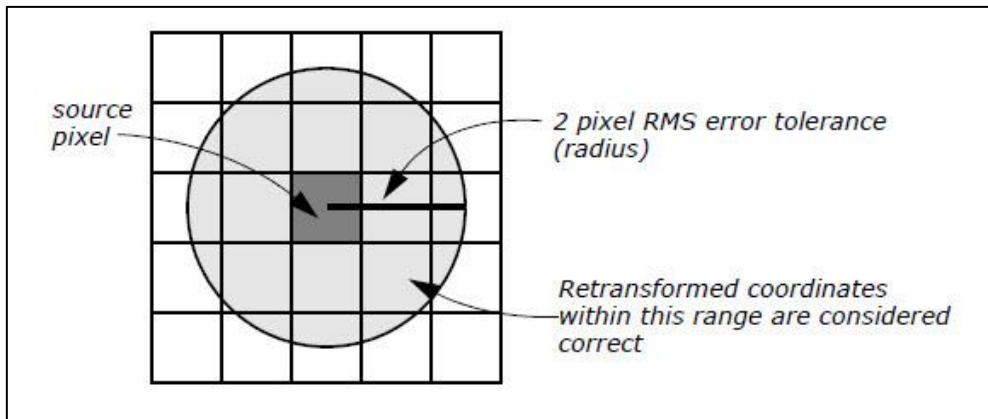
2. Επαναδόμηση εικόνας (resampling)

Κατά την επαναδόμηση προσδιορίζονται από το πρόγραμμα οι νέες τιμές λαμπρότητας των pixel του διορθωμένου πίνακα με βάση κάποιους πολυωνυμικούς μετασχηματισμούς που επιλέγονται από τον χρήστη. Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε ο μετασχηματισμός Nearest Neighbor (εγγύς γειτονία). Κατά τον μετασχηματισμό αυτό η τιμή λαμπρότητας που επιλέγεται από το πρόγραμμα είναι η τιμή λαμπρότητας του κοντινότερου ως προς το εξεταζόμενο pixel. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν μικρές διαφορές ραδιομετρίας πρέπει να διατηρηθούν στην διορθωμένη εικόνα. Ωστόσο, μπορεί η εικόνα να μετατοπιστεί ή και παραμορφωθεί χωρικά κατά μισό pixel και μπορεί τα pixel της εικόνας να έχουν οδοντωτή μορφή ή να σχηματίζουν μπλοκ, ειδικά εάν η στροφή της εικόνας και/ή η αλλαγή κλίμακας είναι μεγάλη.

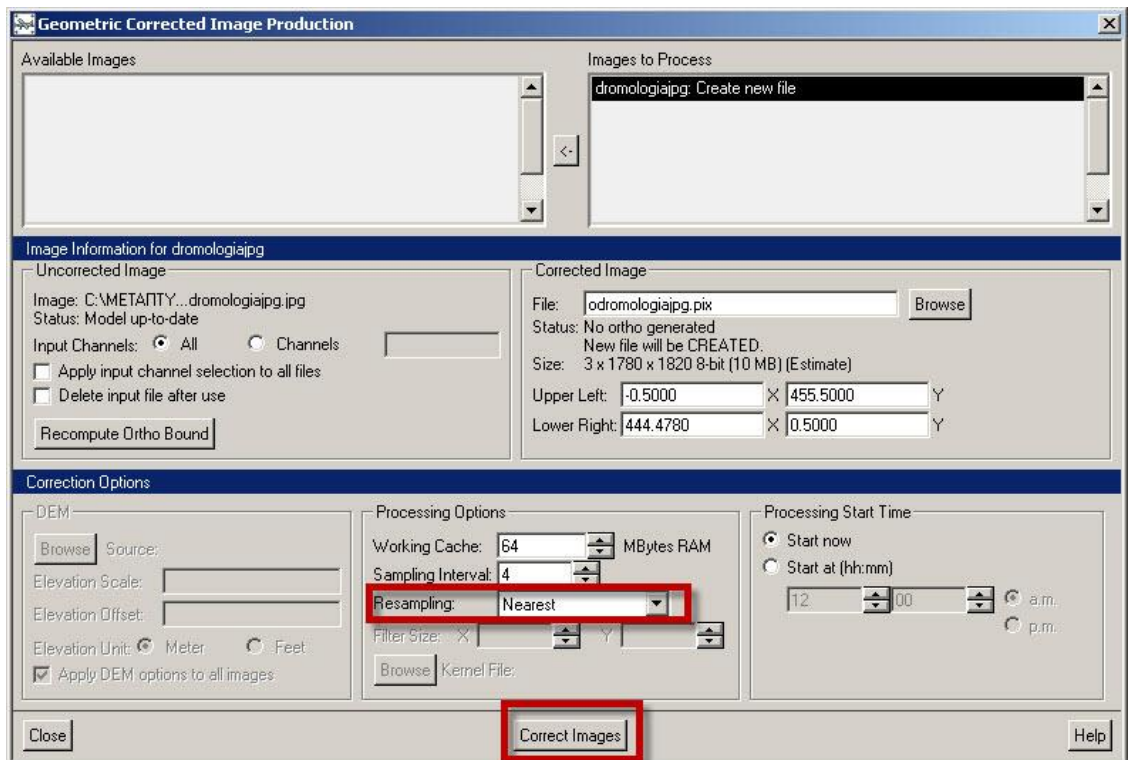


Εικόνα 38. Αναπαράσταση της επαναδόμησης εικόνας (Mather 1991)

Τελικά για την διόρθωση χρησιμοποιήθηκαν 18 από τα 39 Επίγεια Σημεία Ελέγχου. Τα υπόλοιπα σημεία αποκλείστηκαν στην πορεία της διόρθωσης διότι προκαλούσαν υψηλό Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα(RMSE). Το τελικό RMS είναι 1,02 Pixel ή 0,255 m (αφού 1 pixel = 0,25m)



Εικόνα 39. Αναπαράσταση του RMS. (ERDAS Field Guide)



Εικόνα 40. Η τελική οθόνη της διόρθωσης. Διακρίνεται στο πλαίσιο η επιλογή του αλγορίθμου αναδόμησης. Με την επιλογή Correct Images ξεκινάει η διόρθωση

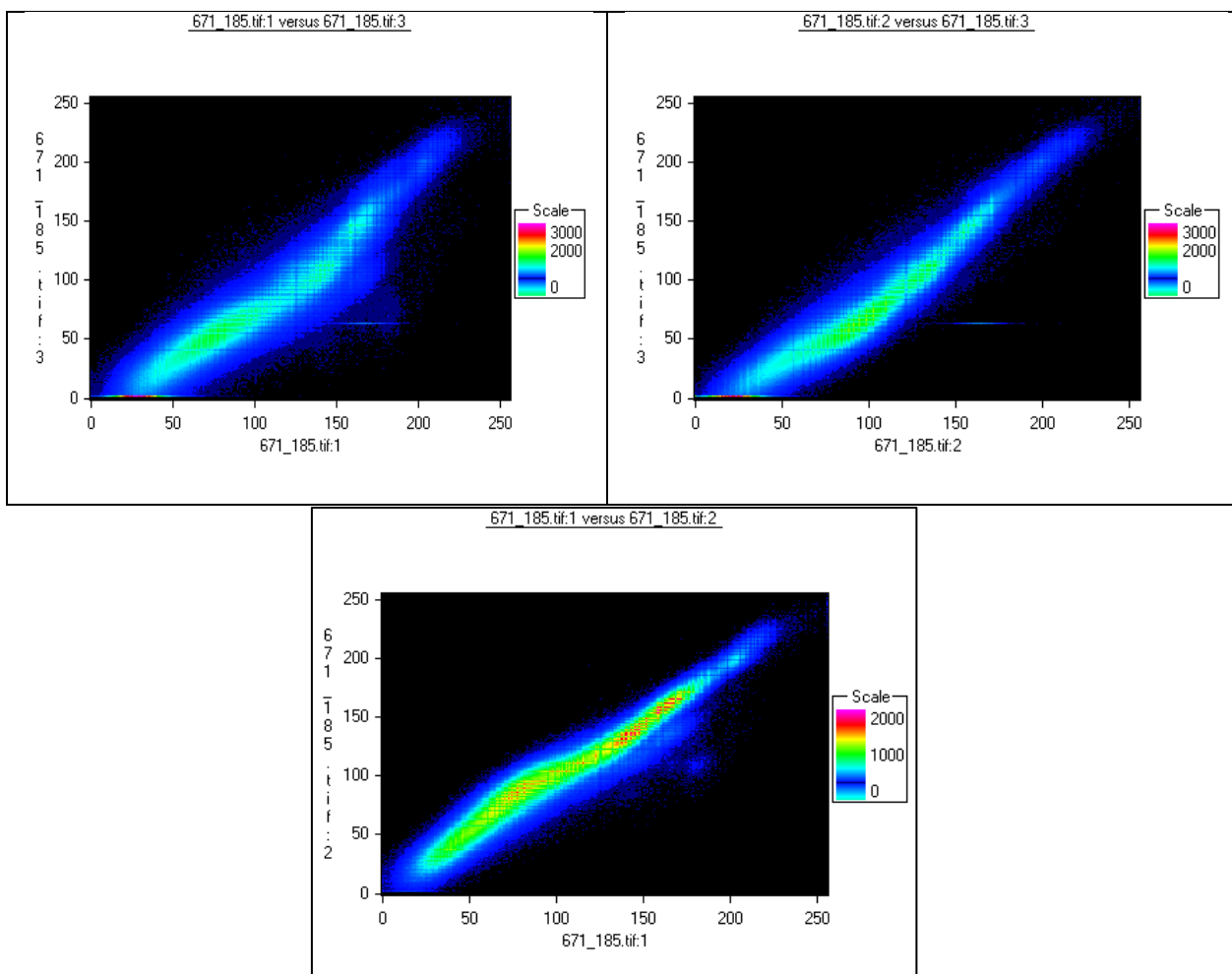
Residual Error Report										
Residual Units: Ground units										
Residual Summary for 1 Images										
GCPs: 18 X RMS 1.02 Y RMS 1.29										
Check points: 0 X RMS Y RMS										
Tie points: 0 X RMS Y RMS										
Listing: GCPs only All images										
Point ID	Res	Res X	Res Y	Type	Image ID	Ground X	Ground Y	Ground Z	Comp X	Comp Y
G0021	2.905	-0.882	2.768	GCP	sub_aerial	473707.000	4203759.000		473706.12	4203761.77
G0016	2.582	1.788	-1.863	GCP	sub_aerial	473790.000	4203838.000		473791.79	4203836.14
G0011	2.428	-0.591	2.355	GCP	sub_aerial	474176.000	4203877.000		474175.41	4203879.35
G0014	2.331	2.198	-0.776	GCP	sub_aerial	474097.000	4203828.000		474099.20	4203827.22
G0015	1.965	-1.338	-1.440	GCP	sub_aerial	474054.000	4203780.000		474052.66	4203778.56
G0032	1.570	1.287	-0.900	GCP	sub_aerial	473625.000	4203543.000		473626.29	4203542.10
G0006	1.481	1.236	-0.816	GCP	sub_aerial	474142.000	4204040.000		474143.24	4204039.18
G0027	1.468	-0.607	1.337	GCP	sub_aerial	474194.000	4203620.000		474193.39	4203621.34
G0018	1.370	-0.297	-1.337	GCP	sub_aerial	473664.000	4203882.000		473663.70	4203880.66
G0026	1.276	0.352	1.227	GCP	sub_aerial	473922.000	4203614.000		473922.35	4203615.23
G0009	1.072	-0.901	-0.580	GCP	sub_aerial	474205.000	4203917.000		474204.10	4203916.42
G0013	0.978	-0.683	-0.700	GCP	sub_aerial	474071.000	4203892.000		474070.32	4203891.30
G0029	0.960	0.555	-0.783	GCP	sub_aerial	474241.000	4203410.000		474241.56	4203409.22
G0020	0.925	-0.803	0.460	GCP	sub_aerial	473693.000	4203707.000		473692.20	4203707.46
G0017	0.782	-0.156	0.766	GCP	sub_aerial	473705.000	4203885.000		473704.84	4203885.77
G0031	0.735	-0.731	0.084	GCP	sub_aerial	473772.000	4203405.000		473771.27	4203405.08
G0003	0.544	-0.252	0.481	GCP	sub_aerial	473986.000	4204352.000		473985.75	4204352.48
G0022	0.333	-0.176	-0.283	GCP	sub_aerial	473705.000	4203510.000		473704.82	4203509.72

