

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ
ΚΤΙΣΜΑΤΩΝ ΣΕ
ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΡΑΜΜΟΣ, ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2008

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωαννίδης, Χαράλαμπος

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	9
1.1	ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ (ΑΙΤΙΕΣ & ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ)	9
1.2	ΑΝΑΓΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	11
1.3	ΠΛΗΣΙΑΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΛΥΣΗ.....	12
1.4	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ	13
2	Δεδομένα.....	15
2.1	ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	15
2.2	ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΝΟΣ ΔΕΚΤΗ	16
2.2.1	Χωρική Διακριτική Ικανότητα (Spatial Resolution).....	16
2.2.2	Φασματική Διακριτική Ικανότητα (Spectral resolution).....	18
2.2.3	Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (Radiometric resolution)	18
2.2.4	Χρονική διακριτική ικανότητα (Temporal resolution).....	19
2.3	ΑΝΑΛΟΓΙΚΕΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	20
2.3.1	Εισαγωγικά για τις Αεροφωτογραφίες.....	20
2.3.2	Εσωτερικός & Εξωτερικός Προσανατολισμός	20
2.3.3	Η Συνθήκη της Συγγραμμικότητας	20
2.3.4	Σχετικός & Απόλυτος Προσανατολισμός.....	21
2.3.5	Προϊόντα	22
2.4	ΨΗΦΙΑΚΕΣ Α/Φ ΚΑΙ ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΙ ΔΕΚΤΕΣ	22
2.4.1	Η ψηφιακή μηχανή ADS-80 της εταιρίας LEICA	23
2.4.2	Το σύστημα ψηφιακής καταγραφής UltraCam	25
2.4.3	Η ψηφιακή μηχανή DMC της Z/I.....	25
2.4.4	Ο αερομεταφερόμενος πολυφασματικός δέκτης AVIRIS	26

2.5 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΧΩΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	26
2.5.1 Αρχή Λειτουργίας.....	27
2.5.2 Η Κίνηση του Δορυφόρου	28
2.5.3 Εσωτερικός και Εξωτερικός Προσανατολισμός.....	29
2.5.4 Rational Functions	31
2.5.5 Σημεία Επίγειου Ελέγχου (GCPs)	32
2.6 ΣΥΝΗΘΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	33
2.6.1 WorldView-1	33
2.6.2 QuickBird II.....	35
2.6.3 ΙΚΟΝΟΣ.....	36
2.6.4 GeoEye-1	38
2.6.5 SPOT-5.....	40
2.6.6 ASTER	42
2.6.7 Σύγκριση Δορυφορικών Συστημάτων	43

3

Εντοπισμός	45
------------------	----

3.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	45
3.2 ΓΙΑΤΙ ΘΕΛΟΥΜΕ ΝΑ ΤΟ ΛΥΣΟΥΜΕ - ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ.....	45
3.3 ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	45
3.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	47
3.4.1 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση	48
3.4.2 Μη-Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση	52
3.4.2.1 Αλγόριθμος ανάλυσης συσσωρεύσεων της επαναληπτικής βελτιστοποίησης (ISODATA).....	53
3.4.2.2 Ο αλγόριθμος μίας διέλευσης.....	55
3.5 ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ	57
3.6 ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ	57
3.6.1 Ψηφιακά Μοντέλα Υψομέτρου (DEM).....	57
3.6.2 Διαφορές μεταξύ DTM και DSM.....	57
3.6.3 Υψομετρική Παρεμβολή	58

3.6.4 Η σημασία του βήματος του καννάβου	62
3.6.5 Αρχή Λειτουργίας Μεθόδου	64
3.6.6 Πηγές Υψομετρικής Πληροφορίας	64
3.7 ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	65
3.7.1 Φασματικοί Λόγοι.....	66
3.7.2 Μετασηματισμός του «θυσανωτού σκούφου»	67
3.7.3 Μετασηματισμένος δείκτης βλάστησης (TVI)	68
3.7.4 Κανονικοποιημένη διαφορά δείκτη βλάστησης (NDVI).....	68
3.8 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ	69
3.8.1 Διαστολή και Συστολή	70
3.8.2 Ανοικτότητα και Κλειστότητα	72
3.8.3 Hit-or-Miss	73
3.8.4 Σκελετοποίηση.....	74
3.9 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΜΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ	76
3.10 ΜΑΣΚΕΣ (ΦΟΡΜΕΣ).....	80

4 Προτεινόμενη Διαδικασία

83

4.1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ	83
4.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	85
4.3 ΒΗΜΑ 1: ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	86
4.3.1 Ψηφιακή Εικόνα	86
4.3.2 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους	87
4.3.3 Εγγύς Υπέρυθρο.....	88
4.4 ΒΗΜΑ 2: ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	89
4.4.1 Δημιουργία Υψομετρικού Κανάβου σε Κοινό Σύστημα Αναφοράς.....	89
4.5 ΒΗΜΑ 3: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	90
4.5.1 Εντοπισμός Κτισμάτων	90
4.5.1.1 Αφαίρεση DEM – Έλεγχος Υψομετρικής Διαφοράς	90
4.5.1.2 Κατηγοριοποίηση Αποτελεσμάτων	91
4.5.1.2.1 Κατωφλίωση	91

4.5.1.2.2 Στοχευμένη Ομαδοποίηση	92
4.5.1.2.3 Ταξινόμηση (Classification).....	92
4.5.2 Απαλοιφή Περιοχών που Δεν Είναι Κτίσματα - NDVI	93
4.5.3 Μορφολογικό Φίλτρο	94
4.6 ΒΗΜΑ 4: ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ	98
4.7 ΒΗΜΑ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	100
4.7.1 Χρήση Πυραμίδας στην Επιλογή των Κτισμάτων	100

5 Εφαρμογή

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	101
5.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	101
5.2.1 Δεδομένα Αναφοράς (ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ, DSM, NIR).....	101
5.2.2 Δεδομένα Σύγκρισης.....	104
5.2.3 Ψηφιοποίηση & Μετατροπή των Δεδομένων Σύγκρισης	105
5.2.4 Εναρμόνιση Υψομετρικής Πληροφορίας.....	109
5.2.5 Προβλήματα κατά την Συλλογή & Επεξεργασία Δεδομένων.....	114
5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	114
5.3.1 Ημι-αυτόματος Υπολογισμός.....	115
5.3.2 Χειροκίνητος Υπολογισμός	118
5.3.3 Συμπεράσματα από τον Υπολογισμό του Συστηματικού Σφάλματος	121
5.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ	122
5.4.1 Εντοπισμός Κτισμάτων	122
5.4.1.1 Κατωφλίωση	123
5.4.1.2 Στοχευμένη ομαδοποίηση	127
5.4.1.3 Ταξινόμηση (Classification).....	129
5.4.2 Εντοπισμός Βλάστησης.....	134
5.4.3 Μορφολογικό Φίλτρο	136
5.5 ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	136
5.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ.....	138
5.6.1 Δημιουργία Εικόνας Αναφοράς.....	138

5.6.2 Σύγκριση σε Επίπεδο Εικονοστοιχείου.....	140
5.6.3 Σύγκριση σε Επίπεδο Αντικειμένου (Κτίσματος).....	146
5.6.4 Κηλίδες Εντοπισμού.....	149

6 Συμπεράσματα	151
-----------------------------	-----

6.1 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	151
6.2 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	151
6.3 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	152
6.4 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	154
6.5 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	155
6.6 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	157

Παράρτημα A	159
--------------------------	-----

ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΤΟ MATLAB	159
A.1.1 Κατηγοριοποίηση σε 4 λογικές ομάδες	159
A.1.2 Κατηγοριοποίηση σε 2 λογικές ομάδες	160
A.1.3 Παρεμβολή υψομέτρου	161
A.1.4 Μετατροπή ASCII σε raster.....	162
A.1.5 Υπολογισμός Συστηματικού Σφάλματος.....	163
A.1.6 Ταξινόμηση Υψομετρικής Διαφοράς.....	165
A.1.7 Σύθεση Αποτελεσμάτων	166
A.1.8 Μετατροπή raster σε ASCII.....	166
A.1.9 Επιλογή Σημείων DTM που Αντιστοιχούν σε Κτίσματα	167
A.1.10 Ανάγνωση Δεδομένων–Υπολογισμός Υψομετρικής Διαφοράς	168
A.1.11 Υπολογισμός Δεδομένων Γειτνίασης	169
A.1.12 Εφαρμογή Μορφολογικού Φίλτρου	171
A.1.13 Υπολογισμός Ποσοστού Επιτυχίας ανά Pixel	172

A.1.14 Υπολογισμός Ποσοστού Επιτυχίας ανά Κτίσμα	173
A.1.15 Υπολογισμός NDVI	175
ΕΤΟΙΜΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΤΟ MATLAB	176
A.2.1 Υπολογισμός Κηλίδων Εντοπισμού	176
Παράρτημα B	177
ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	177
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΤΙΣΜΑΤΩΝ ΕΙΚΟΝΑΣ	180
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΗΛΙΔΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ	184
Ευρετήριο Εικόνων	187
Ευρετήριο Πινάκων	191
Ευρετήριο Γραφημάτων	193
Βιβλιογραφία	195
Αναφορές σε Ιστοσελίδες	197

Εισαγωγή

1.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ (ΑΙΤΙΕΣ & ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ)

Στο σύγχρονο περιβάλλον των μεγαλουπόλεων όπου αναπτύσσεται το σύνολο σχεδόν των κοινωνικών και οικονομικών δραστηριοτήτων των νεότερων πολιτισμών, η ιδιοκτησία γης και η κατασκευαστική δραστηριότητα είναι αντικείμενο της καθημερινότητας είτε ως οικονομικό μέγεθος είτε ως αντικείμενο επαγγελματικής και πολιτικής δραστηριότητας.

Σε παγκόσμια κλίμακα παρατηρείται το φαινόμενο της συγκέντρωσης μεγάλου πληθυσμού, καθώς και οικοδομικής και οικονομικής δραστηριότητας σε περιορισμένη σε έκταση γεωγραφική περιοχή. Το φαινόμενο της αστυφιλίας όπως καλείται, δεν είναι κάτι σύγχρονο, παρατηρείται εδώ και πολλές δεκαετίες, η ανάπτυξή του όμως, παρόλο που την στιγμή που γράφονται αυτές οι γραμμές δεν είναι στην μέγιστη έκφασή του, τουλάχιστον για τον ελληνικό χώρο, έχει δημιουργήσει μεγαλουπόλεις, στις οποίες ο χώρος δεν είναι αρκετός για να καλύψει τις βασικές ανθρώπινες ανάγκες. Ένα φαινόμενο λοιπόν, το οποίο δεν παρουσιάζεται μόνο στις αναπτυσσόμενες χώρες-περιοχές, αλλά και στις ανεπτυγμένες με ποικίλες εκφάνσεις, καθώς και επιπτώσεις στην οικονομία, την ποιότητα ζωής και το περιβάλλον.

Στην **Ελλάδα**, μία σχετικά νέα χώρα, αν ειδικότερα συνυπολογίσουμε το γεγονός ότι πολλές από τις περιοχές που ανήκουν στην ελληνική επικράτεια εντάχθηκαν στις αρχές το 20^{ου} αιώνα ή ακόμη και μετά το τέλος του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου, καθώς και τις ανακατατάξεις που δημιουργήθηκαν από την μαζική προσέλευση μεταναστών, στα μικρά έως τότε και εκ των υστέρων μεγάλα αστικά κέντρα, ως επίπτωση των ανταλλαγών πληθυσμών και της Μικρασιατικής καταστροφής, αδυνατείτε παρά τις όποιες προσπάθειες να βρεθεί λύση στο πρόβλημα της αστικής ανάπτυξης και της χρήσης και ιδιοκτησίας της Γης, καθώς και το νομικό πλαίσιο δεν είναι ανάλογο των προσδοκιών και το πρόβλημα είναι πολυσύνθετο και μακροχρόνιο.

Η ανάπτυξη των πόλεων στην Ελλάδα, όπως και σε πολλές άλλες χώρες, και ειδικότερα στην πρωτεύουσα αυτής και στεγαστρία πόλη σχεδόν του μισού πληθυσμού της χώρας, την Αθήνα, έχει γίνει με γνώμονα την κάλυψη των βασικών αναγκών του πλήθους σε πρώτη φάση και την εξυπηρέτηση της κατέχουσας τάξης σε δεύτερη, με βραχυχρόνιους σχεδιασμούς και λύσεις ανάγκης, χωρίς να λαμβάνεται καμία πρόβλεψη για το μέλλον και την προστασία του περιβάλλοντος, καθώς απουσιάζουν συνήθως οι κοινόχρηστοι και δημόσιοι χώροι, που δίνουν μια νότα ανθρωπιάς στις καλύτερα δομημένες μεγαλουπόλεις της δυτικής Ευρώπης.

Αποτέλεσμα του τρόπου δόμησης των μεγαλουπόλεων είναι η δημιουργία προβλημάτων οικονομικής φύσης, πέρα των προαναφερμένων σε σχέση με το περιβάλλον και την ποιότητα ζωής, καθώς νέα έργα, περισσότερο περίπλοκα και

μεγαλύτερου κόστους χρειάζονται, όχι απλά για να διορθώσουν αλλά για να περιορίσουν το πρόβλημα. Ασχέτως, λοιπόν, των προβλημάτων των οποίων προϋπάρχουν, την τρέχουσα περίοδο έρχονται να προστεθούν και νέα.

Η σύγχρονη ανάπτυξη της πόλης, στον ευρύτερο αστικό ιστό, δεν παρουσιάζει τις παιδικές ασθένειες πλέον, που ήταν φυσικά επακόλουθα της αστυφιλίας και της επείγουσας ανάγκης για την εύρεση χώρων στέγασης ενός μεγάλου για τα προηγούμενα δεδομένα πληθυσμού, όπως παρουσιάστηκε την μεταπολεμική περίοδο, ή την ανάγκη φτηνής κατοικίας, όπως αυτή εκφράζεται με τις παραγκουπόλεις τις λατινικής Αμερικής ή των συνοικιών στα προάστια των μεγαλουπόλεων της Νοτιοανατολικής Ασίας. Αντίθετα σε πολλές περιπτώσεις στον ελληνικό χώρο, οι κατασκευές που συναντάμε, είτε είναι νόμιμες είτε παράνομες είναι άρτιες σε ποιότητα και μέγεθος, ενώ δεν λείπουν οι περιπτώσεις στις οποίες συναντάμε πολυτελείς κατασκευές. Γεγονός φυσιολογικό για της νόμιμες κατασκευές, παράδοξο όμως για τις αυθαίρετες.