Εικόνα 41.Η αναφορά διόρθωσης

6.ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

6.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

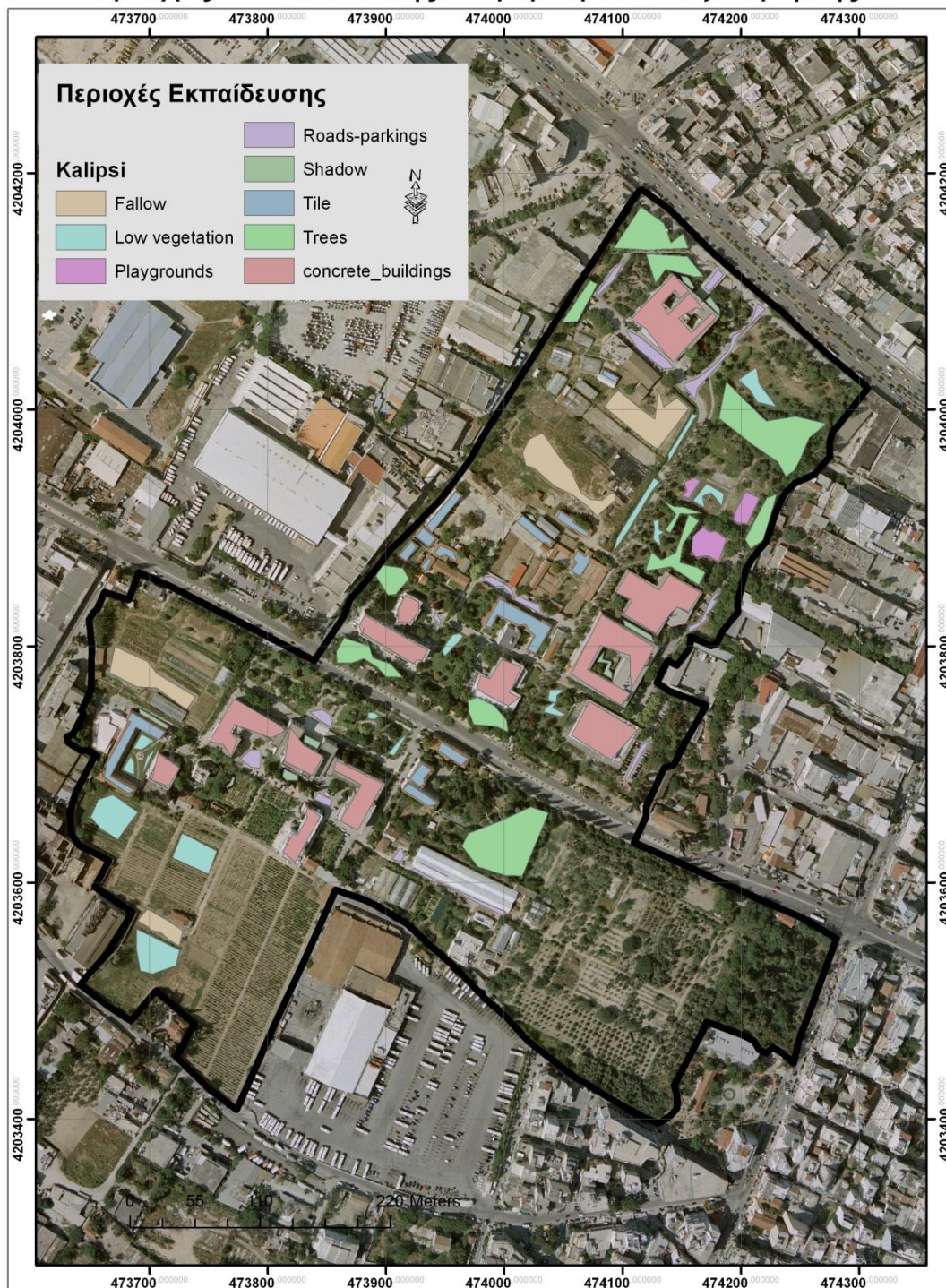
Οι ταξινομήσεις που έγιναν στα πλαίσια της μεταπτυχιακής μελέτης είναι οι εποπτευόμενες Mean Distance, Paralelipiped και Maximum Likelihood. Επιλέχθηκε να γίνει ταξινόμηση χρησιμοποιώντας και τα τρία διαθέσιμα κανάλια, λόγω του ότι φαίνεται να υπάρχει μια ισχυρή αυτοσυσχέτιση μεταξύ των DN τιμών των pixel, όπως φαίνεται και στα scatter plots που παράχθηκαν για την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 28. Κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού, τα scatter plot Blue vs. Red, Green vs. Blue, Green vs. Red,

Τα αποτελέσματα κάθε ταξινομητή καθώς και οι περιοχές εκπαίδευσης παρατίθενται παρακάτω.

Περιοχές Εκπαίδευσης Αλγόριθμων Ταξινόμησης



Εικόνα 42. Οι περιοχές εκπαίδευσης των εποπτευόμενων ταξινομητών

Χάρτης ταξινόμησης Μέγιστης Πιθανοφάνειας



Εικόνα 43. Maximum Likelihood Classification

Ταξινόμηση Ελάχιστης Απόστασης



Εικόνα 44. Mean Distance Classification

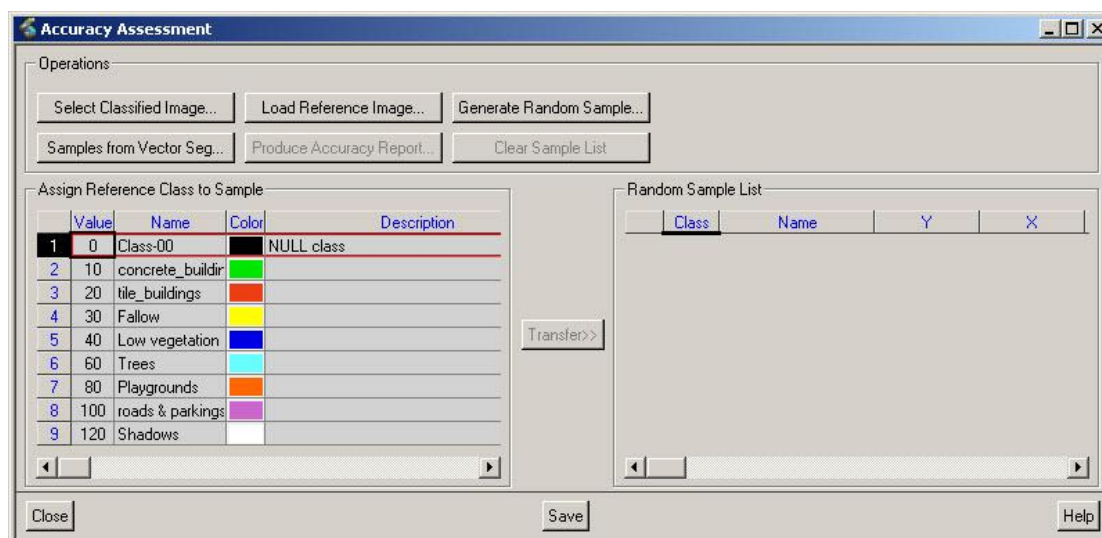
Χάρτης ταξινόμησης κανόνα παραλληλεπιπέδου



Εικόνα 45. Paralelipiped Classification

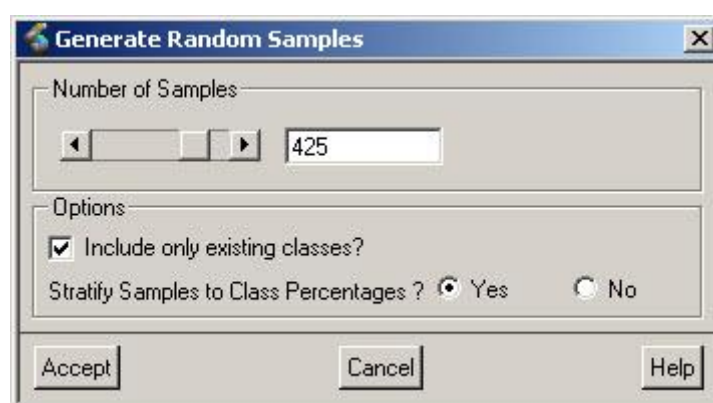
6.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Για τους σκοπούς αυτής της μελέτης, η αξιολόγηση της ακρίβειας έγινε από το λογισμικό Geomatica, με τυχαία δείγματα.



Εικόνα 46. Η οθόνη αξιολόγησης της ακρίβειας μιας ταξινόμησης

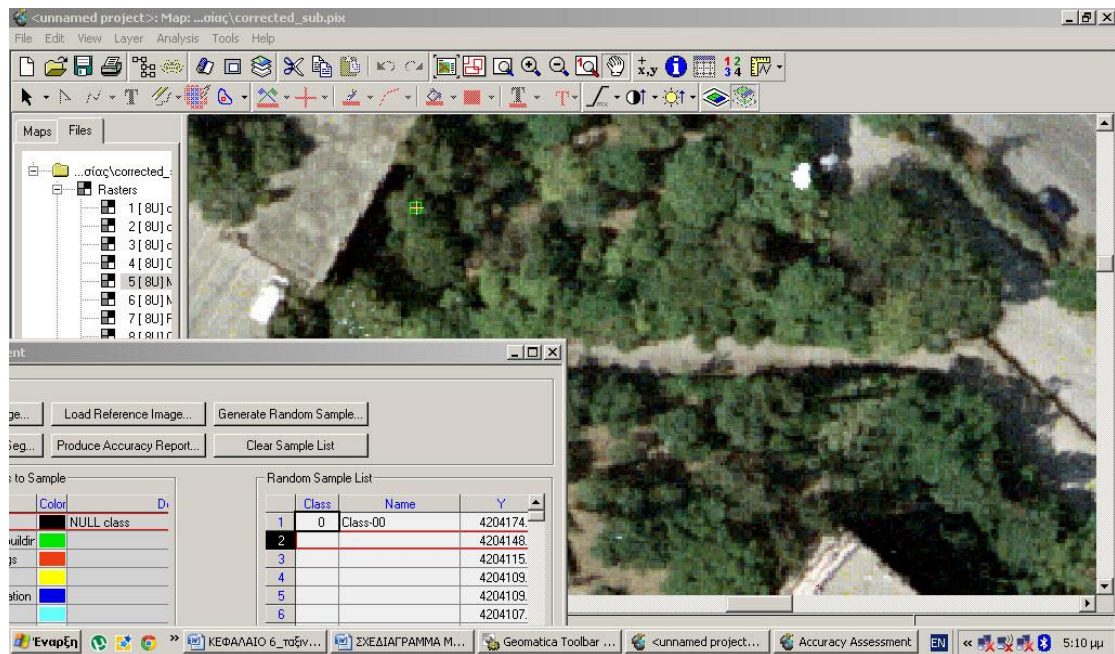
Για την διενέργεια τυχαίας δειγματοληψίας στο Geomatica, από την οθόνη Accuracy Assessment επιλέγεται αρχικά η ταξινόμηση που θα δοκιμαστεί (Select Classified Image). Έπειτα η εικόνα από την οποία θα συλλεχθούν τα δείγματα (Load Reference Image). Τελικά , επιλέγεται η δημιουργία τυχαίων δειγμάτων (Generate Random Sample)



Εικόνα 47. Δημιουργία τυχαίων δειγμάτων

Επιλέγεται ο αριθμός των δειγμάτων και η επιλογή stratify samples to class percentages, η οποία αναγκάζει τα δείγματα να είναι αναλογικά κατανεμημένα στις κλάσεις ανάλογα με το μέγεθος

των κλάσεων, έτσι ώστε κλάσεις με μεγάλη έκταση στην ταξινόμηση να περιέχουν περισσότερα test pixels.



Εικόνα 48. Φωτοερμηνευτική δοκιμασία pixel ελέγχου

Η επόμενη διαδικασία αφορά στην φωτοερμηνεία των δοκιμαστικών δεδομένων. Το πρόγραμμα τα υποδεικνύει με σταυρόνημα και ο χρήστης συμπληρώνει σε ποια κλάση ανήκουν. Μετά από το τέλος αυτής της διαδικασίας το λογισμικό υπολογίζει την μήτρα λαθών, τον συντελεστή KAPPA και άλλες πληροφορίες.

SAMPLES	CLASS-00	concrete_b	tile_bui	fallow	low vege	trees	playgrounds	roads and p	ashadows	ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΓΡ
Class-00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
concrete_building	0	51	0	0	0	0	0	7	0	58
tile_building	0	0	20	2	0	0	1	0	0	23
fallow	0	6	6	41	4	3	1	6	0	67
low vegetation	0	3	4	20	21	25	0	4	0	77
trees	0	2	0	5	11	34	0	2	5	59
playgrounds	0	4	3	32	7	4	0	6	0	56
roads and parkings	0	8	1	9	1	0	0	18	0	37
shadows	0	2	0	0	4	20	0	1	20	47
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΣΤΗΛΗΣ	0	77	34	109	48	86	2	44	25	

Εικόνα 49.Μήτρα λαθών ταξινομητή Μέσης Απόστασης

ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥ%		ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΧΡΗΣΤΗ%	
Class-00	0	Class-00	0
concrete_builbing	66.23377	concrete_builbing	87.93103448
tile_building	58.82353	tile_building	86.95652174
fallow	37.61468	fallow	61.19402985
low vegetation	43.75	low vegetation	27.27272727
trees	39.53488	trees	57.62711864
playgrounds	0	playgrounds	0
roads and parkings	40.90909	roads and parkings	48.64864865
shadows	80	shadows	42.55319149

Εικόνα 50. Οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη του ταξινομητή Μέσης Απόστασης

SAMPLES	CLASS-0	concrete_bu	tile_building	fallow	low veget	trees	playroui	roads a	shadows	ΑΘΡΟΙΣ
Class-00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
concrete_builbing	0	33	0	3	0	0	0	2	0	38
tile_building	0	0	40	0	1	1	0	1	1	44
fallow	0	0	2	55	5	1	0	1	1	65
low vegetation	0	0	1	22	17	29	0	4	2	75
trees	0	3	0	0	8	41	0	5	1	58
playgrounds	0	4	3	25	3	0	3	4	0	42
roads and parkings	0	25	1	11	3	0	0	14	0	54
shadows	0	3	3	0	2	13	0	4	23	48
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΣΤΗΛΗ:	0	68	50	116	39	85	3	35	29	

Εικόνα 51. Η μήτρα λαθών για τον ταξινομητή Μέγιστης Πιθανοφάνειας

ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥ%		ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΧΡΗΣΤΗ%	
Class-00	0	Class-00	0
concrete_builbing	48.529	concrete_bu	86.842
tile_building	80	tile_building	90.909
fallow	47.414	fallow	84.615
low vegetation	43.59	low vegetat	22.667
trees	48.235	trees	70.69
playgrounds	1	playgrounds	7.1429
roads and parking	40	roads and p	25.926
shadows	79.31	shadows	47.917

Εικόνα 52. Ακρίβεια χρήστη και παραγωγού για τον ταξινομητή Μέγιστης Πιθανοφάνειας

SAMPLES	CLASS-00	concrete_bui	tile_buildin	fallow	low vege	trees	playroun	roads and p	shadow	ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΓΡ.
Class-00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
concrete_builbing	0	18	0	2	0	1	0	11	2	34
tile_building	0	0	38	4	0	1	0	0	0	43
fallow	0	3	0	65	2	1	0	1	0	72
low vegetation	0	0	2	18	18	20	0	3	4	65
trees	0	2	0	8	6	36	0	6	6	64
playgrounds	0	10	0	17	4	1	1	5	0	38
roads and parkings	0	29	0	8	1	0	0	16	0	54
shadows	0	1	0	2	2	15	0	1	34	55
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΣΤΗΛΗΣ	0	63	40	124	33	75	1	43	46	

Εικόνα 53.Μήτρα λαθών για τον ταξινομητή του κανόνα του παραλληλεπίπεδου

ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥ%		ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΧΡΗΣΤΗ%	
Class-00	0	Class-00	0
concrete_builbing	28.5714	concrete_builbing	52.94
tile_building	95	tile_building	88.37
fallow	52.4194	fallow	90.28
low vegetation	54.5455	low vegetation	27.69
trees	48	trees	56.25
playgrounds	1	playgrounds	2.632
roads and parkings	37.2093	roads and parkings	29.63
shadows	73.913	shadows	61.82

Εικόνα 54.Ακρίβεια χρήστη και παραγωγού για τον κανόνα του παραλληλεπίπεδου

ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΗΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑ	ΚΑΡΡΑ	ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΚΑΡΡΑ
ΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	48,235	0,402	0,001
ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΙΘΑΝΟΦΑΝΕΙΑ	53,176	0,461	0,001
ΚΑΝΟΝΑΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΕΠΙΠΕΔΟΥ	53,176	0,458	0,001

Πίνακας 3. Συγκριτικός πίνακας των ΚΑΡΡΑ και της συνολικής ακρίβειας των τριών ταξινομητών.

6.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Η επιλογή της καταλληλότερης ταξινόμησης από τις τρεις που πραγματοποιήθηκαν για τους σκοπούς αυτής της μεταπτυχιακής μελέτης, έγινε λαμβάνοντας υπ' όψιν την συνολική ακρίβεια και τον συντελεστή KAPPA. Ακολουθεί η σύγκριση μεταξύ των ταξινομήσεων. Για την αξιολόγηση των ταξινομήσεων λήφθηκαν 425 τυχαία δείγματα.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ(OVERALL ACCURACY)

Ο αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας και ο αλγόριθμος του κανόνα του παραλληλεπιπέδου είναι ισόπαλοι, με 53,176%, ενώ ο αλγόριθμος της μέσης απόστασης έχει συνολική ακρίβεια 48,235%.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ KAPPA

Ο αλγόριθμος του κανόνα του παραλληλεπιπέδου έχει KAPPA 0,458 ενώ Ο αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας έχει τον υψηλότερο KAPPA =0,461.Ο αλγόριθμος της μέσης απόστασης έχει KAPPA=0,402.

Λόγω του ότι οι συντελεστές KAPPA των ταξινομητών Μέγιστης Πιθανοφάνειας και κανόνα του Παραλληλεπιπέδου διαφέρουν ελάχιστα αριθμητικά, είναι αναγκαίο να διενεργηθεί το Z-test ώστε να αποσαφηνιστεί αν διαφέρουν στατιστικά. Η μηδενική υπόθεση του test είναι: $H_0:K1=K2$,η οποία απορρίπτεται με διάστημα εμπιστοσύνης 0,05, δηλαδή όταν είναι $|Z|>1,96$.

Από τον τύπο

$$Z = \frac{K1 - K2}{\sqrt{\sigma\kappa1^2 + \sigma\kappa2^2}}$$

προκύπτει ότι είναι $Z=0,0045 < 1,96$, άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΛΕΙΨΗΣ (OMISSION ERROR) ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ (COMMISSION ERROR).

Αρχικά, υπολογίζονται τα σφάλματα. Έπειτα, γίνεται σύγκριση μεταξύ των ταξινομήσεων, ώστε να επιλεχτεί εκείνη με το μικρότερο σφάλμα σε κάθε κατηγορία.

PARARELLIPEPED

K=0,458

OVERALL ACCURACY% =
53.176

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΣΦΑΛΜΑ ΠΑΡΑΛΕΙΨΗΣ%	ΣΦΑΛΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ%
Class-00	100	100
concrete_builbing	71.42857143	47.05882353
tile_building	5	11.62790698
fallow	47.58064516	9.722222222
low vegetation	45.45454545	72.30769231
trees	52	43.75
playgrounds	99	97.36842105
roads and parkings	62.79069767	70.37037037
shadows	26.08695652	38.18181818

MEAN DISTANCE

K=0,402

OVERALL ACCURACY% =
48.235

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΣΦΑΛΜΑ ΠΑΡΑΛΕΙΨΗΣ%	ΣΦΑΛΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ%
Class-00	100	100
concrete_builbing	33.76623377	12.06896552
tile_building	41.17647059	13.04347826
fallow	62.3853211	38.80597015
low vegetation	56.25	72.72727273
trees	60.46511628	42.37288136
playgrounds	100	100
roads and parkings	59.09090909	51.35135135
shadows	20	57.44680851

MAXIMUM LIKELIHOOD

K=0,461

OVERALL ACCURACY% =
53.176

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΣΦΑΛΜΑ ΠΑΡΑΛΕΙΨΗΣ%	ΣΦΑΛΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ%
Class-00	100	100
concrete_builbing	51.47058824	13.15789474
tile_building	20	9.090909091
fallow	52.5862069	15.38461538
low vegetation	56.41025641	77.33333333
trees	51.76470588	29.31034483
playgrounds	99	92.85714286
roads and parkings	60	74.07407407
shadows	100	52.08333333

Έπειτα, γίνεται σύγκριση μεταξύ των ταξινομήσεων, ώστε να επιλεχτεί εκείνη με το μικρότερο σφάλμα σε κάθε κατηγορία.

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ ΠΑΡΑΛΕΙΨΗΣ	ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ ΣΦΑΛΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
concrete_builbing	MEAN DISTANCE	MEAN DISTANCE
tile_building	PARALELIPIPED	MAXIMUM LIKELIHOOD
fallow	PARALELIPIPED	PARALELIPIPED
low vegetation	PARALELIPIPED	PARALELIPIPED
trees	MAXIMUM LIKELIHOOD	MAXIMUM LIKELIHOOD
playgrounds	PARALELIPIPED-MAXIMUM LIKELIHOOD	MAXIMUM LIKELIHOOD
roads and parkings	MEAN DISTANCE	MEAN DISTANCE
shadows	MEAN DISTANCE	PARALELIPIPED

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι ο ταξινομητής με το μικρότερο σφάλμα παράλειψης είναι ο κανόνας του παραλληλεπιπέδου και ο ταξινομητής με το μικρότερο σφάλμα μεταφοράς είναι επίσης ο κανόνας του παραλληλεπιπέδου, αυτή την φορά όμως είναι ισόπαλος με τον ταξινομητή Μέγιστης Πιθανοφάνειας.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω μέτρα ακρίβειας, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η πιο ακριβής ταξινόμηση από τις τρεις που έγιναν, είναι εκείνη που έγινε με την χρήση του ταξινομητή του κανόνα του παραλληλεπιπέδου.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατανομή των test pixel στον χώρο. Το λογισμικό Geomatica δημιουργεί κατά την αξιολόγηση ένα αρχείο τύπου .txt στο οποίο καταχωρεί υπό μορφή πίνακα τα δεδομένα αξιολόγησης με την μορφή:

Sample ID X Y Classified Reference

Sample ID	είναι ο αριθμός του training pixel
X και Y	οι συντεταγμένες του εν λόγω pixel σε μορφή ΕΓΣΑ 87
Classified	σε ποια κλάση ταξινομήθηκε το pixel από τον αλγόριθμο
Reference	σε ποια κλάση φωτοερμηνεύτηκε ότι ανήκει από τον χρήστη.

Με την βοήθεια των προγραμμάτων Access και ArcGIS είναι εύκολο να δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων που να περιέχει αυτούς τους πίνακες. Με χρήση της γλώσσας SQL γίνεται μια ερώτηση (query) στην βάση δεδομένων, ώστε να παραχθούν δύο νέοι πίνακες. Ο πρώτος περιέχει μόνο εκείνα τα pixel για τα οποία ισχύει Classified= Reference και καλείται πίνακας Hit. Ο δεύτερος πίνακας δημιουργείται με βάση την αντίθετη συνθήκη και καλείται πίνακας Miss. Με το λογισμικό ArcGIS απεικονίζονται στον χώρο αυτά τα σημεία.



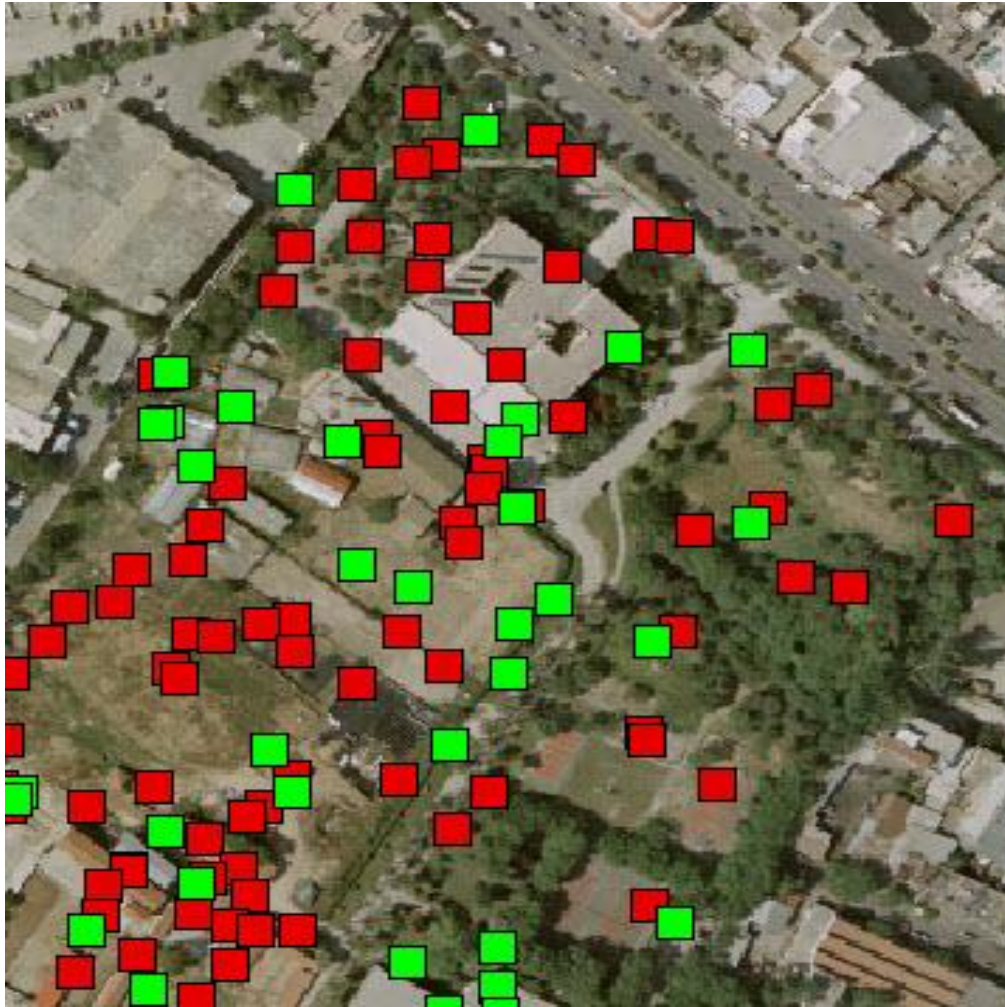
Χάρτης 2. Κατανομή των pixel ελέγχου για τον ταξινομητή Μέσης Απόστασης.



Χάρτης 3. Κατανομή των pixel ελέγχου για τον ταξινομητή Μέγιστης Πιθανοφάνειας.



Χάρτης 4. Κατανομή των pixel ελέγχου για τον ταξινομητή του κανόνα του Παραλληλεπίδου



Εικόνα 55.Λεπτομέρεια των Hit και Miss points

Δημιουργείται το ερώτημα που οφείλονται τα miss points. Πρόκειται για κακή φωτοερμηνεία από πλευράς χρήστη ή ο αλγόριθμος ταξινόμησης έχει κατατάξει ρixel σε λάθος κλάση;

Δεχόμενοι ότι κάθε αλγόριθμος κατατάσσει σε κλάσεις με βάση τον ψηφιακό αριθμό κάθε ρixel, είναι δυνατόν να υπάρχουν παραπλήσιοι ψηφιακοί αριθμοί σε διαφορετικές κλάσεις. Παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση των κτιρίων με τσιμεντένιες ταράτσες και οι δρόμοι του Γ.Π.Α. Πρόκειται για δυο διαφορετικές κλάσεις και όμως λόγω της ομοιότητας των υλικών, αντανακλούν παραπλήσιες ποσότητες της Η/Μ ακτινοβολίας. Αυτό στην αεροφωτογραφία αποτυπώνεται ως παραπλήσιοι ψηφιακοί αριθμοί και είναι φυσικό

κάθε αλγόριθμος ταξινόμησης να μην μπορεί να διαχωρίσει ότι πρόκειται για διαφορετικές κλάσεις.

Σε κάθε περίπτωση, θεωρούμε ότι ο λόγος hit/miss μπορεί να έχει σχέση με την ακρίβεια της ταξινόμησης. Αυτό επειδή ο ανθρώπινος «φωτοερμηνευτής-ταξινομητής» δεν έχει τους περιορισμούς του λογισμικού. Μπορεί να έχει εμπειρία της περιοχής ενδιαφέροντος και εκτός από την διαφορά στην φωτεινότητα μπορεί να αντιληφθεί και να αξιοποιήσει και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των στοιχείων που ταξινομούνται. Άρα, προκύπτει ότι είναι πιο πιθανό να έχει γίνει λανθασμένη ταξινόμηση από το λογισμικό παρά λανθασμένη φωτοερμηνεία.

Ταξινομητής	HIT	MISS	RATIO
Μέσης Απόστασης	150	275	0,545
Μέγιστης Πιθανοφάνειας	212	213	0,995
Κανόνας Παραλληλεπιπέδου	215	210	1,023

Πίνακας 3. Συγκεντρωτικός πίνακας hit/miss

Μεγαλύτερο λόγο επιτυχίας/αποτυχίας παρουσίασε ο ταξινομητής του κανόνα του παραλληλεπιπέδου.

6.4 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ – ΑΝΑΠΤΥΞΗ GIS

Για την ανάπτυξη του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS 9.3.