Γενικότερα η ανάπτυξη μίας μεγαλούπολης καλό θα ήταν να γίνεται και κατακόρυφα. Στα κέντρα των μεγαλουπόλεων, ειδικότερα της Βορείου Αμερικής και της Αυστραλίας, όπως επίσης και πολλών εύρωστων οικονομικά, σύγχρονων πόλεων της Ανατολικής Ασίας, παρατηρούνται ουρανοξύστες μεγάλης συνολικής επιφάνειας και πολλών ορόφων, που καλύπτουν εν μέρει την ανάγκη στέγασης, είτε αυτή είναι οικιακή είτε επαγγελματική.

Αντίθετα, λόγω πλήθους λόγων και αιτιών, που ξεκινούν από (α) την μεγάλη σεισμικότητα στον ελλαδικό χώρο, (β) την ιδιομορφία του ανάγλυφου, (γ) την ιστορικότητα της πόλης και καταλήγουν (δ) στην ψυχολογική ανάγκη του ανθρώπου γενικότερα, και του Έλληνα ειδικότερα, που λόγω παιδείας και βιωμάτων προτιμά να ζει – από την στιγμή που κατέβηκε από τα δένδρα – κοντά στη Γη (από στατιστικές έρευνες οι Έλληνες, καθώς και οι Φιλανδοί και Ρώσοι είναι στην κορυφή της λίστας σύνδεσης και εξάρτησης από την Γη), η ανάπτυξη της Αθήνας και των λοιπών πόλεων στην Ελλάδα γίνεται σχεδόν αυστηρά οριζόντια.

Το γεγονός αυτό δημιουργεί μεγάλα προβλήματα καθώς (α) οι αποστάσεις ανάμεσα στον ζωτικό χώρο μετακίνησης καθενός μεγαλώνουν, (β) υπάρχει ανάγκη για όλο και μεγαλύτερα έργα υποδομής και συγκοινωνιακών συνδέσεων και κυρίως (γ) η ανάγκη για την εύρεση νέων χώρων δόμησης είναι όλο και πιο αυξανόμενη και επιτακτική.

Το χαλαρό νομοθετικό πλαίσιο το οποίο διέπει την αγορά και χρήση ακινήτων, καθώς και η έλλειψη Κτηματολογίου, σε συνδυασμό με την καθυστέρηση – για ποικίλους λόγους – ένταξης νέων περιοχών στο ρυμοτομικό σχέδιο, δημιουργεί τις προϋποθέσεις ανάπτυξης νησίδων πόλεων με μερικό ή κακό σχεδιασμό. Στην περίπτωση, δε, των αυθαιρέτων ο σχεδιασμός και η νομική κατοχύρωση απουσιάζουν.

Σε καμία περίπτωση δεν περιορίζουμε το φαινόμενο της ανάπτυξη της πόλης στην επιτακτική ανάγκη του πλήθους για στέγαση. Φαινόμενα ανάπτυξης παρουσιάζονται και μέσα σε δασικές περιοχές ή κατά την παράλια ζώνη, όπου η

κατοικία χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για εξοχική χρήση, μία σημαντική ανάγκη στην σύγχρονη κοινωνία.

Προβλήματα στην ανάπτυξη μίας πόλης δεν παρουσιάζονται μόνο από τα νέα κτίσματα. Αντίστοιχα μεγάλα προβλήματα δημιουργούν οι επεκτάσεις των ήδη υφιστάμενων κτισμάτων ή η παραβίαση των πολεοδομικών κανονισμών.

Η υπάρχουσα κατάσταση στο αστικό περιβάλλον τις Αθήνα, όπως και κάθε ελληνικής μεγαλούπολης, μπορεί να συνοψισθεί σε μερικά βασικά χαρακτηριστικά.

Οι λόγοι που οδήγησαν στην ανεξέλεγκτη και αυθαίρετη δόμηση είναι:

- Η συγκέντρωση μεγάλου πληθυσμού σε σχετικά μικρό χώρο
- Η εγκατάλειψη της Γης ως καλλιεργήσιμης έκτασης
- Η δημιουργία σύγχρονων συγκοινωνιακών έργων
- Η ανάγκη βελτίωσης της ποιότητας της ζωής
- Η έλλειψη κατάλληλου νομοθετικού πλαισίου και μηχανισμού επιβολής ποινών
- Η υποτυπώδεις λειτουργία του Κτηματολογίου

Η παραπάνω λόγοι και σειρά άλλων λιγότερο σημαντικών οδήγησαν στην ανάπτυξη της πόλης με νόμιμο, νομότυπο ή αυθαίρετο τρόπο, με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Κτίσματα καλής ποιότητας, σε πολλές περιπτώσεις πολυτελής και σχετικά μεγάλης έκτασης
- Διεσπαρμένα μέσα σε μεγάλα αγροτεμάχια, δασικούς χώρους ή εντός της ζώνης του αιγιαλού ή των συγκοινωνιακών έργων
- Κατασκευές κατά παράβαση του πολεοδομικού κανονισμού
- Μεικτές χρήσεις γης

1.2 ΑΝΑΓΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Η επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος θα δώσει αποτελέσματα με οφέλη και στις δύο (2) πλευρές. Το κράτος και γενικότερα το κοινωνικό σύνολο θα ευνοηθεί από (α) την απόδοση του δικαίου, με την καταστροφή των προκλητικών κτισμάτων εντός των δασικών περιοχών και κατά τον αιγιαλό, που εκτός της περιβαλλοντικής μόλυνσης που προκαλούν, εμποδίζουν και την πρόσβαση ενός μεγάλου κοινωνικού συνόλου σε ελεύθερα και δημόσια αγαθά, (β) την επιβολή προστίμων ως αποτρεπτικό μέσο, (γ) την επιβολή φορολογίας και (δ) την άρτια ρυμοτομική ανάπτυξη της περιοχής που ως αποτέλεσμα θα έχει την αύξηση του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων. Ως αντιστάθμισμα ο ιδιοκτήτης του κτίσματος θα επωφεληθεί από την κατοχύρωση της περιουσίας του και την δυνατότητα μεταπώλησης ή υποθήκευσης αυτής. Δεν είναι τυχαίο ότι τουλάχιστον ένα 20% του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος πολλών χωρών προέρχεται από την Γη, την ακίνητη περιουσία και τις κατασκευές, το οποίο ο κάτοχος μπορεί να εκμεταλλευθεί μέσω του τραπεζικού πιστωτικού συστήματος. Στη Ισπανία, για παράδειγμα τα

οικονομικά στοιχεία για το έτος 2003, δείχνουν ότι στο έτος αυτό πραγματοποιήθηκαν 1.2 εκ. νέες υποθήκες και το κεφάλαιο που διακινήθηκε στην οικονομία, ως αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, αντιπροσωπεύει το 56% του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος της χώρας(ΠΟΤΣΙΟΥ, 2005).

Η ποικιλομορφία του προβλήματος και η έκταση του, επιβάλουν μία **άμεση, μαζική, ταχεία** και ταυτόχρονα **οικονομική** λύση. Για την σωστή όμως αντιμετώπιση του όλου ζητήματος και την επιλογή μίας κατάλληλης για την περίπτωση ή κατά περίπτωση λύσης, θα πρέπει να γνωρίζουμε την έκταση και φύση την υπάρχουσας κατάστασης.

1.3 ΠΛΗΣΙΑΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΛΥΣΗ

Η συλλογή των πληροφοριών αυτών, ο εντοπισμός δηλαδή των κτισμάτων μίας περιοχής μελέτης, είναι το πρώτο βήμα μίας διαδικασίας που θα ακολουθηθεί και θα πρέπει να έχει τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά με την μεθοδολογία αντιμετώπισης του γενικότερου προβλήματος.

Ειδικότερα μία λύση θα πρέπει:

- Να είναι **άμεση**, προκειμένου η διαδικασία να μπορεί να ξεκινήσει σε μικρό χρόνο και να αξιοποιεί δοκιμασμένες πρακτικές, μεθόδους και τεχνολογία
- Να είναι **μαζική**, με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικές περιοχές ή είδη περιοχών κρατώντας μία κοινή προτυποποίηση και ακρίβεια, ενώ ταυτόχρονα να μπορεί να υλοποιείται ταυτόχρονα για πολλά κτίσματα
- Να είναι **ταχεία**, να κάνει χρήση Η/Υ και να δίνει αποτελέσματα σε μικρό χρόνο
- Να είναι **αυτοματοποιημένη**, η παρέμβαση από τον χρήστη να είναι η ελάχιστη δυνατή
- Να είναι **οικονομική**, να απαιτεί μικρό κόστος ανάπτυξης, λειτουργίας και συντήρησης

Όλα τα παραπάνω συμβάλουν σε μία βιώσιμη λύση που θα δίνει μίας αποδεκτής ακρίβειας και αξιοπιστίας αποτέλεσμα.

Μια αποτελεσματική λύση, με δυνατότητες εντοπισμού κτισμάτων βάση των παραπάνω αρχών, δίνει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σε όσες εφαρμογές έχουν την ανάγκη μίας ανάλυσης της υπάρχουσας κατάσταση.

Οι χρήσεις του προϊόντος που δίνει ως αποτέλεσμα η διαδικασία, τα κτίσματα και η θέση τους στο χώρο δηλαδή, είναι πρακτικά απεριόριστες. Μερικές από αυτές παρουσιάζονται παρακάτω. Δεν θα στηριχθούμε αποκλειστικά σε αυτά που έχουν σχέση με το αντικείμενο του Αγρονόμου & Τοπογράφου Μηχανικού για να αποδείξουμε την πολυδιάστατη χρήση της λύσης. Έτσι:

- i. Ρυμοτομικοί και πολεοδομικοί σχεδιασμοί
- ii. Μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων

- iii. Μελέτες ανίχνευσης μεταβολών
- iv. Γεωγραφικά συστήματα
- v. Φορολογία
- vi. Χωροθέτηση ασύρματων δικτύων

1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Στην παρούσα εργασία θα προσπαθήσουμε να αναπτύξουμε μία λειτουργική μεθοδολογία, η οποία θα έχει την δυνατότητα να εντοπίζει με αυτοματοποιημένο τρόπο κτίσματα σε ένα ψηφιακό αρχείο εικόνας.

Η μέθοδος θα αναπτυχθεί σε δηλωτικό προγραμματιστικό περιβάλλον και τα δεδομένα εισόδου του συστήματος θα περιοριστούν στα:

- i. ORTHO
- ii. DTM
- iii. NIR

Με την εφαρμογή μεθόδων, όπως αυτών της υψομετρικής διαφοράς και του δείκτη βλάστησης, καθώς και μορφολογικών κριτηρίων και κριτηρίων μεγέθους, θα επιδιώξουμε να κατασκευάσουμε ένα σύστημα, το οποίο με απλές μεθόδους, θα επιδιώκει να εντοπίσει αυτόματα, πιθανές θέσεις κτισμάτων.

Αποτέλεσμα της διαδικασίας αναμένεται να είναι μία εικόνα με νησίδες εντοπισμένων κτισμάτων.

Κατά την διαδικασία επιλογής του τρόπου ανίχνευσης των κτισμάτων συναντήθηκαν δύο (2) βασικά ερωτήματα.

- a) Τι τύπου δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν
- b) Ποια μέθοδος θα είναι η βασική προκειμένου να εντοπιστούν κτίσματα μέσα στην εικόνα

Στα παρακάτω κεφάλαια απαντώνται αυτά τα ερωτήματα και περιγράφονται η διαδικασία που ακολουθήθηκε και τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την εφαρμογή της.

Δεδομένα

2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην προσπάθεια να κρατηθεί χαμηλά το κόστος της διαδικασίας και να επιτευχθεί μαζικότητα στη παραγωγή αποτελεσμάτων, επιλέχθηκε να γίνει χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων, οι οποίες έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- 1) Να αυτοματοποιούνται σχετικώς εύκολα
- 2) Μπορούν να καλύψουν μία μεγάλη περιοχή με λίγα και χαμηλού κόστους δεδομένα

Η διαδικασία προϋποθέτει την ύπαρξη ψηφιακών εικόνων με δυνατότητα στερεοζεύγους, ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή **ψηφιακών μοντέλων εδάφους**, εκτός από τον οριζοντιογραφικό εντοπισμό των κτισμάτων.

Στο εμπόριο υπάρχει πλήθος τέτοιων δεδομένων, που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με:

- 1) Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του δέκτη (Διακριτική Ικανότητα)
 - i. Χωρική διακριτική ικανότητα (Spatial Resolution)
 - ii. Φασματική διακριτική ικανότητα (Spectral Resolution)
 - iii. Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (Radiometric Resolution)
 - iv. Χρονική διακριτική ικανότητα (Temporal Resolution)
- 2) Το φορέα λήψης του αισθητήρα
 - i. Χαμηλά υψόμετρα (γερανοί, μπαλόνια, αερόστατα)
 - ii. Μεσαία υψόμετρα (μικρά και μεγάλα αεροσκάφη)
 - iii. Μεγάλα υψόμετρα (δορυφόροι)
- 3) Την τεχνολογία
 - i. Αναλογικά μέσα
 - ii. Ψηφιακά μέσα και σαρωτές

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι οι δυνατοί συνδυασμοί είναι ουσιαστικά απεριόριστοι. Η, δε, κατηγοριοποίηση τους είναι χαοτική και για αυτό το λόγο επιλέχθηκε να παρουσιαστούν οι κυριότεροι δέκτες που είναι διαθέσιμοι σήμερα, ομαδοποιημένοι κατά τον τρόπο επεξεργασίας των δεδομένων που παρέχουν.

Επομένως θα μπορούσαμε να πούμε, ότι ασχέτως των δυνατοτήτων που παρέχει κάθε δέκτης, τα δεδομένα που βρίσκουμε στο εμπόριο αποτελούν δύο (2) μεγάλες ομάδες:

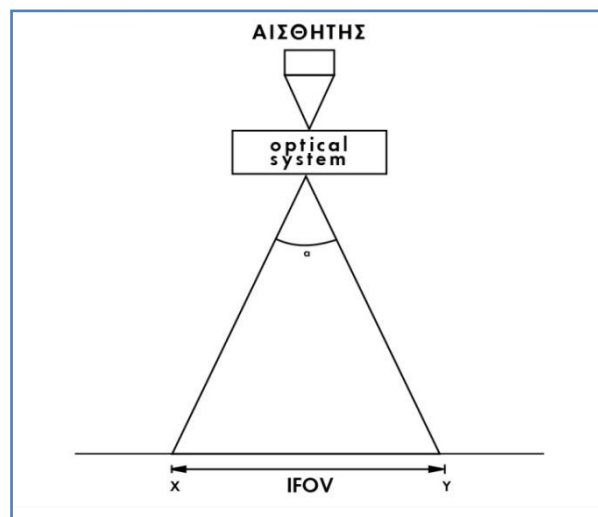
- Τις αναλογικές ψηφιοποιημένες αεροφωτογραφίες που ακολουθούν την κεντρική προβολή και επιλύονται από την **συνθήκη της συγγραμμικότητας** και τους ψηφιακούς αερομεταφερόμενους δέκτες που, παρόλο τον διαφορετικό τρόπο δημιουργίας τους, το τελικό προϊόν είναι, αντίστοιχο για λόγους προτυποποίησης
- Τα δορυφορικά δεδομένα που, λόγω της κίνησης της πλατφόρμας του δέκτη σε τροχιά γύρω από την Γη, επιλύονται με πολυώνυμα μεγάλου βαθμού (RF – Rational Functions) ή με επέκταση της συνθήκης συγγραμμικότητας.

2.2 ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΝΟΣ ΔΕΚΤΗ

2.2.1 Χωρική Διακριτική Ικανότητα (Spatial Resolution)

Με τον όρο χωρική διακριτική ικανότητα ονομάζουμε την διακριτή επιφάνεια από τον δέκτη.

Ορίζεται με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών και το είδος των δεκτών. Το κυριότερο κριτήριο για τον ορισμό της είναι το **στιγμιαίο οπτικό πεδίο (Instantaneous Field of View, IFOV)** ενός δέκτη. Αυτό ορίζεται ως το κομμάτι της επιφάνειας του αντικειμένου που απεικονίζεται από τον δέκτη σε μία δεδομένη χρονική στιγμή και από ένα δεδομένο ύψος πτήσης. Μετράται δε είτε ως γωνιακό μέγεθος (γωνία α), είτε ως επιφανειακό.



Εικόνα 1 - Σχηματική απεικόνιση του IFOV

Στην περίπτωση που ο δέκτης απέχει απόσταση h από τη Γη, το στιγμιαίο πεδίο όρασης αντιστοιχεί στο έδαφος σε διάσταση ίση με

$$GIFOV = 2 \times h \times \tan(IFOV/2)$$

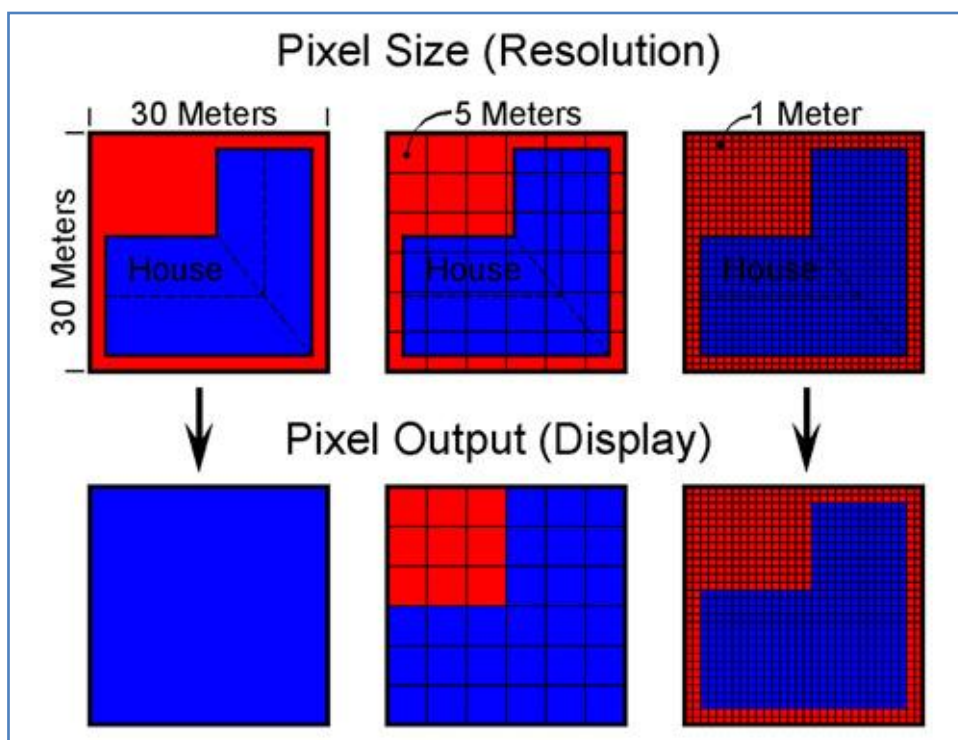
Η διάσταση αυτή συμπίπτει με την χωρική διακριτική ικανότητα του δέκτη.

Πολλές φορές ο δέκτης μπορεί να διακρίνει αντικείμενα επί του εδάφους τα οποία είναι μικρότερα από την διακριτική ικανότητά του, εάν η αντίθεση (contrast) του σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο είναι πολύ μεγάλη.

Η χωρική διακριτική ικανότητα παίζει σημαντικό ρόλο στις φωτογραμμετρικές εφαρμογές καθώς καθορίζει την ποιότητα απεικόνισης των αντικειμένων στην εικόνα. Μία υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας εικόνα σε σχέση με μία χαμηλότερης απεικονίζει πιστότερα τα αντικείμενα μελέτης, καθώς κάθε εικονοστοιχείο αντιστοιχεί σε μικρότερη περιοχή στο έδαφος (εδαφοψηφίδα). Με τον τρόπο αυτό καθορίζονται καλύτερα τα όρια των αντικειμένων, ιδιότητα σημαντική στην παρούσα μελέτη, καθώς:

1. Είναι δυνατή η καλύτερη ψηφιοποίηση των αντικειμένων στο χώρο, επομένως και ο έλεγχος της επιτυχίας της εφαρμογής
2. Δημιουργούνται πυκνότερα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEM), καθώς η χωρική διακριτική ικανότητα δεν περιορίζεται στα οριζοντιογραφικά δεδομένα αλλά και στα υψομετρικά

Ακολουθεί ένα οπτικό παράδειγμα απεικόνισης ενός κτιρίου σε διαφορετικής χωρικής ικανότητας λήψεις, με μέγεθος εδαφοψηφίδας 30 m, 5 m και 1 m αντίστοιχα, όπου η διαφορά γίνεται άμεσα αντιληπτή.



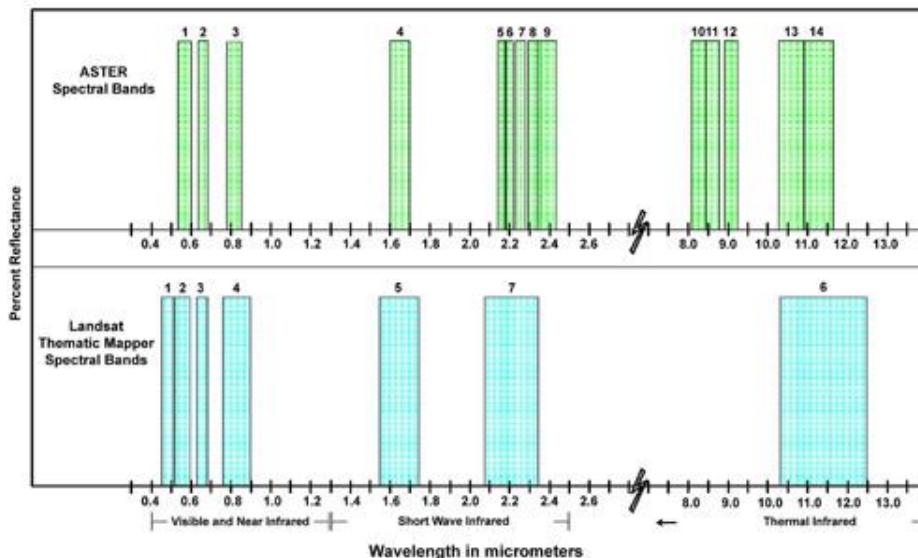
Εικόνα 2 - Η χωρική διακριτική ικανότητα σε δέκτες διαφορετικής εδαφοψηφίδας (πηγή: <http://www.satimagingcorp.com/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems.html>)

2.2.2 Φασματική Διακριτική Ικανότητα (Spectral resolution)

Η φασματική διακριτική ικανότητα αφορά κυρίως το εύρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που είναι σε θέση να καταγράψει ο δέκτης.

Θα ήταν, ωστόσο, χρήσιμο να αναφερθεί και η έννοια του λόγου σήματος προς θόρυβο (signal-to-noise ratio) που συναρτάται άμεσα με την φασματική διακριτική ικανότητα. Ο λόγος αυτός είναι το πηλίκο του καταγραφόμενου σήματος, δηλαδή του ποσού της πληροφορίας που περιέχεται στα καταγραφόμενα από τον δέκτη δεδομένα, προς τον καταγραφόμενο θόρυβο, ο οποίος προέρχεται από τις λειτουργικές απώλειες των μηχανικών και ηλεκτρικών μερών του δέκτη. Είναι προφανές ότι όσο πιο περιορισμένη είναι η περιοχή του φάσματος που καταγράφει ένας δέκτης τόσο πιο μεγάλος είναι και ο λόγος σήματος προς θόρυβο.

Η φασματική διακριτική ικανότητα, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως σε τηλεπισκοπικές εφαρμογές, έχει σημαντικό ρόλο στην παρούσα μελέτη, καθώς χρησιμεύει προκειμένου να ανιχνευτεί ο **δείκτης βλάστησης (NDVI)**. Όπως θα αναλυθεί και παρακάτω, απαραίτητο είναι ο δέκτης να έχει φασματικές δυνατότητες στις περιοχές τους κόκκινου (RED) και του εγγύς υπέρυθρου (NIR).



Εικόνα 3 - Η φασματική διακριτική ικανότητα των δεκτών ASTER και Landsat εδαφοψηφίδας (πηγή: <http://www.satimagingcorp.com/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems.html>)

2.2.3 Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (Radiometric resolution)

Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα ή ραδιομετρική ευαισθησία ή **βάθος χρώματος** αναφέρεται στον αριθμό των τιμών που μπορεί να πάρει η καταγραφόμενη ακτινοβολία. Οι τιμές αυτές μπορεί να είναι από τουλάχιστον 2 (1bit) έως όσες είναι σε θέση να καταγράψει το μαγνητικό αποθηκευτικό μέσο που χρησιμοποιείται (συνήθως 8bit ή 11bit).

Στις αναλογικές αεροφωτογραφίες που θα περιγραφούν παρακάτω και οι οποίες χρειάζεται να σαρωθούν προκειμένου να αναχθούν σε ψηφιακές η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα έχει διαφορετική πρωτογενή μορφή, λόγω του μέσου αποθήκευσης – φιλμ (εξαρτάται από τις χημικές ιδιότητες του, τον κόκκο κτλ) που χρησιμοποιείται και επηρεάζεται κατά πολύ από την διαδικασία σάρωσης και των τεχνικών προδιαγραφών του μέσου σάρωσης.

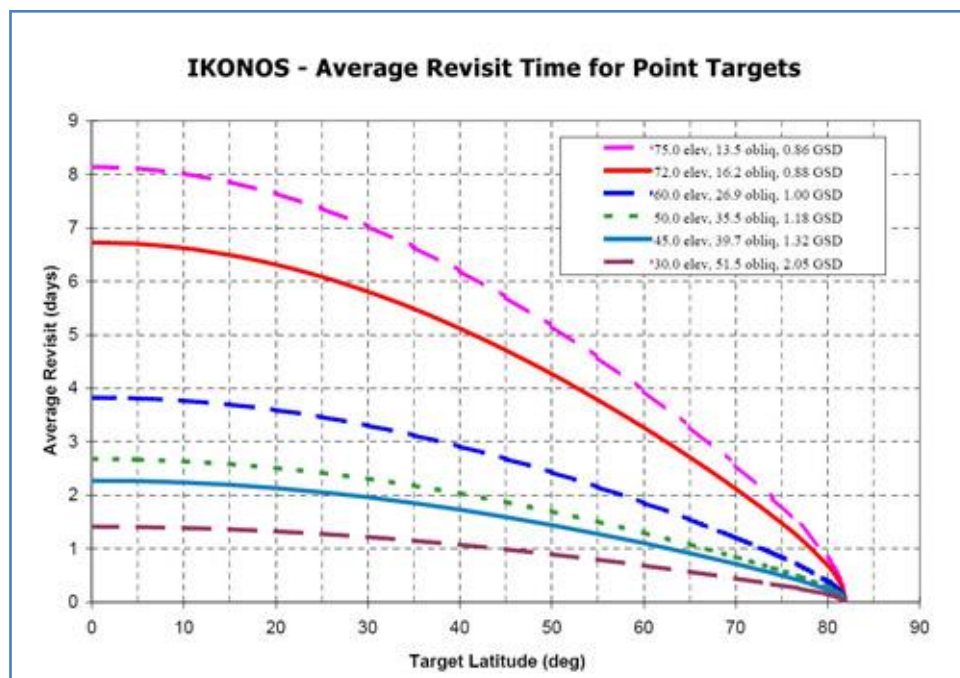
Μία εικόνα καλύτερης ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας περιέχει μεγαλύτερη πληροφορία (δεδομένα), επομένως οι φασματικές διαφορές γίνονται πιο εύκολα διακριτές μεταξύ τους.