Η ψηφιοποίηση έγινε με την μέθοδο Heads Up Digitizing, κατά την οποία ο χρήστης με διαδοχικά κλικ του ποντικιού και με βάση ένα υπόβαθρο σε μορφή κανάβου, ιχνογραφεί τα όρια των αντικειμένων που ψηφιοποιεί. Το υπόβαθρο σε αυτή την μεταπτυχιακή μελέτη είναι η διορθωμένη αεροφωτογραφία της περιοχής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Ψηφιοποιήθηκαν οι εξής οντότητες εντός των ορίων του Γ.Π.Α:

1. Κτίρια με ταράτσες
2. Κτίρια με σκεπή από κεραμίδια
3. Δρόμοι και χώροι στάθμευσης
4. Χώροι πρασίνου χαμηλής ανάπτυξης
5. Χώροι με καλλιέργειες (αροτραίες-δενδρώδεις-αμπελώνας)
6. Χώροι με δέντρα τα οποία δεν είναι αγροτικού ενδιαφέροντος
7. Γήπεδα
8. Θερμοκήπια
9. Χέρσες εκτάσεις

Αυτές οι χρήσεις γης ψηφιοποιήθηκαν με πολυγωνική τοπολογία. Ως προβολικό σύστημα των πολυγώνων που δημιουργήθηκαν επιλέχθηκε το προβολικό σύστημα της αεροφωτογραφίας, δηλαδή το ΕΓΣΑ 87. Δημιουργήθηκαν συνολικά 11 σχηματικά αρχεία(shapefiles). Κατά την δημιουργία τους έγινε η

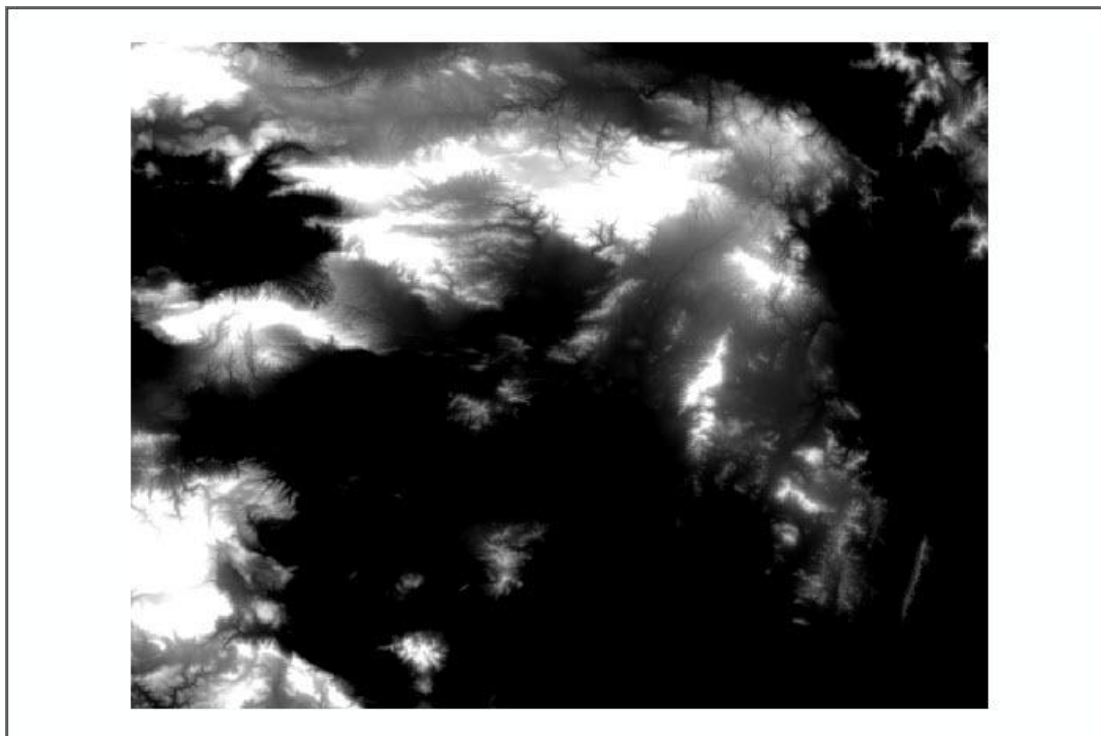
πρόβλεψη για την πρόσθεση στον πίνακα χαρακτηριστικών (attribute table) κάθε σχηματικού αρχείου των πεδίων Area και Perimeter, που αντιστοιχούν στο εμβαδό (σε τετραγωνικά μέτρα) και στην περίμετρο(σε μέτρα) της χρήσης γης.

Ποιοτικός Έλεγχος ψηφιοποίησης

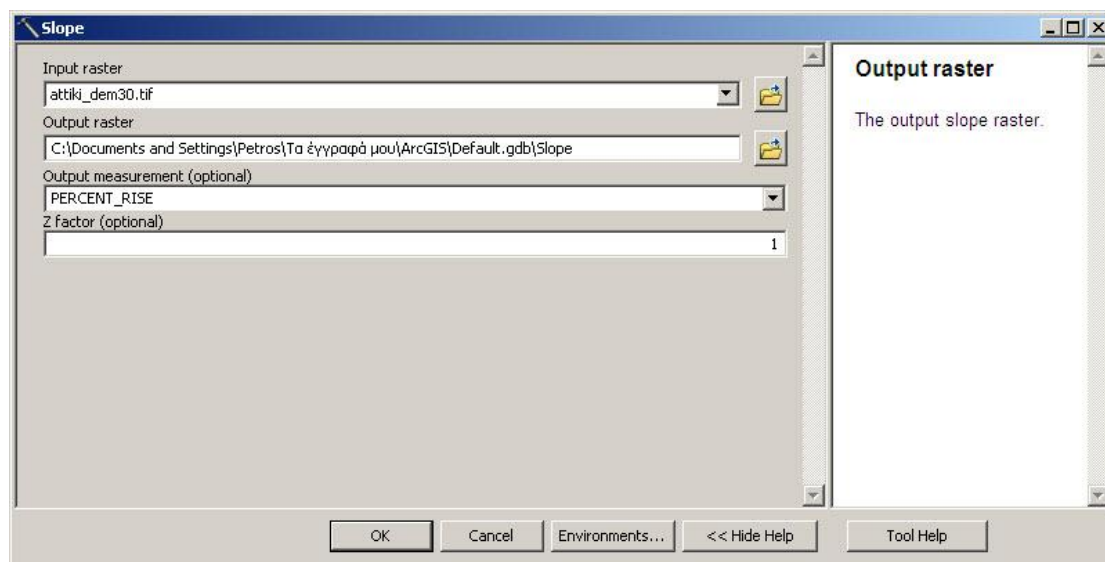
Συλλέχθηκαν επιτοπίως διάφορα σημεία εντός της έκτασης της περιοχής μελέτης. Με δέκτη GPS χειρός καταγράφηκε η θέση τους σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 και έπειτα τα σημεία φωτογραφήθηκαν. Έγινε, έπειτα μια σύγκριση μεταξύ της κάλυψης γης που χαρτογραφήθηκε με την φωτοερμηνεία και της κάλυψης γης που απεικονίζεται στο κέντρο των φωτογραφιών. Από τον έλεγχο αυτό προκύπτει το συμπέρασμα ότι η φωτοερμηνεία-ψηφιοποίηση είναι σχετικά ακριβής, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που αποτυχαίνει όπως η περίπτωση που φωτοερμηνεύονται δέντρα αλλά η κάλυψη γης στην φωτογραφία είναι χαμηλή βλάστηση ή στα όρια διαφορετικών καλύψεων γης. Φωτογραφική τεκμηρίωση των σημείων ποιοτικού ελέγχου υπάρχει στο παράρτημα.

6.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΩΝ ΚΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΘΕΣΗΣ.

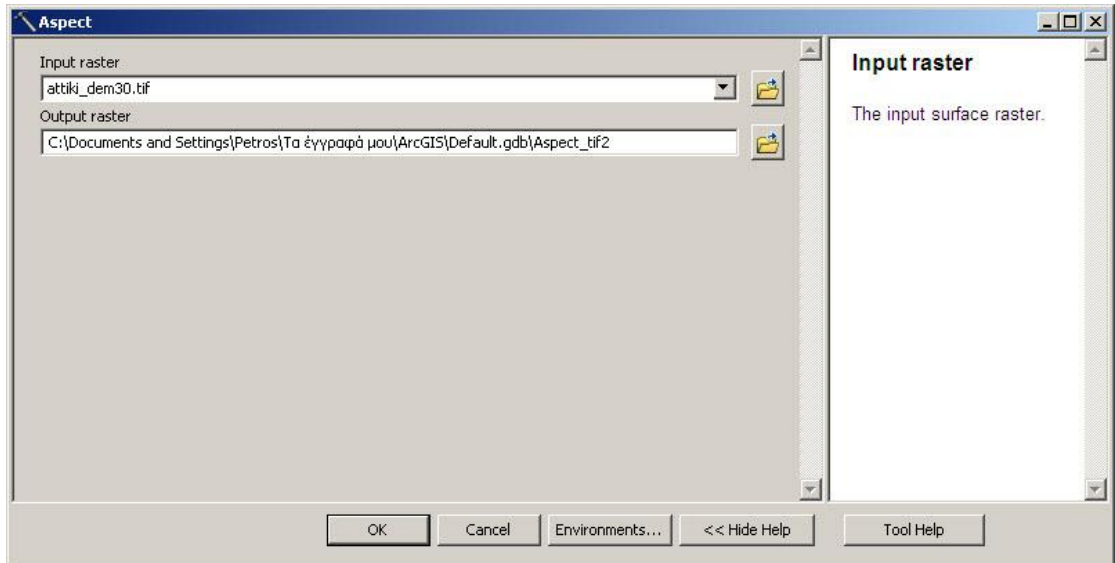
Το αρχικό DEM (Digital Elevation Model) επεξεργάστηκε με τα εργαλεία Slope και Aspect του Arc Toolbox.



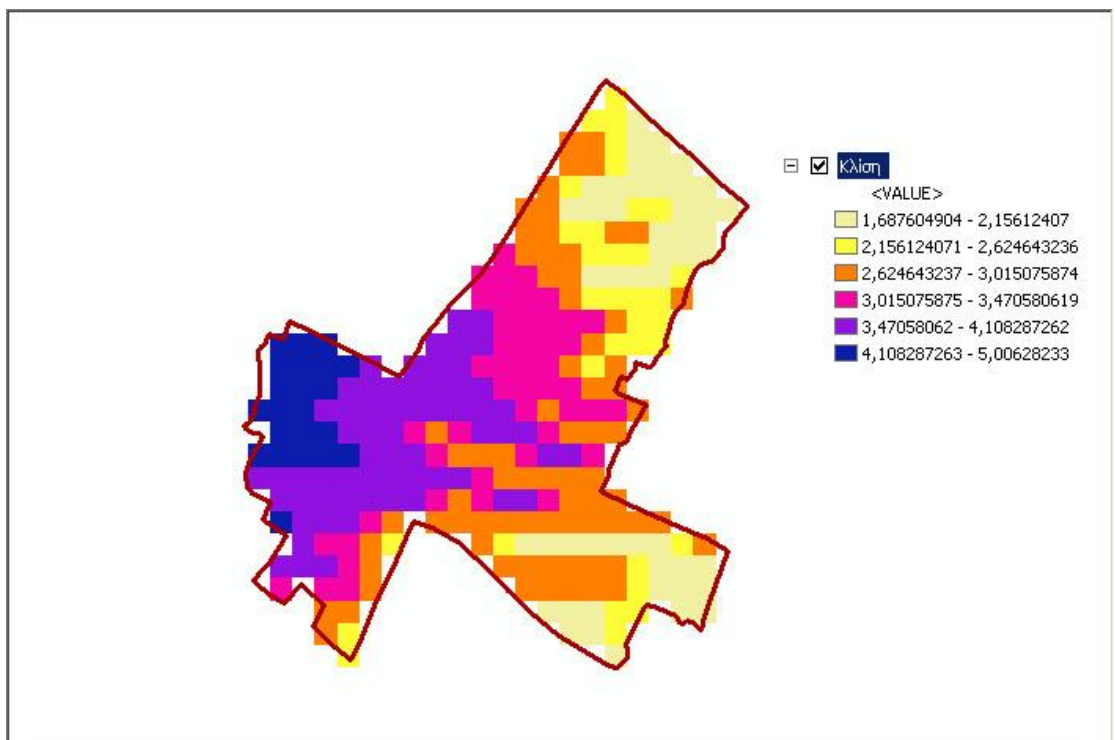
Εικόνα 56. Το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο της Αττικής



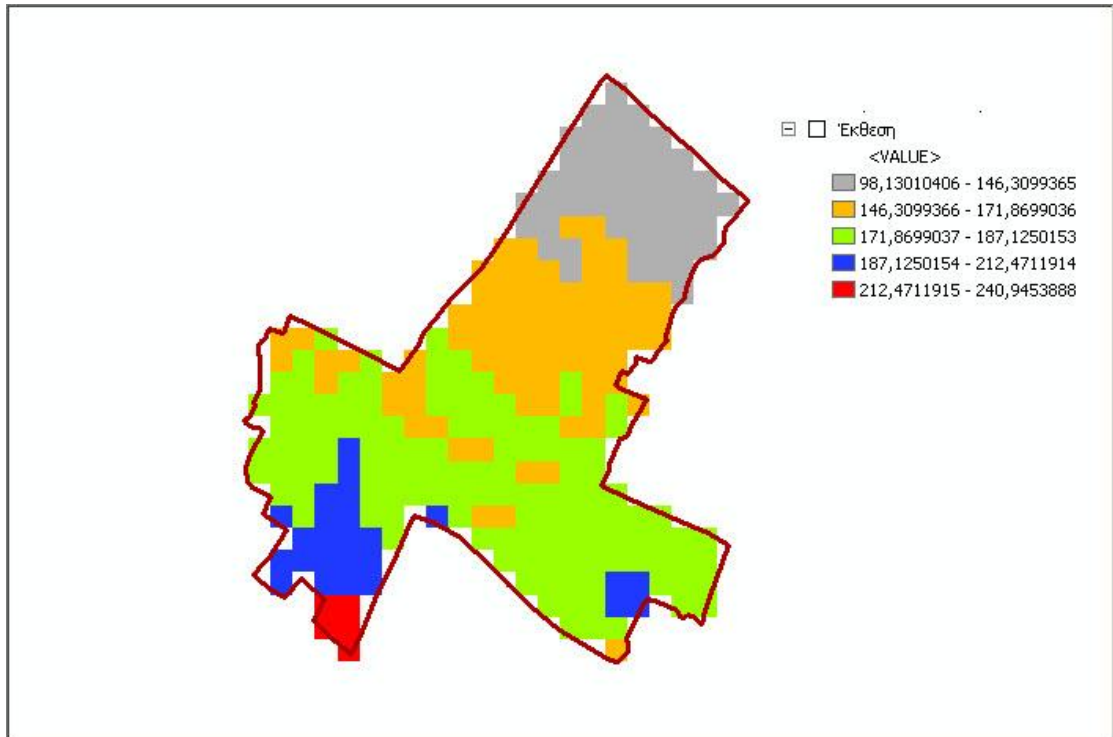
Εικόνα 57. Το παράθυρο διαλόγου του εργαλείου Slope



Εικόνα 58. Το παράθυρο διαλόγου του εργαλείου Aspect
 Τα τελικά αποτελέσματα από την επεξεργασία «κόπηκαν» με βάση το πολύγωνο που ορίζει το Γ.Π.Α και με την χρήση του εργαλείου Extract by Mask.