2.2.4 Χρονική διακριτική ικανότητα (Temporal resolution)

Η έννοια της χρονικής διακριτικής ικανότητας σχετίζεται με την χρονική στιγμή της καταγραφής της ακτινοβολίας.

Ανάλογα με τον δέκτη υπάρχει και η δυνατότητα περιοδικότητας και επανάληψης των μετρήσεων και της συλλογής δεδομένων, ώστε να είναι εφικτή η μεταβολή τους μέσα στο χρόνο.

Για τα δεδομένα και μεθόδους που χρησιμοποιούν πλατφόρμες χαμηλού και μέσου υψομέτρου (αερόστατα, αεροσκάφη κτλ) είναι απαραίτητη η επανάληψη της πτήσης. Για τις δορυφορικές πλατφόρμες η περιοδικότητα καθορίζεται από τα στοιχεία τροχιάς και την ικανότητα περιστροφής του δέκτη (Γεωργόπουλος, 1998).



Εικόνα 4 - Η χρονική διακριτική ικανότητα του δορυφορικού δέκτη IKONOS (πηγή: <http://www.satimagingcorp.com/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems.html>)

Από τα παραπάνω χαρακτηριστικά ενός δέκτη μεγαλύτερη χρησιμότητα για την φωτογραμμετρία γενικότερα και το θέμα της παρούσας διπλωματικής ειδικότερα, έχει η χωρική διακριτική ικανότητα που ορίζει την ακρίβεια της θέσης και της γεωμετρίας.

Αυτό δεν σημαίνει ότι τα λοιπά χαρακτηριστικά είναι αδιάφορα, καθώς μεγάλη χρησιμότητα στον υπολογισμό του δείκτη NDVI (βλ. παρακάτω) παίζει η φασματική κυρίως και ραδιομετρική η διακριτική ικανότητα.

Σημαντικό κρίνεται σε αυτό το σημείο να γίνει μια αναλυτικότερη περιγραφή της διαθεσιμότητας ψηφιακών εικόνων από τους ποικίλους δέκτες ανά κατηγορία.

2.3 ΑΝΑΛΟΓΙΚΕΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

2.3.1 Εισαγωγικά για τις Αεροφωτογραφίες

Την κλασικότερη και παλαιότερη μέθοδο λήψης αναλογικών, αλλά εύκολα ψηφιοποιήσιμων, εικόνων αποτελούν οι αναλογικές αεροφωτογραφίες.

Μερικά από τα είδη αναλογικών φωτομηχανών που χρησιμοποιούνται για εναέρια λήψεις, με σημαντικότερες τις πρώτες από αυτές, είναι:

- Οι κλασικές φωτογραμμετρικές φωτομηχανές (frame camera)
- Οι πανοραμικές (panoramic camera)
- Οι φωτομηχανές λωρίδας (strip camera)
- κ.ά.

2.3.2 Εσωτερικός & Εξωτερικός Προσανατολισμός

Πρωτεύων σημείο ονομάζεται η προβολή του σημείου λήψης πάνω στο εστιακό επίπεδο. Η συντεταγμένες του πρωτεύοντος σημείου, η σταθερά της φωτομηχανής (c) και οι τιμές της ακτινικής διαστροφής (Δr), αποτελούν τα στοιχεία του **εσωτερικού προσανατολισμού** της μηχανής και καθορίζουν το μοντέλο εκείνο της Κεντρικής Προβολής, που περιγράφει καλύτερα τη συγκεκριμένη φωτογραφική μηχανή.

Ο **εξωτερικός προσανατολισμός** μίας φωτογραφίας κατά την διάρκεια μίας λήψης ορίζεται από την θέση του σημείου λήψης στον χώρο και από τον προσανατολισμό του οπτικού άξονα. Η θέση του σημείου λήψης ορίζεται από τις τρεις (3) συντεταγμένες του (X_0, Y_0, Z_0) στο επίγειο σύστημα αναφοράς, ενώ ο προσανατολισμός του οπτικού άξονα από τρεις (3) γωνίες ω , ϕ και κ .

2.3.3 Η Συνθήκη της Συγγραμμικότητας

Ο εξωτερικός προσανατολισμός μίας φωτογραφίας μας είναι γενικά αγνωστος. Με την βοήθεια όμως των **φωτοσταθερών** μπορεί να υπολογισθεί. Μπορούν, δηλαδή να υπολογιστούν τα έξι (6) στοιχεία του, δηλαδή τα X_0 , Y_0 , Z_0 , ω , ϕ και κ (παράμετροι εξωτερικού προσανατολισμού). Ο τρόπος για να γίνει αυτό βασίζεται

σε μία μαθηματική σχέση, η οποία ονομάζεται **συνθήκη συγγραμμικότητας** και εκφράζει την ευθεία της οπτικής ακτίνας.

Η συνθήκη της συγγραμμικότητας είναι η σχέση που συνδέει σημεία πάνω στη φωτογραφία με τα αντίστοιχα σημεία στο έδαφος και είναι κατά συνέπεια πρωταρχικής σημασίας για την Φωτογραμμετρία.

Αν οι συντεταγμένες του προβολικού κέντρου O στο επίγειο σύστημα αναφοράς είναι (X_0, Y_0, Z_0) και οι συντεταγμένες του σημείου A στο ίδιο σύστημα (X_A, Y_A, Z_A) , τότε προκύπτει:

$$\begin{bmatrix} x_\alpha - x_0 \\ y_\alpha - y_0 \\ -c \end{bmatrix} = \lambda \cdot R(\kappa, \varphi, \omega) \cdot \begin{bmatrix} X_A - X_0 \\ Y_A - Y_0 \\ Z_A - Z_0 \end{bmatrix}$$

όπου λ είναι ένας συντελεστής κλίμακας και $R(\kappa, \varphi, \omega)$ ένας 3×3 πίνακας στροφής που εξαρτάται από τις τρεις γωνίες ω , φ και κ και η οποία αποτελεί και την γενική μορφή της συνθήκης της συγγραμμικότητας. Διαιρώντας τις πρώτες δύο εξισώσεις με την τρίτη και απαλείφοντας έτσι το λ μπορούμε εύκολα να αποδείξουμε ότι η αναλυτική μορφή της συνθήκης συγγραμμικότητας είναι:

$$x_\alpha = x_0 - c \cdot \frac{(X_A - X_0)R_{11} + (Y_A - Y_0)R_{12} + (Z_A - Z_0)R_{13}}{(X_A - X_0)R_{31} + (Y_A - Y_0)R_{32} + (Z_A - Z_0)R_{33}}$$

$$y_\alpha = y_0 - c \cdot \frac{(X_A - X_0)R_{21} + (Y_A - Y_0)R_{22} + (Z_A - Z_0)R_{23}}{(X_A - X_0)R_{31} + (Y_A - Y_0)R_{32} + (Z_A - Z_0)R_{33}}$$

όπου R_{ij} είναι το (i,j) στοιχείο του πίνακα R . Η σχέση αυτή συνδέει τις φωτογραφικές συντεταγμένες (x_α, y_α) της εικόνας με τις επίγειες συντεταγμένες (X_A, Y_A, Z_A) του αντίστοιχου σημείου A μέσω των στοιχείων του εσωτερικού προσανατολισμού (x_0, y_0, c) και των στοιχείων του εξωτερικού προσανατολισμού $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa)$.

Ο πίνακας στροφής R , της σχέσης, δίδεται από τον τύπο:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cdot \cos \kappa & \cos \omega \cdot \sin \kappa + \sin \omega \cdot \sin \varphi \cdot \cos \kappa & \sin \omega \cdot \sin \kappa - \cos \omega \cdot \sin \varphi \cdot \cos \kappa \\ -\cos \varphi \cdot \sin \kappa & \cos \omega \cdot \cos \kappa - \sin \omega \cdot \sin \varphi \cdot \sin \kappa & \sin \omega \cdot \cos \kappa + \cos \omega \cdot \sin \varphi \cdot \sin \kappa \\ \sin \varphi & -\sin \omega \cdot \cos \varphi & \cos \omega \cdot \cos \varphi \end{bmatrix}$$

2.3.4 Σχετικός & Απόλυτος Προσανατολισμός

Ενώ, λοιπόν, ο εσωτερικός προσανατολισμός προσδιορίζεται από την εργαστηριακή βαθμονόμηση της φωτομηχανής (καλιμπραρισμα), ο εξωτερικός επιτυγχάνεται με δύο διαδικασίες τον **σχετικό** και τον **απόλυτο** προσανατολισμό.

Σχετικός προσανατολισμός ονομάζεται η διαδικασία εκείνη κατά την οποία δύο (2) επικαλυπτόμενες φωτογραφίες ενός στερεοζεύγους σχετίζονται μεταξύ τους, σε κάποιο αυθαίρετο χώρο, έτσι ώστε η σχέση τους αυτή να είναι η ίδια που υπήρχε και κατά την στιγμή της λήψης. Η διαδικασία αυτή πολλές φορές αναφέρεται και σαν «απαλοιφή της γ-παράλλαξης» γιατί ο σχετικός προσανατολισμός επιτυγχάνεται όταν η γ-παράλλαξη απαλειφθεί από όλα τα σημεία του στερεοζεύγους. Για να γίνει αυτό χρειάζεται να προσδιοριστούν **5** άγνωστες παράμετροι, οι οποίες ονομάζονται στοιχεία του σχετικού προσανατολισμού. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός ενός τρισδιάστατου μοντέλου της πραγματικότητας (**στερεομοντέλο**) σε έναν αυθαίρετο χώρο και σε μία αυθαίρετη κλίμακα.

Το σχετικά προσανατολισμένο ζεύγος των φωτογραφιών έχει μία αυθαίρετη σχέση με το επίγειο σύστημα συντεταγμένων, στο οποίο αναφέρονται τα σημεία του εδάφους. Η διαδικασία αποκατάστασης της πραγματικής σχέσης που υπάρχει ανάμεσα στο στερεομοντέλο και στο έδαφος ονομάζεται **απόλυτος προσανατολισμός**. Κατά την διαδικασία αυτή προσδιορίζονται **7** άγνωστες παράμετροι, που είναι η κλίμακα του στερεομοντέλου, οι τρεις μεταθέσεις και οι τρεις γωνίες στροφής του.

Αξίζει να προσέξουμε ότι ο αριθμός των στοιχείων του σχετικού και απόλυτου προσανατολισμού (5+7) είναι σε σύνολο **12** όσα δηλαδή και τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού των δύο φωτογραφιών (6+6)(Πατιάς, 1991).

2.3.5 Προϊόντα

Τα συνήθη προϊόντα των αναλογικών δεκτών είναι:

1. Πανχρωματικές Αεροφωτογραφίες (Pan.A.P)
2. Υπέρυθρες Αεροφωτογραφίες (Infrared A.P. / I.R.)
3. Έγχρωμες Αεροφωτογραφίες (C.A.P.)
4. Ψευδοχρωματικές Αεροφωτογραφίες (C.I.R.)
5. Πολυφασματικές Αεροφωτογραφίες

2.4 ΨΗΦΙΑΚΕΣ Α/Φ ΚΑΙ ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΙ ΔΕΚΤΕΣ

Εξέλιξη της κλασικής αναλογικής αεροφωτογραφίας αποτελούν οι ψηφιακές αεροφωτογραφίες και κατ' επέκταση οι αερομεταφερόμενοι σαρωτές.

Η διαδικασία λήψης μίας ψηφιακής αεροφωτογραφίας δεν διαφέρει πολύ από την αυτή της αναλογικής. Η διαφορά είναι ότι στην δεύτερη περίπτωση το αποτέλεσμα (εικόνα) αποθηκεύεται σε ψηφιακό μέσο, μέσω του αισθητήρα (CCD) του δέκτη.

Υπάρχουν βέβαια και ψηφιακές μηχανές που η λειτουργία τους διαφέρει κατά πολύ από τις αναλογικές και προσεγγίζει περισσότερο την λειτουργία των δορυφορικών σαρωτών (βλ. παρακάτω). Τα δεδομένα όμως που παρέχονται στο εμπόριο για χρήση ακολουθούν το μοντέλο της κεντρικής προβολής προκειμένου να είναι συμβατά με τα υπάρχοντα φωτογραμμετρικά όργανα και πρακτικές.

Χαρακτηριστικές περιπτώσεις λειτουργίας ψηφιακών αερομεταφερόμενων δεκτών είναι:

- a) Η ψηφιακή μηχανή ADS-80 της εταιρίας LEICA
- b) Το σύστημα ψηφιακής καταγραφής UltraCam
- c) Η ψηφιακή μηχανή DMC της Z/I, και
- d) Ο αερομεταφερόμενος πολυφασματικός δέκτης AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer)

2.4.1 Η ψηφιακή μηχανή ADS-80 της εταιρίας LEICA

Η ADS-80 είναι ο διάδοχος της ADS-40 με τετραπλάσια (4x) ευαισθησία από την προκάτοχό της. Παράγεται σε δύο εκδόσεις (SH81 & SH82) με τα εξής χαρακτηριστικά:

- A. 8 (12) γραμμές CCD με 12000 pixel/γραμμή
 - i. 2 Παγχρωματικές
 - ii. 1 ζεύγος Παγχρωματικών τοποθετημένο στην μέση των pixel
 - iii. 4 (8) Πολυφασματικές (κόκκινο, πράσινο, μπλε, εγγύς υπέρυθρο)
- B. Μέγεθος pixel: 6.5μm x 6.5μm
- C. Οπτικό πεδίο (FoV) ή γωνία σάρωσης: 64°
- D. Εδαφοψηφίδα (GSD) έως 3 cm με ταχύτητα στο έδαφος (GS) 90 kts

Σε παρένθεση αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του δέκτη SH82 **Invalid source specified..**

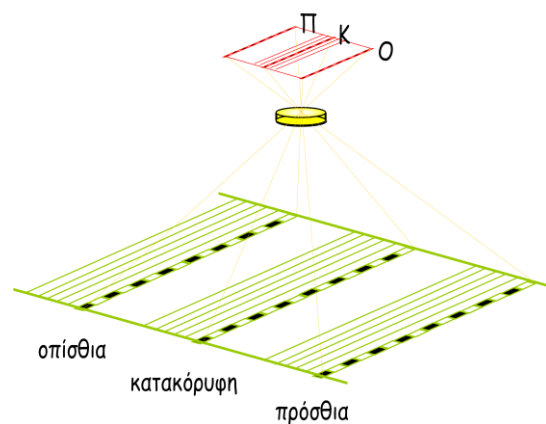
Η αρχή λειτουργίας της παραπάνω μηχανής διαφέρει από τις αναλογικές καθώς στην ουσία σαρώνει γραμμικά και κατά την εγκάρσια της κίνησης του αεροσκάφους φορά, το έδαφος σε τρεις (3) θέσεις.