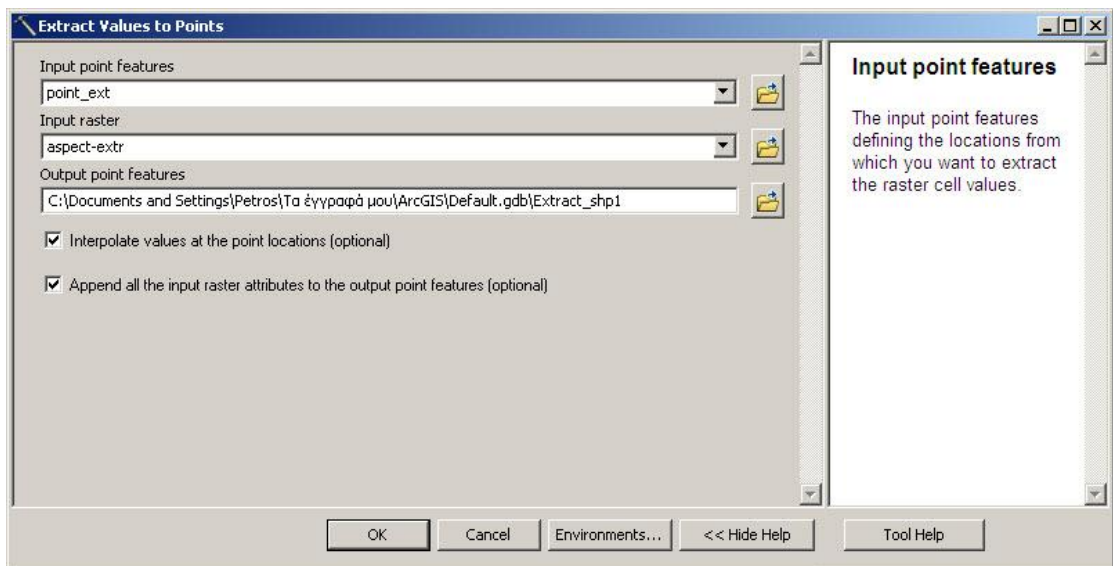


Εικόνα 59. Ο θεματικός χάρτης κλίσεων (σε μοίρες) του Γ.Π.Α. Διακρίνεται με κόκκινο χρώμα το όριο του Γ.Π.Α



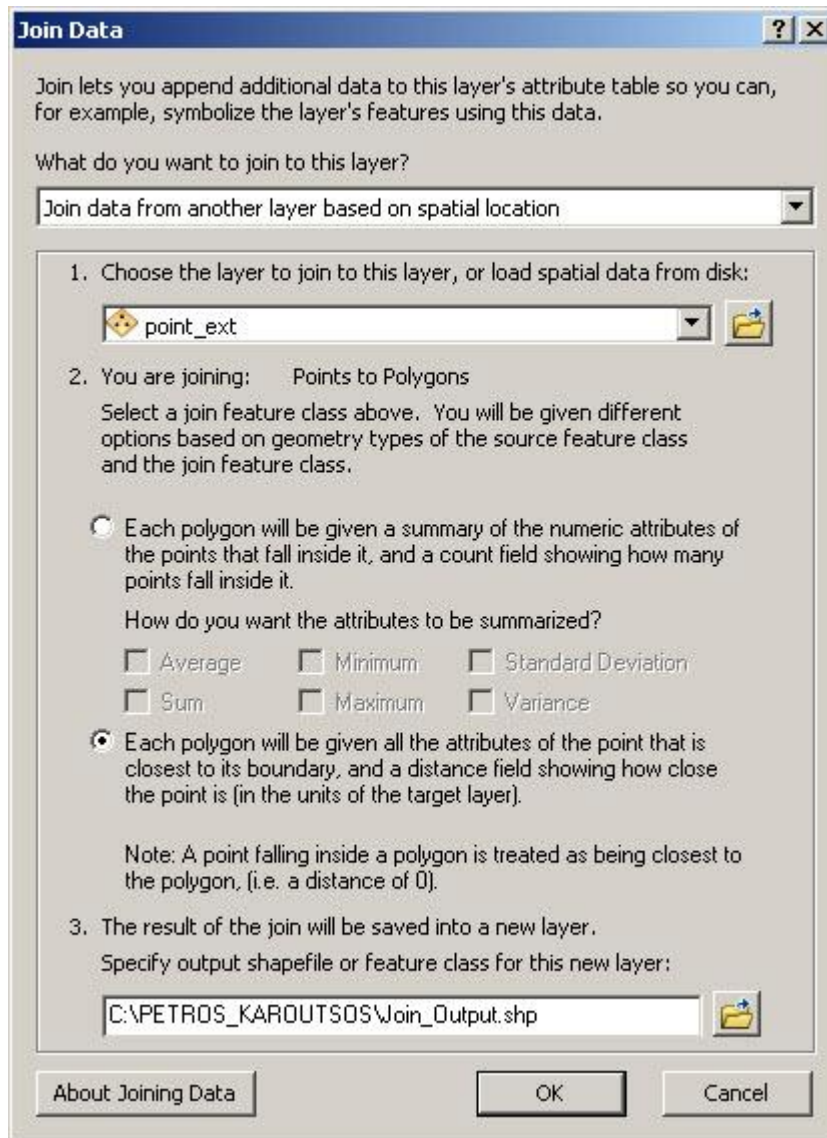
Εικόνα 60. Ο θεματικός χάρτης της έκθεσης

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε ένα ακόμα σχηματικό αρχείο, σημειακής τοπολογίας. Με την βοήθεια του εργαλείου Extract Values to Points, οι τιμές της κλίσης και της έκθεσης εξάχθηκαν διαδοχικά από τα αντίστοιχα raster και εισήχθησαν ως attributes των σημείων του σχηματικού αρχείου.



Εικόνα 61. Το παράθυρο διαλόγου του εργαλείου Extract Values to Points

Για να αποδοθούν στα σχηματικά αρχεία της χρήσης γης τα χαρακτηριστικά της κλίσης και της έκθεσης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της σύνδεσης των πινάκων χαρακτηριστικών, βάσει της χωρικής θέσης των στοιχείων (Spatial Join).



Εικόνα 62. Το παράθυρο διαλόγου για το Spatial Join.

Τελικά, από όλη την παραπάνω επεξεργασία προκύπτει ένας χάρτης του Γ.Π.Α στον οποίο εμφανίζονται οι κυριότερες χρήσεις γης καθώς και χαρακτηριστικά τους όπως τα ονόματα των κτηρίων, η έκταση και η περίμετρος κάθε χρήσης, η κλίση και η έκθεση.

Δημιουργήθηκαν οι αναφορές (reports) κάθε χρήσης, οι οποίες παρατίθενται στο παράρτημα.

7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η εξαγωγή δεδομένων αστικού περιβάλλοντος είναι, για τους σκοπούς της μελέτης και διαχείρισης έργων βιοκλιματικού σχεδιασμού, μια σημαντική πρόκληση τόσο για την τεχνολογία των ΣΓΠ και της Τηλεπισκόπησης, όσο και για την βέλτιστη διαχείριση ευαίσθητων χρήσεων γης και την γνώση τους κατά τον αστικό σχεδιασμό.

Υπάρχει ένας μεγάλος όγκος αεροφωτογραφιών, οι οποίες καλύπτουν όλα τα αστικά κέντρα της Ελληνικής επικράτειας. Συνεπώς υπάρχει μεγάλος όγκος πληροφοριών που μπορούν να εξαχθούν, με κατάλληλες μεθόδους, από αυτές τις αεροφωτογραφίες. Ο συνδυασμός αυτών των πληροφοριών και των βάσεων δεδομένων των σύγχρονων ΣΓΠ οδηγεί στην μείωση της ασάφειας που υπάρχει σε σχέση με τις επιπτώσεις της ανθρώπινης ανάπτυξης στο περιβάλλον και βοηθά στην αποτελεσματική χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής.

Η παρούσα μελέτη κατέδειξε τις πολλές δυνατότητες που παρέχει η χρήση τεχνικών και μεθόδων της Τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών στην χαρτογράφηση και την εξαγωγή δεδομένων για τον υπολογισμό βιοκλιματικών δεικτών. Η προσπάθεια για μια ολοκληρωμένη προσέγγιση θεωρούμε ότι

πέτυχε τον στόχο της παροχής μιας μεθοδολογίας για την κατάστρωση διαχειριστικών σχεδίων δράσης και προγραμματισμού έργων βιοκλιματικού σχεδιασμού.

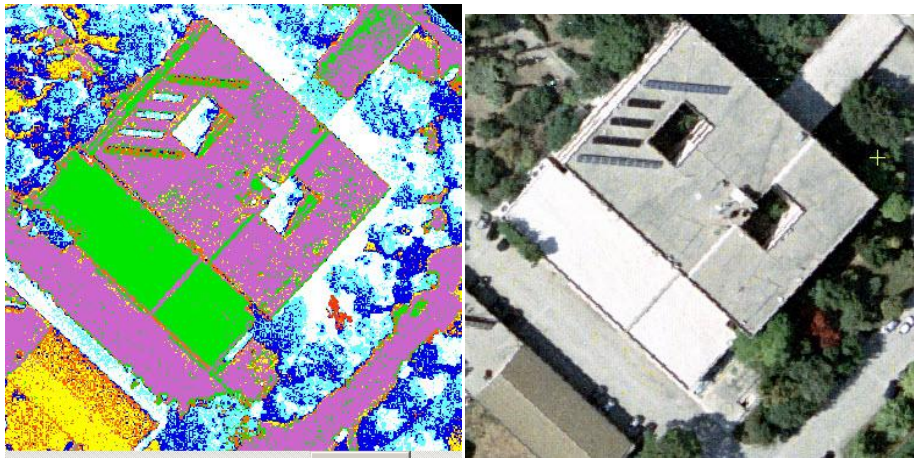
Με την παρούσα μελέτη φάνηκε ότι με την χρήση της αεροφωτογραφίας υψηλής ανάλυσης μπορεί να διακριθεί η έκταση της επιφάνειας των διαφόρων χρήσεων γης και υπάρχει η δυνατότητα να αναγνωρισθεί το είδος της κάλυψης γης, δεδομένα που είναι πολύ χρήσιμα για τον υπολογισμό βιοκλιματικών δεικτών, όπως υποδεικνύει η σχετική βιβλιογραφία.

Οι τεχνικές της εποπτευόμενης ταξινόμησης εφαρμόστηκαν στην αεροφωτογραφία μετά από εργασία πεδίου. Οι περιοχές εκπαίδευσης της εποπτευόμενης ταξινόμησης εντοπίστηκαν στην ίδια αεροφωτογραφία. Οι κλάσεις που επιλέχθηκαν ήταν κτίρια με τσιμεντένιες ταράτσες, κτίρια με σκεπή καλυμμένα με κεραμίδια, δρόμοι και χώροι στάθμευσης, γυμνό έδαφος, δέντρα, χαμηλή βλάστηση και σκιαζόμενες επιφάνειες. Αξιολογήθηκε η ακρίβεια της ταξινόμησης και αποφασίστηκε εάν θα χρησιμοποιηθεί η ταξινομημένη εικόνα για την εξαγωγή των βιοκλιματικών δεικτών.

Τα χωρικά σφάλματα της ψηφιακής επεξεργασίας προέρχονται από την γεωμετρική διόρθωση της αεροφωτογραφίας. Η μέθοδος της γεωμετρικής διόρθωσης που υλοποιήθηκε ήταν η χρήση του πολυωνυμικού μετασχηματισμού, με την βοήθεια Επίγειων Σημείων Ελέγχου, Κατά την συλλογή αυτών των σημείων, παρατηρήθηκε ότι κάποια από αυτά ήταν εντός σκιασμένης περιοχής της αεροφωτογραφίας, οπότε στην τελική φάση της διόρθωσης, ήταν αδύνατον να προσδιοριστεί επακριβώς η θέση τους.

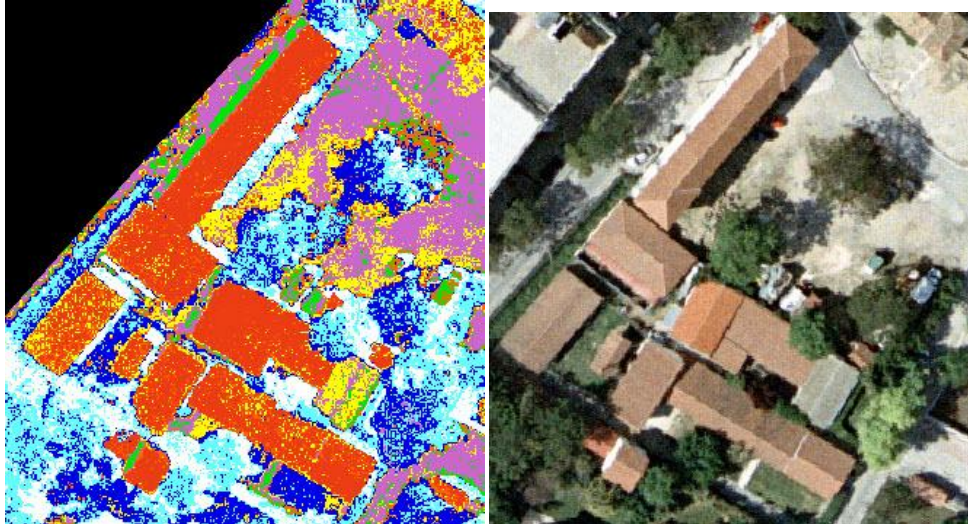
Επιπλέον, ο δέκτης GPS που χρησιμοποιήθηκε προσδιόριζε τις συντεταγμένες κάθε σημείου με μέσο όρο σφάλματος 5 μέτρα. Δεδομένης της έκτασης του Γ.Π.Α και της πυκνότητας της δειγματοληψίας που έγινε, το σφάλμα κρίνεται μεγάλο.

Από την ταξινόμηση της τηλεπισκοπικής απεικόνισης της περιοχής μελέτης προκύπτει ότι, η τεχνική της ταξινόμησης είναι δύσκολο να χαρακτηρίσει με μεγάλη ακρίβεια τις διάφορες κλάσεις που υπάρχουν στην εικόνα. Για παράδειγμα, υπάρχει σύγχυση μεταξύ των κλάσεων που αφορούν στις τσιμεντένιες ταράτσες και στους δρόμους. Αυτό οφείλεται στις παρόμοιες φασματικές υπογραφές των υλικών. Πιθανότατα να έχει γίνει επένδυση πίσσας στις ταράτσες για λόγους μόνωσης.



Εικόνα 63. Παράδειγμα σύγχυσης κλάσεων. Με μωβ είναι η κλάση δρόμων και με πράσινο η κλάση τσιμεντένιων ταρατσών.

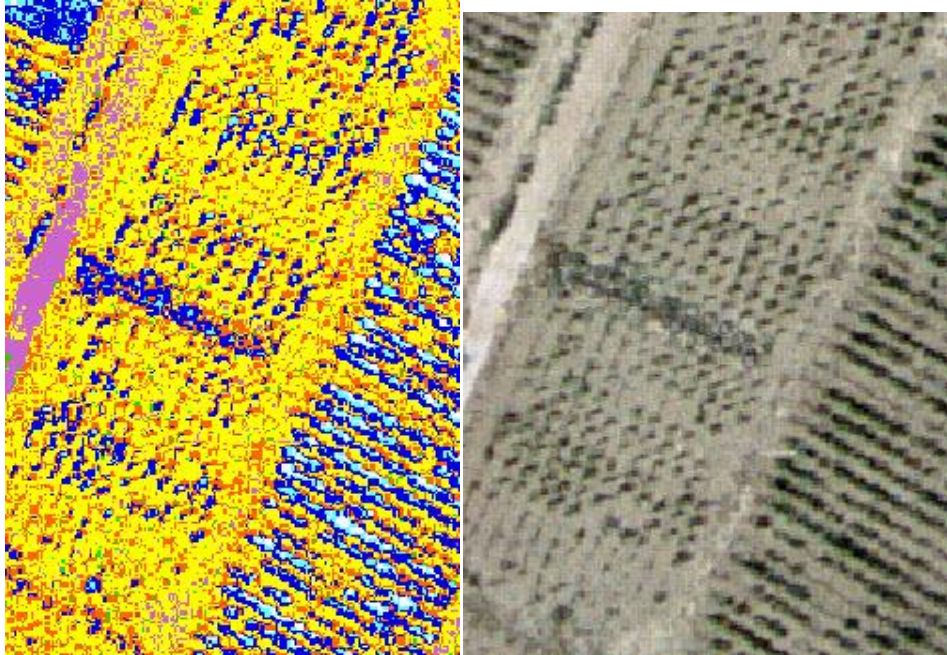
Από όλα τα είδη κτισμάτων, καλύτερο διαχωρισμό παρουσιάζουν εκείνα με κεραμοσκεπή, λόγω του χρώματος του υλικού. Παρόλα αυτά το ερυθρό χρώμα του τάπητα των γηπέδων του Γ.Π.Α προκαλεί την ταξινόμηση αυτών των χρήσεων στην κλάση `tile_building`, με αποτέλεσμα η κλάση `playgrounds` να έχει ακρίβεια χρήστη μόλις 2,6%.



Εικόνα 64. Η ταξινόμηση των σκεπών με κεραμίδια. Παρατηρείται πολύ καλός διαχωρισμός, όπως και στα δέντρα(μπλε) και τα ακάλυπτα εδάφη(κίτρινα).

Πολύ καλά αναγνωρίζονται τα ακάλυπτα εδάφη (fallow), με ακρίβεια χρήστη 90%. Το χρώμα του εδάφους δεν επιτρέπει την σύγχυση με κάποια άλλη κλάση. Στο ίδιο μοτίβο κινείται και η κλάση των σκιών (shadows) με ακρίβεια χρήστη 61%.

Η κλάση που αφορά την χαμηλή βλάστηση δεν διακρίνεται καθαρά στην ταξινομημένη εικόνα, λόγω της αδυναμίας του αλγόριθμου να την ξεχωρίσει από την κλάση των δένδρων.



Εικόνα 65.Λεπτομέρεια του αμπελώνα του Γ.Π.Α. Με μπλε είναι τα πρέμνα ενώ με κίτρινο η ακάλυπτη γη που αντιστοιχεί στις αποστάσεις μεταξύ των πρέμνων.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ταξινόμηση μια αεροφωτογραφίας δεν προσφέρει τον ασφαλέστερο τρόπο για την εξαγωγή δεδομένων που έχουν να κάνουν με κτίσματα και τις γεωμετρικές ιδιότητες αυτών, ειδικά όταν τα κτίσματα αυτά βρίσκονται σε αστικό περιβάλλον. Βέβαια, παίζει σημαντικό ρόλο το γεγονός ότι η ταξινόμηση έγινε λαμβάνοντας υπόψη μόνο τα τρία κανάλια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντιστοιχούν στην ορατή περιοχή του φάσματος. Εάν υπήρχαν και άλλα κανάλια διαθέσιμα, τότε η ακρίβεια του ταξινομητή θα ήταν μεγαλύτερη, λόγω της αύξησης του πλήθους των πληροφοριών που θα υπήρχαν στην τηλεπισκοπική απεικόνιση.

Για τις ανάγκες αυτής της μεταπτυχιακής μελέτης, προτιμήθηκε η ψηφιοποίηση της διορθωμένης αεροφωτογραφίας για την αποτύπωση των κτιρίων του Γ.Π.Α. Το προφανές πλεονέκτημα αυτής της πρακτικής είναι ότι ο χρήστης, έχοντας γνώση της περιοχής, δεν συγχέει τις διαφορετικές χρήσεις γης, γιατί στην φωτοερμηνεία, που αναγκαστικά κάνει, υπεισέρχονται ως κριτήρια και οι γεωμετρικές ιδιότητες και όχι μόνο οι φασματικές. Η χαρτογράφηση της περιοχής

του Γ.Π.Α με την χρήση G.I.S είχε το πλεονέκτημα του αυτοματοποιημένου υπολογισμού των γεωμετρικών ιδιοτήτων της κάθε χρήσης (έκταση, περίμετρος), καθώς και χωρικών τους ιδιοτήτων (κλίση, έκθεση) και την δημιουργία θεματικών χαρτών και αναφορών για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Μειονέκτημα της χρήσης G.I.S είναι το ότι απαιτείται σημαντικός χρόνος για την δημιουργία του ψηφιοποιημένου υποβάθρου. Επιπλέον, απαιτείται λεπτομερής και επιμελής εργασία, διότι σε περιοχές που υπάρχουν πολλές διαφορετικές χρήσεις γης, οι οποίες είναι πυκνά κατανεμημένες, είναι δυνατόν να συμβούν υπερβάσεις (overlap) και κενά (gaps) μεταξύ των χρήσεων και τα τελικά αποτελέσματα να είναι λανθασμένα, αφού υπολογίζονται λάθος εμβαδό και περίμετρος της χρήσης γης.

Στην προσπάθεια ενός συνδυασμού των πλεονεκτημάτων των δύο μεθόδων, με σκοπό να επιτυγχάνεται το βέλτιστο τελικό αποτέλεσμα σε σύντομο χρονικό διάστημα, μια πρόταση θα ήταν η χρήση της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (object-oriented classification).

Σε αυτή την περίπτωση βασική μονάδα που τα ταξινομείται δεν είναι πλέον το pixel της τηλεπισκοπικής απεικόνισης, αλλά το *αντικείμενο* (object), το οποίο ορίζεται ως μια ομάδα pixels τα οποία έχουν κοινά φασματικά αλλά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Αφού η εικόνα τεμαχιστεί σε διάφορα υποσύνολα εικονοστοιχείων με βάση τα φασματικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά, εφαρμόζεται μια ασαφής ανάλυση (Data Fusion) όπου τα υποσύνολα αυτά αποκτούν πραγματικές ιδιότητες των χρήσεων γης. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η δυνατότητα αυτοματοποίησης της διαδικασίας και η ακριβέστερη χαρτογράφηση, καθώς αποφεύγονται τα σφάλματα του χρήστη κατά την ψηφιοποίηση.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akinbode, O. M. (2008). Temperature and relative humidity distributions in a medium size administrative town in southwest Nigeria. *Journal of Environmental Management* , 95-105.
- Alcoforado, M. J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning: The example of Lisbon (Portugal). *Landscape and Urban Planning* , 56-65.
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water and the urban heat island. *International journal of Climatology* , 1-26.
- Avery, T. E., & Berlin, G. L. (1992). *Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation*. Macmillan and Maxwell.
- Barrett, C. E., & Curtis, F. L. (1992). *Introduction to environmental remote sensing* . London: Chapman & Hall.
- Campbell, B. J. (1996). *Introduction to Remote Sensing* . New York: The Guilford Publications Press.
- Chen, D., & Stow, D. (2002). The Effect Of Training Strategies on Supervised Classification at Different Spatial Resolutions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* , 68, 1155-1161.
- Congalton, R. G. (1991). A Review of Assessing the Accuracy of Classification of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of the Environment* .
- Congalton, R. G. (2005). Thematic and Positional Accuracy Assessment of Digital Remotely Sensed Data. *Seventh Annual Forest Inventory and Analysis Symposium*.
- Critchfield, H. J. (1974). *General Climatology*. Eaglewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall.
- Drury, S. A. (1987). *Image Interpretation in Geology*. Chapman & Hall.
- Eliasson, I. (1992). Infrared thermography and urban temperature patterns. *International Journal of Remote Sensing* , 869-879.
- Emmanuel, R. (2007). Urban shading - a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Climatology* , 1995-2004.

- ESA. (1994). *From optical to ERS-1, a cross-over training course*.
- Fanger, P. (1972). *Thermal Comfort*. New York: McGraw-Hill.
- Foody, G. M. (2004). Thematic Map Comparison: Evaluating the Statistical Significance of Differences in Classification Accuracy . *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* , 627-633.
- Gupta, P. R. (1991). Remote Sensing in Geology. *Springer-Verlag* , 356.
- Khoshelham, K., Nardinocchi, C., Frontoni, E., Mancini, A., & Zingaretti, P. (2010). Performance evaluation of automated approaches to building detection in multi-source aerial data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* .
- Kiefer, R., & Lillesand, T. M. (1987). *Remote Sensing and Image Interpretation*. J. Wiley & Sons.
- Lowry, W. (1969). *Weather and Life. An Introduction to Biometeorology* . Academic Press.
- Mather, M. p. (1991). *Computer processing of remote sensing and image interpretation*. J. Wiley & Sons.
- Mayer, H. (1999). Automatic Object Extraction from Aerial Imagery - a Survey Focusing on Buildings. *Computer Vision and Image Understanding* , 74, 138-149.
- Mayer, H. (1999). Automatic Object Extraction from Aerial Images - A Survey Focusing on Buildings. *Computer Vision and Image Understanding* , 138.
- Mochida, A. (2008). Prediction of wind environment and thermal comfort at pedestrian level in urban area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* , 459-477.
- Oliver, J. (2005). *Encyclopedia of world climatology*. Springer.
- Sabins, F. F. (1997). *Remote Sensing: Principles and Interpretation*. W.H Freeman and Company.
- Space Imaging Inc. (2002). *Mapping with High-Resolution Satellite Imagery*.
- Townshend, J. G. (1980). The spatial resolving power of earth resources satellites:a review.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of the Environment* , 127-150.
- Unger, J. (2004). Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island:review and new approach. *Climate Research* , 253-264.
- Zhang, Y. (1999). Optimisation of building detection in satellite images by combining multispectral classification and texture filtering. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* .

Αστάρας, Θ. (1994). Η συμβολή της σύγχρονης τηλεπισκόπησης στην περιοδική ανίχνευση-προστασία του περιβάλλοντος . *Πρακτικά Β' Πανελληνίου Συμποσίου για την Ηλιακή και διαστημική έρευνα στην Ελλάδα σήμερα-Βασική έρευνα ,τεχνολογία και εφαρμογες* , 35.

Αστάρας, Θ. (1991-92). *Φωτοερμηνεία (Τηλεπισκόπηση) στις γεωεπιστήμες (Σημειώσεις)*. Αθήνα: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Δημοπούλου, Μ. (2008). *Συγκριτική μελέτη online υπηρεσιών μετεπεξεργασίας δεδομένων GPS*. Αθήνα: Διπλωματική μελέτη.

Δημοπούλου, Μ. (2008). *Συγκριτική Μελέτη Online Υπηρεσιών Μετεπεξεργασίας Δεδομένων GPS*. Αθήνα: Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Εμμ., Ψ. (2000). *Διερεύνηση και καταγραφή των αλλαγών κάλυψης γης στην ευρύτερη περιοχή της Λαμίας με επεξεργασία δορυφορικών εικόνων Landsat*. Μεταπτυχιακή Διατριβή.

Εμμ., Ψ. (1997). *Υδρολογικές συνθήκες των παράκτιων λεκανών του Βορείου κορινθιακού κόλπου με έμφαση στην ανίχνευση της διαφυγής υπογείων υδάτων με χρήση τηλεανίχνευσης* . Πτυχιακή Μελέτη.

Κόλλια, Β. (2003). *Εισαγωγή στα Φεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα*. Αθήνα: Γ.Π.Α.

Ματζαράκης, Α. (1995). *Ανθρωποβιομετεωρολογική εκτίμηση του κλίματος της Ελλάδος*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστημίο.

Μερτίκας, Σ. (2009). *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας* . Αθήνα: ΙΩΝ.

Μπίρης, Κ. (1966). *Αι Αθήναι από τον 19ο στον 20ο αιώνα* . Αθήνα: Έκδοση Καθιδρύματος Πολεοδομίας και Ιστορίας των Αθηνών.