1. Πρόσθια θέση
2. Κατακόρυφη θέση, και
3. Οπίσθια θέση

Η συνεχής αυτή λειτουργία, ονομάζεται **σάρωση σκούπας** και έχει ως σημαντικό πλεονέκτημα την αδιάκοπη κάλυψη όλης της περιοχής τρεις (3) φορές.

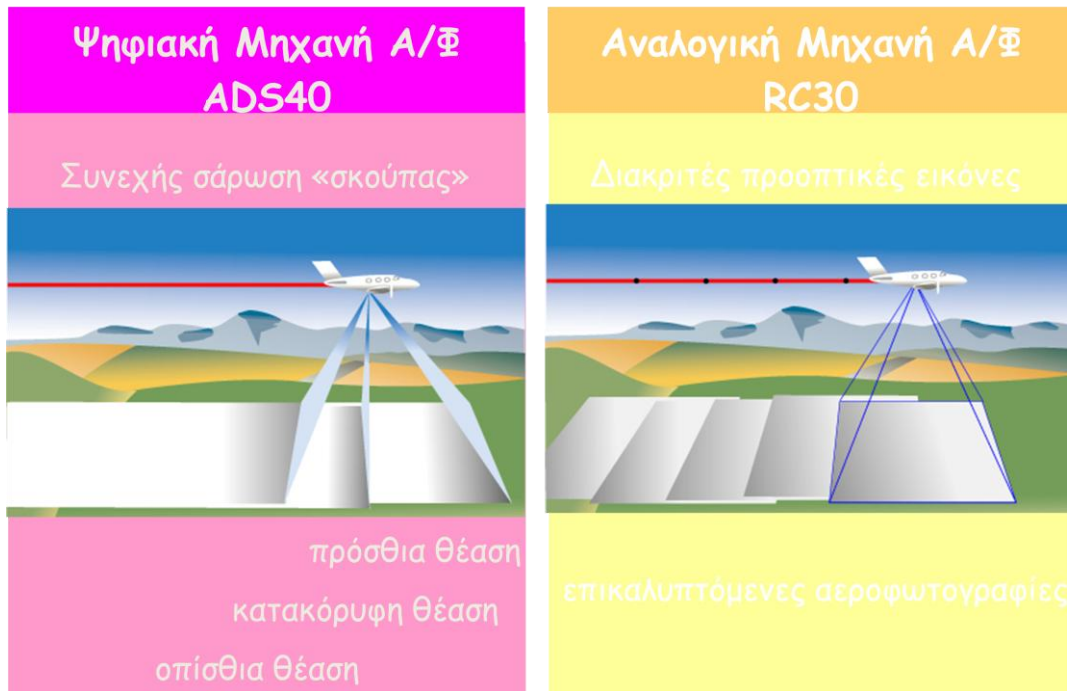


Εικόνα 5 - Ψηφιακή μηχανή ADS-80

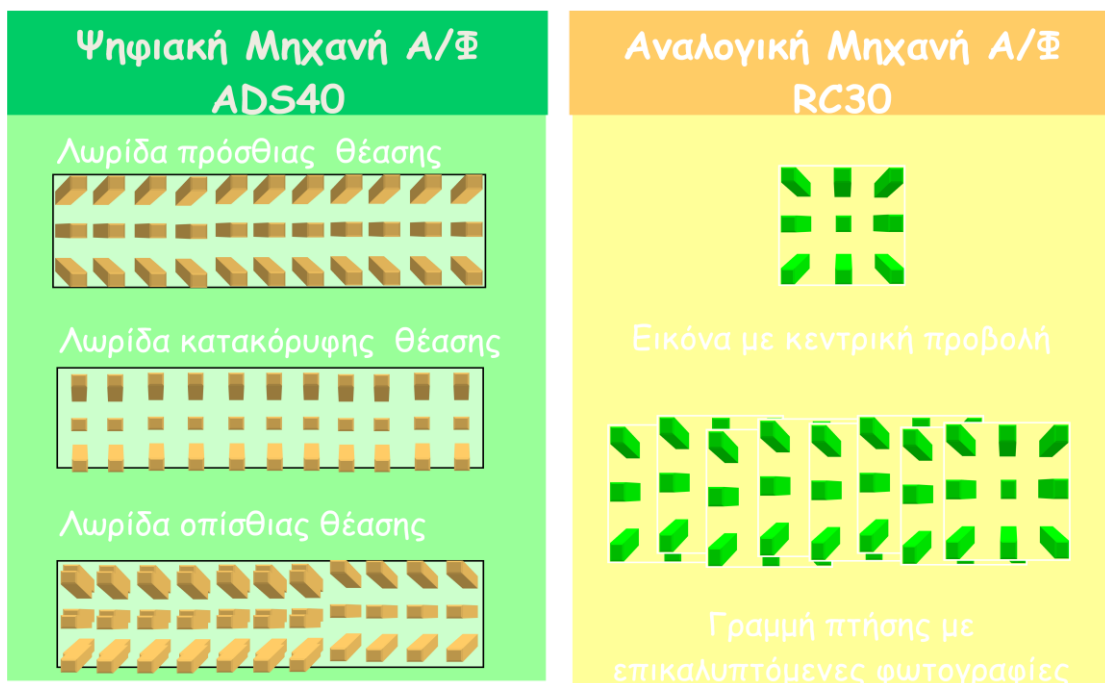


Εικόνα 6 - Αρχή λειτουργίας ADS-80

Οι παρακάτω εικόνες μπορούν να βοηθήσουν στην καλύτερη αντίληψη της λειτουργίας της ADS-80, η οποία είναι κοινή με την παλαιότερη ADS-40.



Εικόνα 7 - Συνεχής σάρωση «σκούπας» (Γεωργόπουλος, Σημειώσεις μαθήματος Φωτογραμμετρίας Ι, 2004)



Εικόνα 8 - Διαφορές προβολής ADS-40 και απλής αναλογικής μηχανής(Γεωργόπουλος, Σημειώσεις μαθήματος Φωτογραμμετρίας Ι, 2004)

2.4.2 Το σύστημα ψηφιακής καταγραφής UltraCam

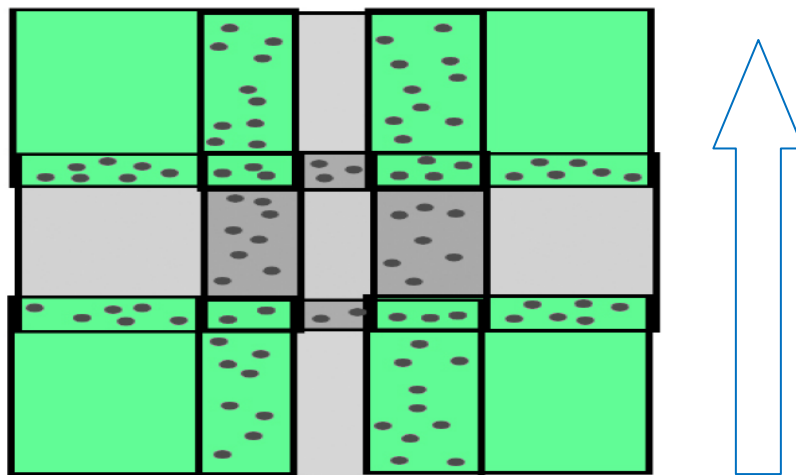


Το σύστημα ψηφιακής καταγραφής UltraCam στηρίζεται στην τοποθέτηση σε ένα δέκτη πολλαπλών ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών κεντρικής προβολής και λειτουργίας παρόμοιας με της απλές αναλογικές. Οι δέκτες είναι κατάλληλα τοποθετημένοι και συγχρονισμένοι ώστε οι επιμέρους λήψεις να πραγματοποιούνται πάνω από την ίδια θέση.

Η σύνθεση των επιμέρους λήψεων μας δίνει το τελικό αποτέλεσμα.

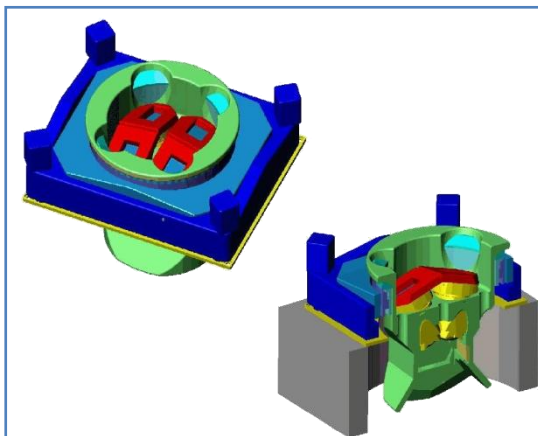
Εικόνα 9 - Η Ultracam

Το αποτέλεσμα έχει περίπου την παρακάτω σχηματική μορφή και διάσταση 11500 pixels κατά τον άξονα X και 7500 pixels κατά τον Y. Η διεύθυνση πτήσης είναι κατά την φορά του βέλους.



Εικόνα 10 - Μορφή δεδομένων από το σύστημα ψηφιακής καταγραφής UltraCam

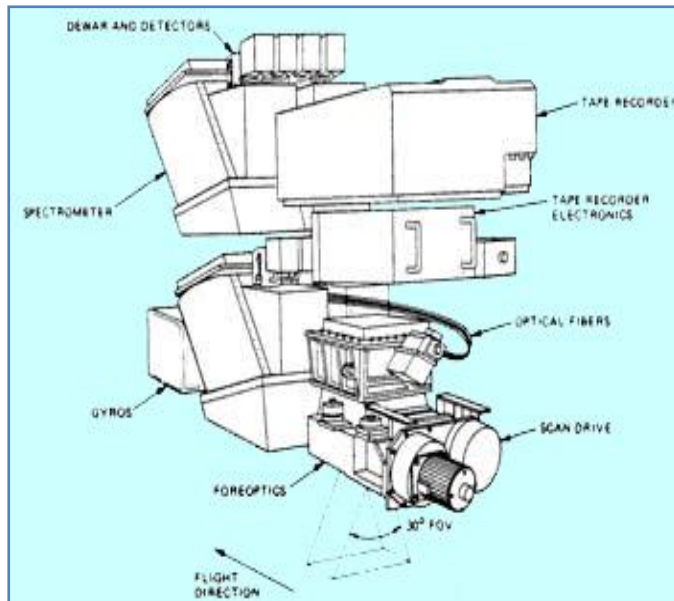
2.4.3 Η ψηφιακή μηχανή DMC της Z/I



Εικόνα 11 - Η ψηφιακή μηχανή A/Φ DMC της Z/I

Η ψηφιακή μηχανή A/Φ DMC της Z/I αποτελείται από 4 ψηφιακές CCD με συγκλίνουσα διάταξη και παράγει τελικό προϊόν εικόνες σε κεντρική προβολή.

2.4.4 Ο αερομεταφερόμενος πολυφασματικός δέκτης AVIRIS



Εικόνα 12 - Ο αερομεταφερόμενος πολυφασματικός δέκτης AVIRIS (<http://aviris.jpl.nasa.gov/>)

Ο αερομεταφερόμενος πολυφασματικός δέκτης AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer) είναι ο μοναδικός αυτή την στιγμή αισθητήρας που δίνει αποτελέσματα – εικόνες σε 224 διαφορετικά κανάλια. Διαχωρίζει δηλαδή την φασματική ακτινοβολία του ορατού και υπέρυθρου, από 400 έως 2500 nm, σε 224 διαφορετικές ζώνες, κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ευαισθητοποιημένες σε συγκεκριμένο μήκος φωτός.

Το AVIRIS χρησιμοποιεί έναν καθρέφτη ανίχνευσης που μετακινείται ελαφρά πάνω – κάτω (μέθοδος “whisk broom”), παράγοντας 677 εικονοστοιχεία ανά γραμμή για κάθε ένα από τους 224 αισθητήρες **Invalid source specified..**

Ο τρόπος λειτουργίας του είναι αντίστοιχος των δορυφορικών δεκτών και δεν εφαρμόζεται η μεθοδολογία επίλυσης των παραπάνω μηχανών, αλλά τεχνικές που περιγράφονται παρακάτω για τα δορυφορικά συστήματα.

Το μέγεθος του εικονοστοιχείου εξαρτάται από το ύψος πτήσης του φορέα και καθώς υπάρχει ένα πλήθος φορέων που μεταφέρει το σύστημα AVIRIS, κυμαίνεται από 20 m, όταν φορέας είναι το ER-2 με ύψος πτήσεις 20km από την επιφάνεια της θάλασσας, έως 4 m, όταν φορέας είναι το Twin Otter με ύψος πτήσεις 4km από την επιφάνεια της θάλασσας. Αντίστοιχα το μήκος λωρίδας ευρύνεται από 11 έως 2 km.

Ο κυρίως λόγος για τον οποίο αναφέρεται ο συγκεκριμένος δέκτης στην παρούσα εργασία είναι το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του δέκτη να μπορεί να δίνει ψηφιακή εικόνα για 224 διαφορετικές περιοχές του ορατού, αλλά κυρίως του υπέρυθρου φάσματος του φωτός. Δυνατότητα που θα αξιοποιηθεί παρακάτω.

2.5 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΧΩΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Από την εποχή που ο πρώτος δορυφόρος τέθηκε σε τροχιά μέχρι σήμερα έχουν γίνει άλματα στην επιστήμη της διαστημικής. Ο κλάδος της Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης δεν θα μπορούσε παρά να επωφεληθεί αυτών των αλλαγών. Ψηφιακή δέκτες, εύρους δυνατοτήτων, προσαρμόστηκαν σε δορυφορικούς φορείς και τέθηκαν σε τροχιά.

Αναμφίβολα η νέα πλατφόρμα έδινε συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις έως τότε πρακτικές, καθώς:

1. Η περιοχή κάλυψης αυξανόταν δραματικά λόγω του ύψους πτήσης, και
2. Η ροή των δεδομένων ήταν συνεχής

2.5.1 Αρχή Λειτουργίας

Σε γενικές γραμμές η λειτουργία κάθε δορυφορικού δέκτη είναι μοναδική, καθώς ο κάθε δέκτης έχει αναπτυχθεί για να καλύψει διαφορετικό φάσμα εργασιών. Παρόλα αυτά η αρχή λειτουργίας όλων προσεγγίζει κατά μεγάλο βαθμό αυτή των ψηφιακών δεκτών με χρήση σάρωσης.

Το παραπάνω οφείλεται κυρίως λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών των δορυφορικών συστημάτων, που μπορούν να συνοψιστούν κυρίως:

- A. Στη τροχιά του δορυφόρου
 - i. Ύψος πτήσης
 - ii. Κλίση σε σχέση με τη Γη
 - iii. Πορεία
- B. Στα τεχνικά χαρακτηριστικά του δέκτη (βλ. αναλυτικά σελ. 6-7)
 - i. Χωρική διακριτική ικανότητα (μέγεθος εδαφοψηφίδας)
 - ii. Φασματική διακριτική ικανότητα (πλήθος καναλιών)

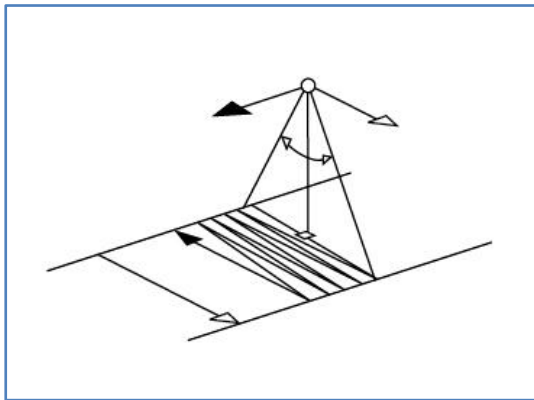
Αναλυτικότερα για τον τρόπο λειτουργίας των δορυφορικών δεκτών, κάθε μοναδιαίο στοιχείο της εικόνας (pixel) την οποία παράγει ένας ηλεκτροπτικός δέκτης έχει τιμή ενδεικτική για τις παραμέτρους (i) του **χώρου**, (ii) του **χρόνου** και (iii) του **μήκους κύματος**. Επειδή ο χρόνος λήψης ενός σήματος είναι πολύ μικρός (της τάξης των msec και msec) συνήθως δεν λαμβάνεται υπ' όψιν η παράμετρος του χρόνου κατά την ερμηνεία της τιμής του pixel (Γεωργόπουλος, 1998). Λόγω του μεγάλου υψομέτρου πτήσης των δορυφόρων και της κίνησης του σε τροχιά γύρω από την Γη, η παράμετρος του χρόνου επηρεάζει αθροιστικά την παράμετρο της θέσης, καθώς υπάρχει διαφορά χρόνου και θέσης ανάμεσα στις παραμέτρους των πρώτων και των τελευταίων pixel της συνολικής εικόνας (βλ. παρακάτω).

Υποθέτουμε ηλεκτροπτικό (ψηφιακό) δέκτη ο οποίος φέρεται από δορυφόρο, που βρίσκεται σε τροχιά γύρω από την Γη κατά την διεύθυνση ψ (in-track direction), και του οποίου το οπτικό σύστημα συλλέγει συνεχώς ακτινοβολία για μία διεύθυνση κάθετη σε αυτή της τροχιάς (cross-track direction). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί:

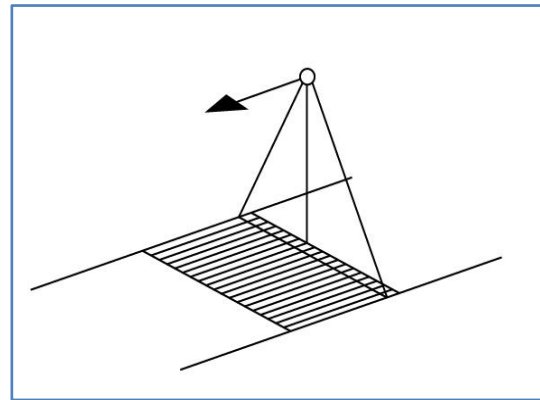
- a) Είτε με την περιστροφή ενός κάτοπτρου στο επίπεδο το κάθετο στην τροχιά του δορυφόρου (περίπτωση Landsat)
- b) Είτε με την διάταξη χιλιάδων CCD cameras στην κάθετη διεύθυνση της τροχιάς (περίπτωση SPOT)

Η εικόνα η οποία καταγράφεται προκύπτει από την σάρωση της γήινης επιφάνειας, δηλαδή από τον συνδυασμό καταγραφής της ακτινοβολίας κατά την διεύθυνση της τροχιάς και την διεύθυνση την κάθετη στην τροχιά.

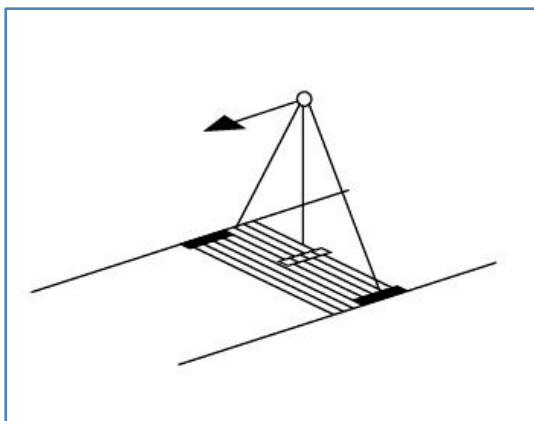
- Όταν η σάρωση γίνεται με ένα μόνο ανιχνευτή τότε έχουμε σαρωτή γραμμής (line scanner) - Εικόνα 13
- Όταν η σάρωση γίνεται από μία σειρά ανιχνευτών, οι οποίοι είναι διατεταγμένοι κατά την διεύθυνση της τροχιάς (π.χ. Landsat TM δέκτη με έξι ανιχνευτές) τότε έχουμε whiskbroom ανιχνευτές - Εικόνα 14
- Όταν έχουμε μία σειρά ανιχνευτών οι οποίοι είναι διατεταγμένοι κατά την κάθετη διεύθυνση της τροχιάς (π.χ. SPOT) τότε έχουμε push-broom σαρωτές - Εικόνα 15 (Καραθανάση, 2003)



Εικόνα 13 - line scanner



Εικόνα 15 - pushbroom scanner



Εικόνα 14 - whiskbroom scanner

2.5.2 Η Κίνηση του Δορυφόρου

Σημαντικό για να κατανοήσουμε τα παρακάτω είναι να περιγράψουμε μερικά στοιχεία για την τροχιά του δορυφόρου.

Ο δορυφόρος εκτελεί μία κίνηση γύρω από την Γη, τις περισσότερες φορές ηλιοσύγχρονη, ενώ την ίδια στιγμή η Γη εκτελεί την δική της κίνηση, με κυριότερη

την περιστροφή γύρω από τον εαυτό της και γύρω από τον Ήλιο. Η πρώτη κίνηση επηρεάζει την συνολική κίνηση του δορυφόρου σε σχέση με ένα δεδομένο σημείο πάνω στην επιφάνεια της Γης και η δεύτερη επηρεάζει τα φασματικά και ραδιομετρικά χαρακτηριστικά της εικόνας κατά μικρό, βέβαια, βαθμό.

Παραπάνω αναφέραμε ότι η τροχιά των δορυφόρων είναι συνήθως ηλιοσύγχρονη. Ηλιοσύγχρονη ονομάζεται η τροχιά ενός δορυφόρου η οποία διατηρείται σύγχρονη με την θέση της Γης ως προς τον Ήλιο. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μετάπτωση του τροχιακού επιπέδου του δορυφόρου να έχει την ίδια περίοδο με την περίοδο της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο. Επομένως το τροχιακό επίπεδο περιστρέφεται γύρω από την Γη με τον ρυθμό που ο Ήλιος κινείται κατά μήκος της γήινης επιφάνειας (Πατιάς, 1991).

2.5.3 Εσωτερικός και Εξωτερικός Προσανατολισμός

Η μεγάλη ταχύτητα του δορυφόρου και ο μεγάλος χρόνος λήψης προκαλεί μεταβολή των στοιχείων του εξωτερικού προσανατολισμού σε μία εικόνα. Επομένως, όπως θα δούμε και αναλυτικότερα παρακάτω, απαιτείται ένα δυναμικό μοντέλο περιγραφής της δορυφορικής λήψης.

Οι παράγοντες που καθορίζουν την γεωμετρία του συστήματος είναι:

1. Είδος αισθητήρα (γραμμικός ή επιφανειακός)
2. Τρόπος δημιουργίας της εικόνας
3. Μαθηματικό μοντέλο δεκτών

Στη εναέρια φωτογραμμετρία θεωρείται (και είναι ικανοποιητικό), ότι κατά το στιγμιαίο άνοιγμα του διαφράγματος της φωτογραφικής μηχανής τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού παραμένουν σταθερά. Έτσι για όλα τα σημεία μίας φωτογραφίας ισχύει η **συνθήκη της συγγραμμικότητας**, η οποία είναι συνάρτηση των σταθερών αυτών στοιχείων του εξωτερικού προσανατολισμού.

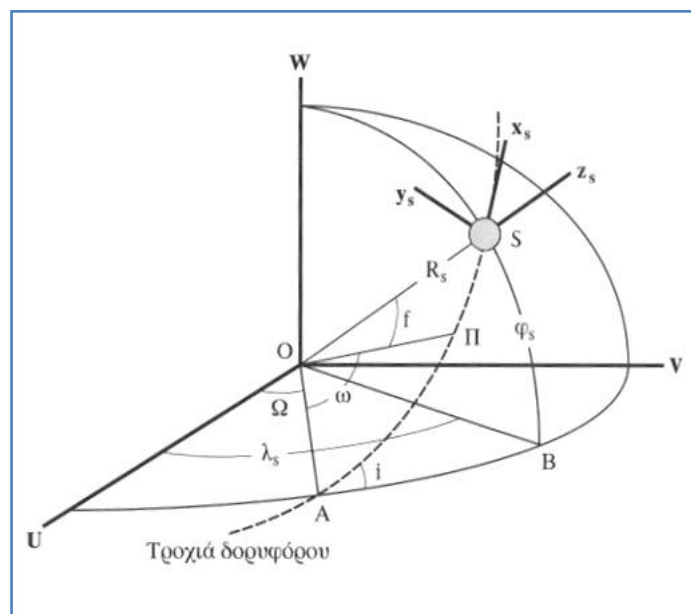
Αυτό δεν ισχύει σε μία δορυφορική λήψη. Απαιτείται κατά συνέπεια είναι **δυναμικό μοντέλο** για την περιγραφή της δορυφορικής λήψης, σε αντίθεση με το στατικό μοντέλο της εναέριας φωτογραμμετρίας. Μία προσέγγιση είναι ότι η μία δορυφορική εικόνα θα μπορούσε να αναλυθεί σε μία σειρά «στιγμιαίων» φωτογραφιών, όπου τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού για κάθε μία από αυτές παραμένουν σταθερά. Το ζητούμενο δηλαδή είναι ένα δυναμικό μοντέλο που να εκφράζει με τη μεγαλύτερη δυνατή πιστότητα το γεγονός της δορυφορικής λήψης, από ένα κινούμενο ή ακίνητο σαρωτή, πάνω σε μία πλατφόρμα ενός δορυφόρου που διαγράφει την τροχιά του.

Υιοθετώντας την άποψη της «στιγμιαίας φωτογραφίας», η σχέση συγγραμμικότητας μεταξύ ενός σημείου του εδάφους και του αντίστοιχου σημείου στην εικόνα θα συνέχιζε να ισχύει, αλλά τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού θα μεταβάλλονταν συνεχώς κατά την διάρκεια της λήψης. Η μεταβολή αυτή οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους:

- a) Την κατά πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα του δορυφόρου σε σχέση με αυτή του αεροπλάνου, και
- b) Τον αρκετά μεγάλο χρόνο λήψης της εικόνας (η οποία για την περίπτωση του SPOT, για παράδειγμα, είναι περίπου 9 sec)

Στη διάρκεια των 9 sec ο δορυφόρος έχει διανύσει πάνω στην φορά του τόξου μήκος περίπου 68 km. Έτσι η θέση του καθενός σημείου της δορυφορικής εικόνας είναι συνάρτηση του χρόνου και πρέπει να αντιμετωπιστεί ξεχωριστά. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε ψηφίδα θα πρέπει να εκτιμηθούν τα έξι (6) στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού, δηλαδή για την περίπτωση του SPOT με 6000x6000 ψηφίδες, θα πρέπει να λύσουμε ως προς 216 εκ. αγνώστους, μέσω ενός πολύπλοκου μοντέλου.