Παρχαρίδης, Ι. (1994). *Τεκτονική ανάλυση της περιοχής Βόρειας Θεσσαλίας και Κεντρικής-Δυτικής Μακεδονίας με χρήση μεθόδων Τηλεπισκόπησης*. Διδακτορική Διατριβή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αμπελώνας

FID	Εμβαδόν	Περίμετρος	Κλίση	Έκθεση
0	1573.578328	156.616285	3.814075	180
1	1857.099389	191.83924	3.814075	180
2	2590.872935	215.316714	3.646971	191.309937
3	8303.015211	511.883877	3.471741	195.945389
4	4436.675212	416.649944	3.321432	201.037506
5	5067.459661	439.374058	2.781886	210.96376

Αροτραίες Καλλιέργειες

FID	Εμβαδόν	Περίμετρος	Κλίση	Έκθεση
0	975.20252	166.050732	2.698951	135
1	283.813651	68.193079	2.1343	153.434952
2	333.817217	87.471884	4.582315	171.027374
3	1070.241104	126.29292	4.315449	173.659805
4	982.416445	126.493787	5.006282	177.273682
5	687.477075	114.140634	4.787291	174.289413
6	822.875322	125.826271	4.582315	171.027374
7	369.231575	79.403302	4.058664	176.633545
8	71.670294	37.5841	4.058664	176.633545

Γήπεδα

FID	Όνομα	Εμβαδόν	Περίμετρος	Κλίση	Έκθεση
0	Μπάσκετ	522.951	95.206697	1.721	146.3
1	Τέννις	258.481	69.175223	2.57	158.2
2	Τέννις	230.539	67.062505	2.57	158.2
3	Βόλεϊ	171.48	55.365017	2.053	144.5

Δέντρα

FID	area	perimeter	Slope	Aspect
0	367.6	113.054304	3.584252	176.185928
1	381.2	124.74438	4.763642	180
2	40.56	25.037128	4.787291	185.710587
3	210.4	60.827145	4.787291	185.710587
4	157.4	57.280413	4.787291	185.710587
5	270.6	102.5816	4.787291	185.710587
6	49.02	31.585915	4.787291	185.710587

7	274.6	136.040976	3.814075	180
8	439.1	116.33715	3.109633	184.398712
9	5710	712.113385	3.814075	180
10	195	72.204782	3.584252	176.185928
11	492.1	88.882833	0	180
12	471.3	96.924596	0	180
13	206.4	61.075191	0	180
14	642	250.865159	2.901822	170.537674
15	192.5	64.896064	3.646971	168.690063
16	272.9	67.911054	3.646971	168.690063
17	123.5	47.862401	3.646971	168.690063
18	363.9	133.238317	3.646971	168.690063
19	134.5	43.970042	3.321432	158.962494
20	269	95.602068	3.016961	161.565048
21	103	40.400945	3.016961	161.565048
22	749.1	174.711655	3.471741	164.054611
23	156.4	63.127806	3.181813	167.005386
24	175	51.162603	3.372287	171.869904
25	94.19	51.543855	3.372287	171.869904
26	158.6	63.964128	2.433139	168.690063
27	669.3	115.065756	3.016961	161.565048
28	1445	279.556454	2.361991	135
29	360.2	103.169177	2.361991	135
30	1660	319.345016	2.361991	135
31	2665	437.2977	2.052775	125.537682
32	8765	1270.31006	1.721006	146.309937
33	559.9	130.966429	2.569503	158.198593
34	0.029	7.366895	2.569503	158.198593
35	2067	342.851345	2.569503	158.198593
36	112.1	52.019528	2.052775	144.462326
37	45.88	27.601823	2.052775	144.462326
38	840.8	249.216221	2.862405	180
39	632.1	184.673475	1.909152	180
40	193.6	76.087339	2.862405	180
41	871.5	250.060289	2.862405	180
42	8582	476.282388	2.635026	185.194427
43	7559	1235.606028	3.181813	167.005386
44	313	73.88636	3.584252	176.185928
45	199.9	59.771174	3.584252	176.185928
46	382.2	110.707996	3.584252	176.185928
47	293.3	96.938581	3.584252	176.185928
48	236.6	78.207056	3.931096	165.96376
49	623.4	262.262383	3.016961	161.565048
50	1492	327.962733	4.582315	171.027374

51	568.7	121.685766	5.006282	177.273682
52	255.9	66.812255	4.058664	176.633545
53	262.2	97.34215	3.814075	180

Κτίρια με κεραμίδια

FID	Όνομα	Εμβαδόν	Περίμετρος	Κλίση	Έκθεση
0	Γεωργικό Μουσείο	1006	245.920758	4.763642	180
1	Λαχανοκομία	68.1	33.490823	4.787291	185.710587
2	Ιατρείο	81.1	37.056394	4.787291	185.710587
3	Οικίσκος	68.18	36.723744	3.931096	194.03624
4	Αμπελοκομείο	107.8	45.254743	3.646971	191.309937
5	Ισαακίδη	88.55	37.996894	3.814075	180
6	Αμπελοκομείο	107	46.197737	0	176
7	Τεχνική Υπηρεσία	102.3	41.430077	3.109633	184.398712
8	Τεχνική Υπηρεσία	119.9	50.738874	3.814075	180
9	Ευελπίδη	260.3	68.011525	2.901822	170.537674
10	Τριανταφυλλίδη	319.1	89.205233	4.787291	170.537674
11	Κριμπά	389.6	92.384414	3.584252	176.185928
12	Βοηθητικό ΖΠ	165.4	56.447448	0	180
13	Βοηθητικό ΖΠ	32.34	23.568873	0	176.185928
14	Βοηθητικό ΖΠ	173.6	53.590288	2.901822	158.962494
15	Στάβλος	307	97.331751	3.321432	158.962494
16	Βοηθητικό ΖΠ	351.1	95.949849	3.016961	161.565048
17	Βοηθητικό ΖΠ	18.58	17.47845	3.016961	161.565048
18	Βοηθητικό ΖΠ	17.08	17.303163	3.016961	161.565048
19	Βοηθητικό ΖΠ	29.16	21.413767	3.471741	164.054611
20	Βοηθητικό ΖΠ	39.14	25.299944	3.471741	164.054611
21	Βοηθητικό ΖΠ	409.6	113.15586	3.471741	164.054611
22	Βεϊνόγλου	1083	197.345609	3.181813	167.005386
23	Βουστάσιο	281.1	88.454366	3.016961	161.565048
24	Βουστάσιο	35.14	24.659294	3.016961	161.565048
25	Προβατοστάσιο	414.4	162.072672	3.016961	161.565048
26	Αποθήκη Σανού	284.5	83.223402	2.882181	155.556046
27		27.27	20.892077	2.882181	155.556046
	Εγκαταλελειμμένο				
28	Εγκαταλελειμμένο	207.3	68.055307	3.016961	161.565048

29	Στάβλος	128.4	53.26709	3.016961	161.565048
30	Προβατοστάσιο	177	69.326605	3.016961	161.565048
31	Προβατοστάσιο	123.9	65.726017	3.016961	161.565048
32	Προβατοστάσιο	41.2	25.99386	3.016961	161.565048
33	Βεϊνόγλου	209	70.961749	3.016961	161.565048
34	Μηχανολογία2	149.7	50.086184	2.052775	125.537682
35	Ρουσόπουλου	79.29	41.681861	2.052775	125.537682
36	Ρουσόπουλου	23.49	19.770386	2.698951	135
37	Οικίσκος	126.8	46.831495	2.635026	185.194427

Κτίρια με ταράτσες

FID	Όνομα	Εμβαδόν	Περίμετρος	Κλίση	Έκθεση
0	Κεντρικό	3986.391919	544.129972	3.584	176.2
1	Γεωργικό Μουσείο	562.229902	108.898532	4.764	180
2	Παπαδάκη	445.952572	84.5213	4.764	180
3	Ιασεμίδη	132.018949	45.081263	4.787	185.7
4	Ισαακίδη	424.566062	107.808669	3.814	180
5	Ισαακίδη	219.425938	63.13387	3.814	180
6	Φυλάκιο Ιεράς Οδού	26.421886	20.629879	3.584	176.2
7	Νέο Κτίριο	442.894129	110.525387	0	125.5
8	Νέο Κτίριο	59.358318	32.287147	3.814	168.7
9	Πράσινα Αμφιθέατρα	2417.987982	197.792476	2.902	170.5
10	Φοιτητική Λέσχη	1429.811779	186.893216	3.182	167
11	Δημακόπουλου	1097.421723	162.716414	3.584	176.2
12	Δημακόπουλου	427.810035	95.278514	3.647	168.7

13	Βεϊνόγλου	209.697548	62.279637	3.372	171.9
14	Χασιώτη	2803.823587	323.5331	2.902	170.5
15	Βιβλιοθήκη	2464.286845	227.385014	2.433	168.7
16	Ρουσόπουλου	2702.932645	309.445195	2.362	135
17	Μηχανολογία 1	820.690933	144.087361	2.053	125.5

Χέρσες Εκτάσεις

FID	Εμβαδόν	Περίμετρος	Κλίση	Έκθεση
0	30.227469	26.685717	3.584252	176.185928
1	24948.24201	8002.610465	4.763642	180
2	147.984622	52.339568	3.109633	184.398712
3	23.640917	51.373523	2.901822	170.537674
4	5.682298	91.805503	3.584252	176.185928
5	1.5121	42.100627	2.901822	170.537674
6	52.808899	56.350229	3.584252	176.185928
7	2010.941045	727.574662	3.646971	168.690063
8	532.430999	92.331842	2.901822	170.537674
9	117.511773	59.797128	2.433139	168.690063
10	25535.8214	3438.866918	3.016961	161.565048
11	1299.520751	400.216369	3.016961	161.565048
12	91.823459	38.8877	2.361991	135
13	91.923067	39.120213	2.361991	135
14	3861.55658	404.067579	2.361991	135
15	91.26893	72.383207	1.721006	146.309937
16	35.056722	98.064998	2.569503	158.198593
17	2289.043283	800.25091	2.569503	158.198593
18	7.987791	102.083608	1.909152	180
19	11985.27559	2636.502941	1.909152	180
20	961.184961	285.685532	2.862405	180
21	940.822024	143.365039	2.263636	198.434952
22	6.213958	127.296277	2.1343	153.434952
23	116.402298	89.918846	2.569503	158.198593
24	12.822115	16.36689	2.569503	158.198593
25	15.222314	22.029812	4.058664	176.633545