Οι συντεταγμένες εικόνας (x,y) για κάθε ρixel της δορυφορικής εικόνας μπορούν να υπολογιστούν από τα (i,j) του ρixel και αναφέρονται σε κάποιο σύστημα του σαρωτή. Το σύστημα αυτό, δυστυχώς, είναι διαφορετικό για κάθε ρixel. Οι συντεταγμένες λοιπόν πρέπει να μετασχηματιστούν στο σύστημα πλατφόρμας πάνω στην οποία βρίσκεται ο δέκτης. Δεδομένου ότι ο δορυφόρος, και άρα και η πλατφόρμα με τον δέκτη, κινούνται πάνω σε μία τροχιά, το σύστημα της πλατφόρμας μεταβάλλεται συνεχώς από σημείο σε σημείο. Οι συντεταγμένες, που αναφέρονται στο σύστημα της πλατφόρμας, πρέπει να μετασχηματιστούν σε ένα τοπικό τροχιακό σύστημα του δορυφόρου. Ο επόμενος μετασχηματισμός είναι σε ένα αδρανειακό σύστημα με κέντρο το κέντρο μάζας της Γης, στο οποίο περιγράφεται η δορυφορική τροχιά. Ο τελευταίος μετασχηματισμός μετασχηματίζει τις συντεταγμένες που αναφέρονται στο αδρανειακό σύστημα, σε ένα γεωκεντρικό τρισδιάστατο σύστημα (X,Y,Z) .



Εικόνα 16 - Η κίνηση του δέκτη γύρω από την Γη

Είναι, λοιπόν, φανερό ότι για να μετασχηματίσουμε τις συντεταγμένες που δίδονται στο γεωκεντρικό σύστημα σε συντεταγμένες εικόνας, πρέπει να εφαρμόσουμε μία

στροφή με τη βοήθεια ενός ορθογώνιου πίνακα στροφής R. Ο πίνακας αυτός θα είναι συνάρτηση γνωστών γεωδαιτικών και αστρονομικών σταθερών (π.χ. γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της Γης, στοιχεία γεωμετρίας του γήινου ελλειψοειδούς, κλπ), παραμέτρων της τροχιάς του δορυφόρου (6 στοιχεία του Kepler) και των γωνιών στροφής (ω, ϕ, κ) του συγκεκριμένου pixel (Πατιάς, 1991).

Επομένως για κάθε pixel (ή γραμμή από pixel) αντιστοιχεί διαφορετικές γωνίες στροφής, οι οποίες υπολογίζονται σε συνάρτηση με τον χρόνο, και δίνονται από τους εξής τύπους:

$$\omega_i = \omega_0 + \omega_1 t + \omega_2 t^2$$

$$\varphi_i = \varphi_0 + \varphi_1 t + \varphi_2 t^2$$

$$\kappa_i = \kappa_0 + \kappa_1 t + \kappa_2 t^2$$

Η διαφορά χρόνου ανάμεσα στην καταγραφή της πληροφορίας κάθε γραμμής επηρεάζει αντίστοιχα και τις συντεταγμένες της θέσης λήψης, οποίες προκύπτουν σε συνάρτηση με τον χρόνο από τους εξής τύπους:

$$X_{0i} = X_0^0 + X_0^1 t + X_0^2 t^2$$

$$Y_{0i} = Y_0^0 + Y_0^1 t + Y_0^2 t^2$$

$$Z_{0i} = Z_0^0 + Z_0^1 t + Z_0^2 t^2$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει η ανάγκη υπολογισμού 18 αγνώστων (3 για κάθε εξίσωση). Η επίλυση των εξισώσεων γίνεται με σκόπευση σημείων επίγειου ελέγχου (GCPs) και την χρήση της συνθήκης της συγγραμμικότητας. Ο πίνακας στροφής R περιέχει τα παραμετροποιημένα δεδομένα που οφείλονται στην κίνηση του δορυφόρου.

2.5.4 Rational Functions

Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί τον αυστηρό γεωμετρικό αλγόριθμο. Στην πράξη τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται για τα δορυφορικά δεδομένα **RPC** (Rational Polynomial Coefficients).

Η συνάρτηση Ground to Image έχει την γενική μορφή:

$$l_n = \frac{NumL(U, V, W)}{DenL(U, V, W)} \quad s_n = \frac{NumS(U, V, W)}{DenS(U, V, W)}$$

όπου:

l_n είναι η κανονικοποιημένη τιμή της εικονοσυντεταγμένης y

s_n είναι η κανονικοποιημένη τιμή της εικονοσυντεταγμένης x

$$\begin{aligned} NumL = & a_1 + a_2 \cdot V + a_3 \cdot U + a_4 \cdot W + a_5 \cdot V \cdot U + a_6 \cdot V \cdot W + a_7 \cdot U \cdot W + a_8 \\ & \cdot V^2 + a_9 \cdot U^2 + a_{10} \cdot W^2 + a_{11} \cdot U \cdot V \cdot W + a_{12} \cdot V^3 + a_{13} \cdot V \cdot U^2 \\ & + a_{14} \cdot V \cdot W^2 + a_{15} \cdot U \cdot V^2 + a_{16} \cdot U^3 + a_{17} \cdot U \cdot W^2 + a_{18} \cdot W \\ & \cdot V^2 + a_{19} \cdot W \cdot U^2 + a_{20} \cdot W^3 \end{aligned}$$

$$DenL = b_1 + b_2 \cdot V + \dots + b_{20} \cdot W^3$$

$$NumS = c_1 + c_2 \cdot V + \dots + c_{20} \cdot W^3$$

$$DenS = d_1 + d_2 \cdot V + \dots + d_{20} \cdot W^3$$

Οι συντελεστές των πολυωνύμων δίνονται από την εταιρία διαχείρισης του δορυφορικού δέκτη. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την χρήση των RF έχουν μικρότερη ακρίβεια από αυτά που προκύπτουν με την χρήση του αυστηρού γεωμετρικού μοντέλου, αλλά η διαδικασία επίλυσης είναι απλούστερη και ο χρόνος μικρότερος.

Τα αποτελέσματα με την χρήση των συντελεστών πολυωνυμικού μετασχηματισμού (RF) έχουν ένα τοπικό συστηματικό σφάλμα, το οποίο εκφράζεται με στροφή και μετατόπιση. Προκειμένου να διορθώσουμε αυτό το σφάλμα προβαίνουμε σε επαναπροσδιορισμό των συντελεστών του πολυωνύμου κάνοντας χρήση σημείων επίγειου ελέγχου (GCPs). Συνήθως χρησιμοποιούνται 1-3 GCPs.

Η χρήση των Rational Functions δίνει σημαντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα (Ιωαννίδης, 2005).

Πίνακας 1 - Πλεονεκτήματα & μειονεκτήματα RF

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
<ul style="list-style-type: none"> Είναι κατάλληλα για όλους τους τύπους δεδομένων Έχουν ικανοποιητική ταχύτητα για δυναμική ανταπόκριση Μπορούν να κάνουν χρήση οποιουδήποτε γεωδαιτικού συστήματος συντεταγμένων Διατηρούν την ακρίβεια του δέκτη 	<ul style="list-style-type: none"> Δεν μοντελοποιούνται οι τοπικές διαστρεφές της εικόνας Οι όροι δεν έχουν φυσική σημασία Εισάγεται θόρυβος εικόνας λόγω της επιπλέον συνόρθωσης Υπάρχουν προβλήματα λόγω του μεγάλου βαθμού συσχέτισης των όρων Η ακρίβεια μειώνεται σε μεγάλες εικόνες ή μεγάλες διαστρεφές

2.5.5 Σημεία Επίγειου Ελέγχου (GCPs)

Σημεία Επίγειου Ελέγχου (GCPs) ονομάζονται τα ευδιάκριτα σημεία μία δορυφορικής εικόνας στο έδαφος τα οποία χρησιμεύουν:

- A. είτε για τον προσδιορισμό των 80 αγνώστων παραμέτρων των RPC, οπότε λειτουργούν όπως τα φωτοσταθερά στην εναέρια φωτογραμμετρία
- B. είτε, **συνήθως**, για τον επαναπροσδιορισμό (refinement) του μαθηματικού μοντέλου, δηλαδή των τιμών των συντελεστών των RPC που δίνονται από την εταιρία διαχείρισης του δορυφόρου, ώστε να αντιμετωπιστούν τοπικά συστηματικά σφάλματα

Η χρήση GCPs βελτιώνει το μαθηματικό μοντέλο (Ιωαννίδης, 2005):

1. Το μαθηματικό μοντέλο μίας εικόνας IKONOS (που είναι και ο δέκτης που χρησιμοποιούμε όπως θα δούμε παρακάτω στη παρούσα διπλωματική εργασία) που παρέχεται από την πάροχο εταιρία Space Imaging έχει ακρίβεια ± 25 m, για τον ελληνικό χώρο
2. Με την εισαγωγή σημείων επίγειου ελέγχου μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση της ακρίβειας στο επίπεδο του ενός εικονοστοιχείου (για την περίπτωση του IKONOS 1 m, που είναι αρκετό για την παραγωγή ορθοφωτογραφίας κλίμακας 1:5000)
3. Η βελτίωση μπορεί να γίνει με εφαρμογή εξειδικευμένου λογισμικού, που είναι ενσωματωμένο, πλέον, σε όλους τους ψηφιακούς φωτογραμμετρικούς σταθμούς

2.6 ΣΥΝΗΘΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.6.1 WorldView-1



Εικόνα 17 - Ο δορυφορικός δέκτης WorldView
(<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-1.html>)

Ο WorldView-1 είναι ο πιο σύγχρονος δορυφόρος δέκτης που δίνει δεδομένα για εμπορικούς σκοπούς σήμερα.

Έχει δυνατότητα να συλλέγει δεδομένα με μέγεθος εδαφοψηφίδας (GSD) μικρότερο του 0.5 m, όμως η ακρίβεια αυτή είναι διαθέσιμη μόνο για στρατιωτικούς και κυβερνητικούς σκοπούς των ΗΠΑ. Για εμπορικούς σκοπούς γίνεται επανασύσταση της εικόνας σε μέγεθος εδαφοψηφίδας (GSD) 0.5 m.

Δυστυχώς ο δορυφορικός δέκτης WorldView-1 διαθέτει μόνο παγχρωματικό κανάλι και τα δεδομένα που προσφέρει είναι ασπρόμαυρα.

Πίνακας 2 - WorldView-1 Satellite Sensor Characteristics (<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-1.html>)

Scheduled Launch Date	September 18, 2007
Launch Vehicle	Boeing Delta 7920 (9-strap-ons)
Launch Location	Vandenberg Air Force Base, California, USA
Orbit Altitude	496 Km
Orbit Inclination	sun-synchronous
Spacecraft Size, Mass & Power	3.6 meters (12 feet) tall x 2.5 meters (8 feet) across,
	7.1 meters (23 feet) across the deployed solar arrays
	2500 kilograms (5500 pounds)
	3.2 kW solar array, 100 Ahr battery
Equator Crossing Time	10:30 AM (descending node)
Revisit Time	1.7 days at 1 meter GSD or less
	5.9 days at 20° off-nadir or less (0.51 meter GSD)
Swath Width	17.6 Km at nadir
Full Scene	17.6 Km x 14 Km or 246.4 Km ² at nadir
Orbit Time	94.6 minutes
Dynamic Range	11 bits per pixel
Resolution	0.50 meters GSD at nadir
	0.55 meters GSD at 20° off-nadir
	(note that imagery must be re-sampled to 0.5 meters for non-US Government customers)
Sensor Bands	Panchromatic
Metric Accuracy	Accuracy: <500 meters at image start and stop
	Knowledge: Supports geolocation accuracy below
Geolocation Accuracy (CE 90%)	Specification of 12.2 m CE90, with predicted performance in the range of 3.0 to 7.6 meters (10 to 25 feet) CE90, excluding terrain and off-nadir effects
	With registration to GCPs in image: 2.0 meters (6.6 feet)
Retargeting Ability	Acceleration: 2.5 deg/s/s
	Rate: 4.5 deg/s
	Time to slew 300 kilometers: 9 seconds
Onboard Storage	2199 gigabits solid state with EDAC
Accessible Ground Swath	60 x 110 km mono
	30 x 110 km stereo

2.6.2 QuickBird II



Ο QuickBird II είναι ένας υψηλής ευκρίνειας εμπορικός δορυφόρος που ανήκει στην DigitalGlobe και εκτοξεύτηκε το 2001.

Είναι από τους μεγαλύτερης χωρικής διακριτικής ικανότητας δορυφόρος που βρίσκονται σε τροχιά αυτή την στιγμή.