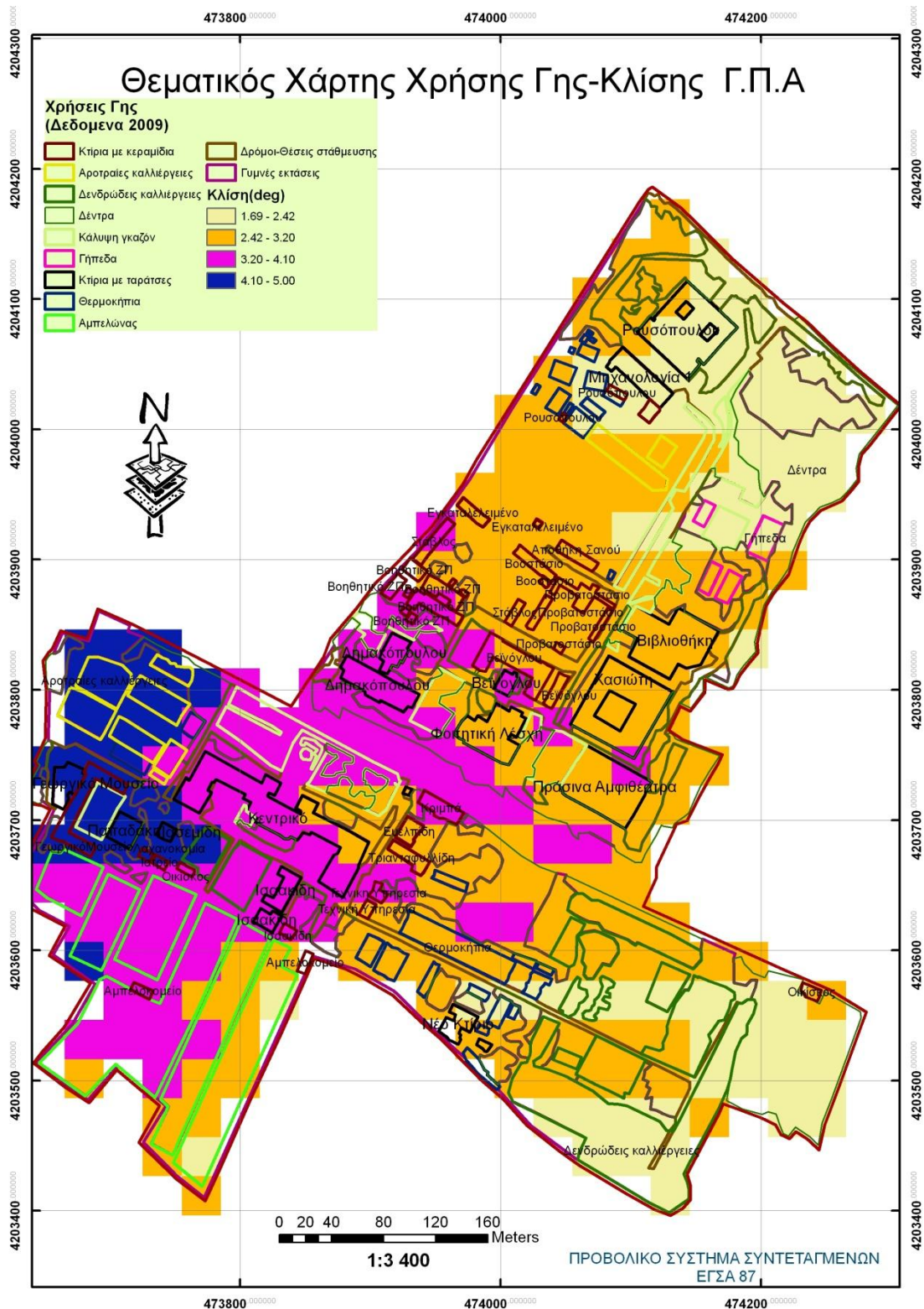
**Δρόμοι και
Θέσεις
παρκινγκ**

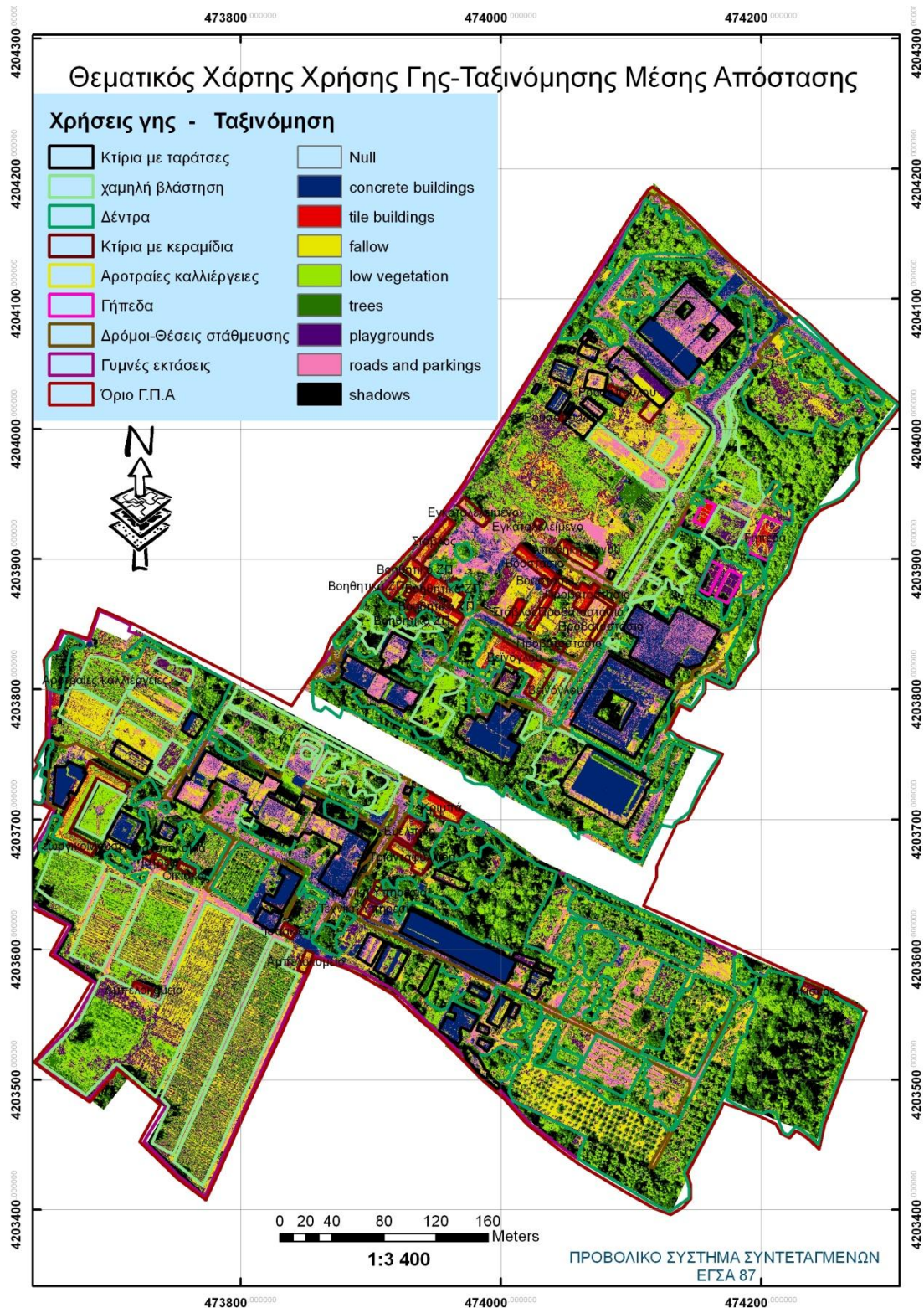
FID	Εμβαδόν	Περίμετρος	Κλίση	Έκθεση
0	13090.48877	3403.349403	0	0
1	1049.606253	205.645068	0	0
2	260.287479	89.908433	0	0
3	5807.725727	1880.09929	0	0
4	922.173397	432.342732	0	0
5	963.277775	257.650909	0	0
6	207.695959	66.071682	0	0

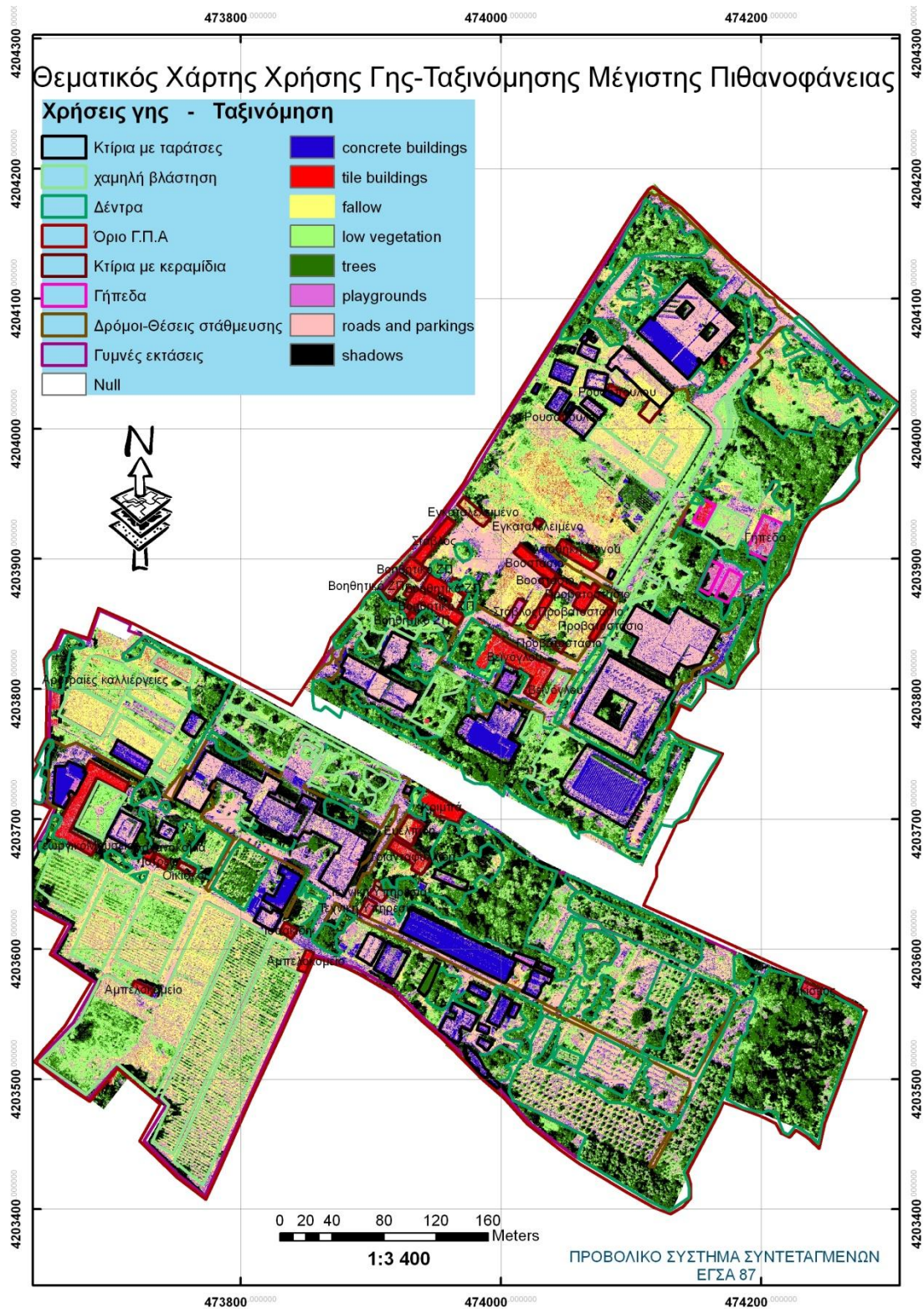
**Χαμηλή
Βλάστηση**

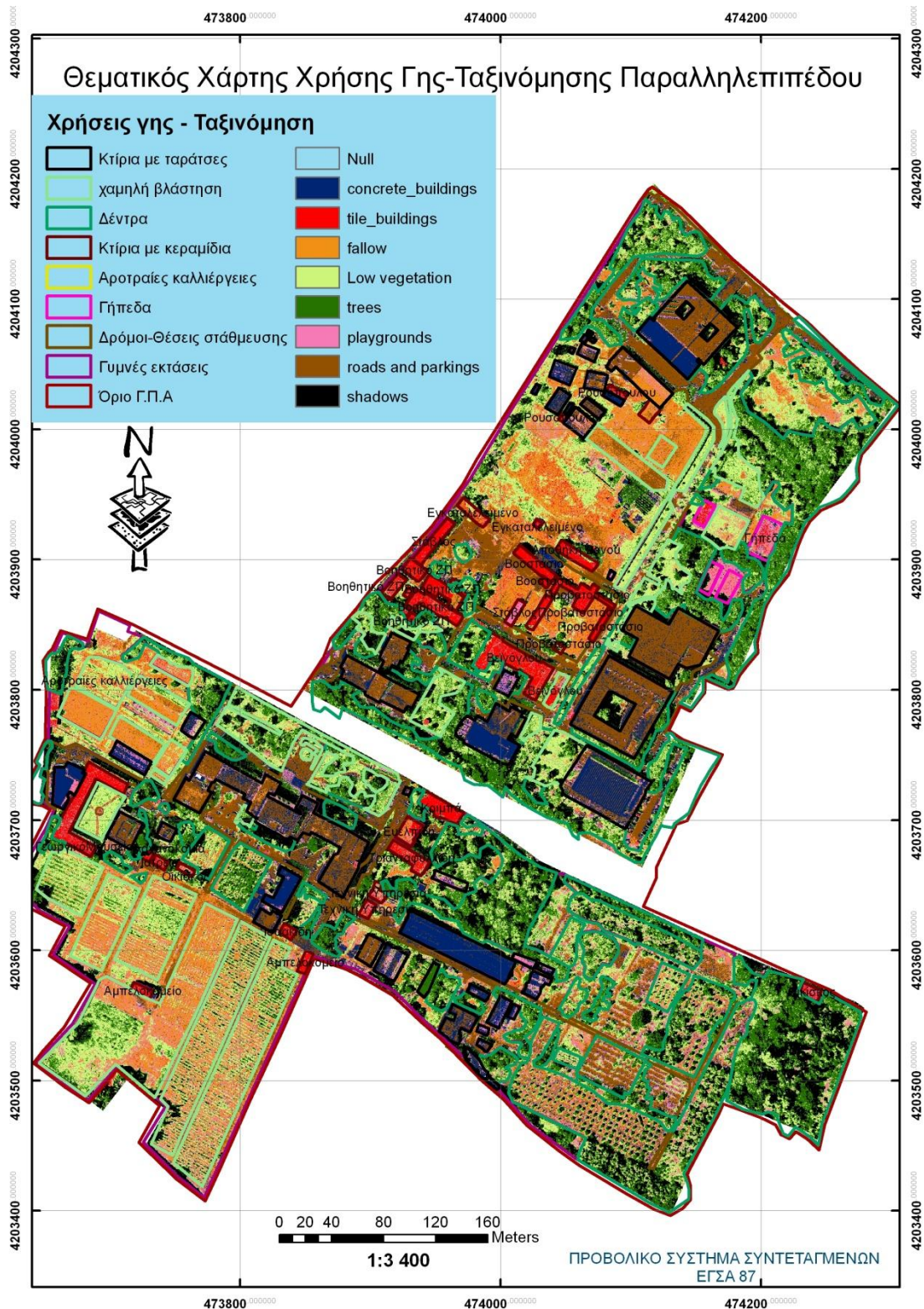
FID	Εμβαδόν	Περίμετρος	Κλίση	Έκθεση
0	113.431869	52.65648	3.584252	176.185928
1	861.203839	122.42209	4.763642	180
2	349.552944	97.929035	3.646971	168.690063
3	246.977203	102.721896	3.646971	168.690063
4	41.992053	33.211037	3.016961	161.565048
5	189.078427	85.88041	2.052775	144.462326
6	966.277294	161.449735	3.181813	167.005386
7	1061.819631	140.797261	2.901822	170.537674
8	3490.577149	716.011478	3.584252	176.185928
9	109.653487	75.562766	3.931096	165.96376
10	59.013895	28.267417	3.931096	165.96376
11	182.784543	58.297056	3.181813	167.005386
12	1199.000857	354.724042	2.1343	153.434952
13	883.338129	199.021966	2.569503	158.198593
14	706.318037	105.233743	2.052775	144.462326
15	1123.860739	263.460877	2.052775	144.462326
16	165.809191	94.834613	3.016961	161.565048















Πίνακας 3. Σημεία Ελέγχου Φωτοερμηνείας

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ(Χ, Υ) (ΕΓΣΑ 87)	ΑΚΡΙΒΕΙΑ GPS(m)	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΥΤΙΚΗ ΚΛΑΣΗ
473852, 4203681	4		Δρόμοι-Πάρκινγκ
473784, 4203718	4		Δρόμοι-Πάρκινγκ
473688, 4203707	4		Χαμηλή βλάστηση
473831, 4203775	3		Χαμηλή βλάστηση

474024, 4203665	4		Δέντρα
473983, 4203551	4		Χέρσα έκταση
474023, 4203508	5		Δέντρα
474094, 4203508	4		Δέντρα

474115, 4203544	5		Χέρσα έκταση
474025, 4203736	6		Χαμηλή βλάστηση
473940, 4203890	4		Δρόμοι Πάρκινγκ
473983, 4203864	4		Χέρσα έκταση

474078, 4203834	5		Δρόμοι-Πάρκινγκ
474162, 4203932	5		Χέρσα έκταση
474081, 4204042	6		Κτίρια με ταρατσες
474071, 4203892	4		Κτίρια με κεραμίδια

474097, 4203828	6		Χέρσες εκτάσεις
473851, 4203751	6		Χαμηλή βλάστηση
473840, 4203726	8		Χέρσες εκτάσεις
473707, 4203759	4		Θερμοκήπια
473798, 4203623	6		Χαμηλή βλάστηση

473856, 4203365	3		Δρόμοι Παρκινγκ
473922, 4203614	5		Θερμοκήπια