Εικόνα 18 - Ο δορυφορικός δέκτης QuickBird
(<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/quickbird.html>)

Πίνακας 3 - QuickBird Satellite Sensor Characteristics(<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/quickbird.html>)

Launch Date	October 18, 2001
Launch Vehicle	Boeing Delta II
Launch Location	Vandenberg Air Force Base, California, USA
Orbit Altitude	450 Km
Orbit Inclination	97.2°, sun-synchronous
Speed	7.1 km/sec (25,560 Km/hour)
Equator Crossing Time	10:30 AM (descending node)
Orbit Time	93.5 minutes
Revisit Time	1-3.5 days, depending on latitude (30° off-nadir)
Swath Width	16.5 km x 16.5 km at nadir
Metric Accuracy	23 meter horizontal (CE90%)
Digitization	11 bits
Resolution	Pan: 61 cm (nadir) to 72 cm (25° off-nadir) MS: 2.44 m (nadir) to 2.88 m (25° off-nadir)
Image Bands	Pan: 450-900 nm Blue: 450-520 nm Green: 520-600 nm Red: 630-690 nm Near IR: 760-900 nm
Λοιπά Χαρακτηριστικά	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΟΡΘΟΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΜΕ 2-3 GCPs (Rational Polynomial Coefficients)

2.6.3 IKONOS

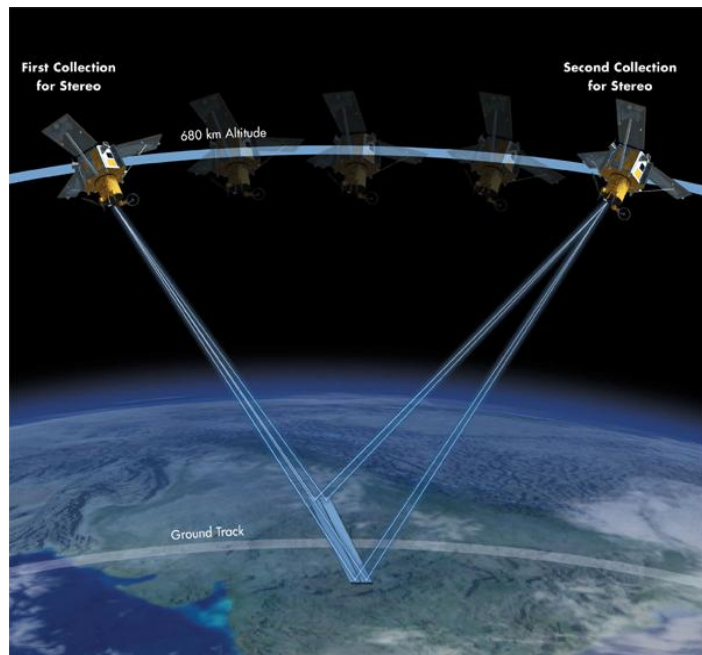


Εικόνα 19 - Ο δορυφορικός δέκτης IKONOS
(<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos.html>)

Ο IKONOS ανήκει και αυτός στην κατηγορία των υψηλής ευκρίνειας δορυφόρων και είναι ο πρώτος που έδωσε εικόνες υψηλής ευκρίνειας (1-4m) για εμπορικούς σκοπούς. Πήρε το όνομα του από την ελληνική λέξη «εικόνα».

Ο δέκτης έχει χωρική διακριτική ικανότητα 0.82/1.00 m (nadir/26° off-nadir) στο παγχρωματικό και 3.20/4.00 m (nadir/26° off-nadir) στο πολυφασματικό.

Τα στερεοσκοπικά προϊόντα δημιουργούνται από δορυφορικές λήψεις της ίδιας θέσης στη Γη, που λαμβάνονται από δύο διαφορετικές προοπτικές κατά την διάρκεια ενός τροχιακού περάσματος (in-track). Κάθε στερεοζεύγος περιέχει μία εικόνα που συλλέγεται σε μία θέση δέκτη χαμηλής γωνίας (μεγαλύτερη των 60°) και από μία από δέκτη σε υψηλότερη γωνία (μεγαλύτερη των 72°) με σύγκλιση 30°- 45° (αναλογία από 0.54 έως 0.83 βάσης προς ύψος).



Εικόνα 20 - Τρόπος λήψης στερεοζεύγους
(<http://www.satimagingcorp.com/svc/ikonos-stereo-satellite-images.html>)

Πίνακας 4 - IKONOS Satellite Sensor Characteristics(<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos.html>)

Launch Date	September 24, 1999
Launch Vehicle	Athena 2
Launch Location	Vandenberg Air Force Base, California, USA
Orbit Altitude	681 km
Orbit Inclination	98.1°, sun-synchronous
Speed	7.5 km/sec on orbit
Equator Crossing Time	Nominally 10:30 AM solar time
Orbit Time	93.5 minutes
Revisit Time	Approximately 3 days at 40° latitude
Revolution around the Earth	14.7 every 24 hours
Swath Width	11.3 km x 11.3 km at nadir
	13.8 km x 13.8 km at 26° off-nadir
Metric Accuracy	25/22 m horizontal/vertical (CE/LE90%) without GCPs
	<2.5/1.5 m horizontal/vertical (CE/LE90%) with GCPs
Digitization	11 bits or 8 bits
Resolution	Pan: 0.82 m (nadir) to 1.00 m (26° off-nadir)
	MS: 3.20 m (nadir) to 4.00 m (26° off-nadir)
Image Bands	Pan: 450-900 nm
	Blue: 445-519 nm
	Green: 506-595 nm
	Red: 632-698 nm
	Near IR: 757-853 nm
Λοιπά Χαρακτηριστικά	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΟΡΘΟΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΜΕ 2-3 GCPs (Rational Polynomial Coefficients)

2.6.4 GeoEye-1

Ο δορυφόρος αναχώρησε με πύραυλο Boeing Delta II από την Αεροπορική Βάση Βάντενμπεργκ και ακολούθησε μια διαδρομή που θα τον έφερνε αργότερα σε πολική τροχιά 680 χλμ πάνω από την επιφάνεια της Γης.



Εικόνα 21 - Ο δορυφορικός δέκτης GeoEye-1
(<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/geoeye-1.html>)

Ο GeoEye-1, που αποτελεί τον απόγονο του IKONOS με αυξημένες δυνατότητες, θα συμπληρώνει περισσότερες από 12 περιφορές γύρω από τη Γη κάθε μέρα και όταν αρχίσει την κανονική του λειτουργία θα μεταδίδει ασπρόμαυρες φωτογραφίες στις οποίες διακρίνονται αντικείμενα διαμέτρου μόλις 40 εκατοστών. Θα προσφέρει επίσης έγχρωμες εικόνες, μικρότερης όμως ανάλυσης.

Αυτή την στιγμή ο δορυφόρος είναι σε στάδιο καλιμπραρίσματος και δεν έχει δώσει δεδομένα για εμπορική χρήση ακόμη.

Η εταιρεία General Dynamics Advanced Information Systems, με έδρα την Αριζόνα, κάλυψε το κόστος των 500 εκατ. δολαρίων για την κατασκευή και την εκτόξευση του GeoEye-1 από συμβόλαιο της αμερικανικής Εθνικής Υπηρεσίας Γεωχωρικών Πληροφοριών.

Παραδόξως, η υπηρεσία χρειάζεται πρόσβαση και σε εμπορικές δορυφορικές υπηρεσίες για την υποστήριξη του προγράμματος εθνικής ασφάλειας των ΗΠΑ.

Πάντως η General Dynamics θα πουλά τα δεδομένα και για εμπορική χρήση από τη Google, μεταξύ άλλων. Το λογότυπο της Google διακοσμούσε μάλιστα τον πυραυλοφορέα εκτόξευσης, ακριβώς κάτω από το λογότυπο της Boeing.

Την εκτόξευση παρακολούθησαν οι δύο ιδρυτές της Google Σεργκέι Μπριν και Λάρι Πέιτζ.

Λόγω των περιορισμών που επιβάλλει η αμερικανική κυβέρνηση στην αδειοδότηση δορυφορικών εικόνων, οι φωτογραφίες που θα προσφέρει ο δορυφόρος στη Google θα έχουν ανάλυση μικρότερη από τη μέγιστη.

Ο δεύτερος δορυφόρος της σειράς, GeoEye-2, προγραμματίζεται να εκτοξευτεί το 2011.

Πίνακας 5 – GeoEye-1 Satellite Sensor Characteristics (<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/geoeye-1.html>)

Launch Date	September 6, 2008		
Launch Vehicle	Delta II		
Launch Vehicle Manufacturer	Boeing Corporation		
Launch Location	Vandenberg Air Force Base, California		
Satellite Weight	1955 kg / 4310 lbs		
Satellite Storage and Downlink	1 Terabit recorder; X-band downlink (at 740 mb/sec or 150 mb/sec)		
Operational Life	Fully redundant 7+ year design life; fuel for 15 years		
Satellite Modes of Operation	• Store and forward		
	• Real-time image and downlink		
	• Direct uplink with real-time downlink		
Orbital Altitude	684 kilometers / 425 miles		
Orbital Velocity	About 7.5 km/sec or 45,000 mi/hr		
Inclination/Equator Crossing Time	98 degrees / 10:30am		
Orbit type/period	Sun-synchronous / 98 minutes		
Camera Modes	• Simultaneous panchromatic and multispectral (pan-sharpened)		
	• Panchromatic only		
	• Multispectral only		
Resolution	0.41 m / 1.34 ft* panchromatic (nominal at Nadir)		
	1.65 m / 5.41 ft* multispectral (nominal at Nadir)		
Metric Accuracy/Geolocation	CE stereo: 2 m / 6.6 ft		
	LE stereo: 3 m / 9.84 ft		
	CE mono: 2.5 m / 8.20 ft		
	These are specified as 90% CE (circular error) for the horizontal and 90% LE (linear error) for the vertical with no ground control points (GCP's)		
Swath Widths & Representative Area Sizes	• Nominal swath width - 15.2 km / 9.44 mi at Nadir		
	• Single-point scene - 225 sq km (15x15 km)		
	• Contiguous large area - 15,000 sq km (300x50 km)		
	• Contiguous 1° cell size areas - 10,000 sq km (100x100 km)		
	• Contiguous stereo area - 6,270 sq km (224x28 km) (Area assumes pan mode at highest line rate)		
Imaging Angle	Capable of imaging in any direction		
Revisit Frequency at 684 km Altitude (40° Latitude Target)	Max Pan GSD (m)	Off Nadir Look Angle (deg)	Average Revisit (days)
	0.42	10	8.3
	0.50	28	2.8
	0.59	35	2.1
Daily Monoscopic Area Collection Capacity	Up to 700,000 sq km/day (270,271 sq mi/day) of pan area (about the size of Texas). Up to 350,000 sq km/day (135,135 sq mi/day) of pan-sharpened multispectral area (about the size of New Mexico)		

2.6.5 SPOT-5

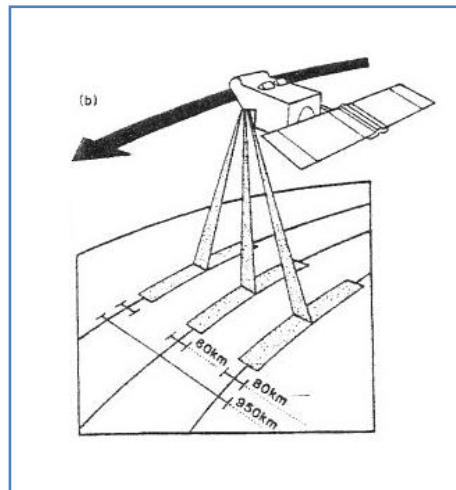


Εικόνα 22 - Ο δορυφορικός δέκτης SPOT-5

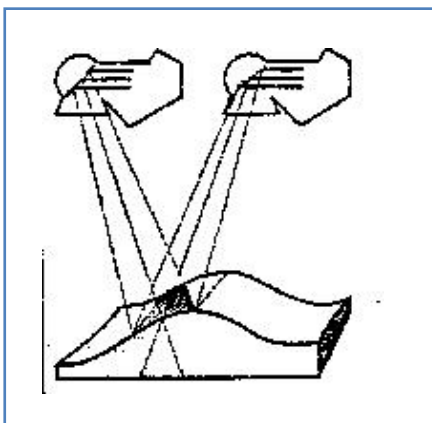
Οι δορυφόροι της οικογένειας SPOT αναπτύχθηκαν από το Γαλλικό Κέντρο Διαστήματος (CNES) και φέρουν δύο (2) δέκτες HRV (High Resolution Visible), που είναι δυνατόν να δουλέψουν είτε σε πολυφασματική είτε σε παγχρωματική ευαισθησία.

Η λειτουργία του HRV στηρίζεται στην ανακλώμενη από το αντικείμενο ακτινοβολία που εστιάζεται από επίπεδο κάτοπτρο πάνω στη γραμμή των αισθητήρων. Το κάτοπτρο κατευθύνεται από τον επίγειο σταθμό ελέγχου, επιτρέποντας έτσι στον δέκτη να απεικονίσει αντικείμενα μέσα σε μία

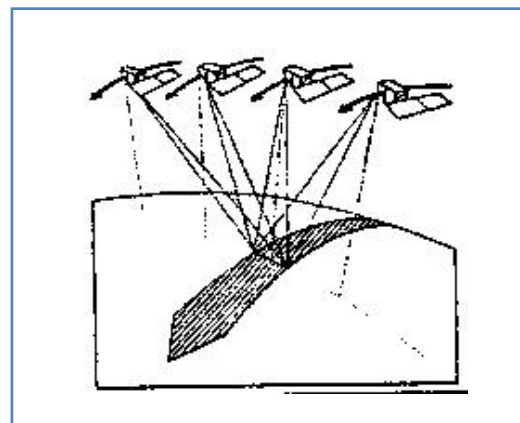
περιοχή 475 km εκατέρωθεν του ίχνους της τροχιάς του δορυφόρου (Εικόνα 23). Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να επιτευχθούν πολλαπλές και συχνές απεικονίσεις (Εικόνα 24) και, το κυριότερο, στερεοσκοπικές απεικονίσεις (Εικόνα 25). Η ακτινοβολία από το κάτοπτρο καταγράφεται από μία γραμμή 6000 αισθητήρων που κινείται μαζί με τον δορυφόρο (**push-broom scanning**). Κάθε εικόνα του SPOT αποτελείται από 6000 τέτοιες γραμμές και καλύπτει μία περιοχή περίπου 60 x 60 km² για κατακόρυφη λήψη.



Εικόνα 23 - Κατά πλάτος κάλυψη



Εικόνα 24 - Συνεχείς απεικονίσεις



Εικόνα 25 - Στερεοσκοπικές απεικονίσεις

Πίνακας 6 - SPOT-5 Satellite System: Sensor Characteristics (<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/spot-5.html>)

Launch Date	May 3, 2002
Launch Vehicle	Ariane 4
Launch Location	Guiana Space Centre, Kourou, French Guyana
Orbit Altitude	822 km
Orbit Inclination	98.7°, sun-synchronous
Speed	7.4 km/sec
Equator Crossing Time	10:30 AM (descending node)
Orbit Time	101.4 minutes
Revisit Time	2-3 days, depending on latitude
Swath Width	60 km x 60 km to 80 km at nadir
Metric Accuracy	< 50m horizontal position accuracy (CE90%)
Digitization	8 bits
Resolution	Pan: 2.5m from 2 x 5m scenes
	Pan: 5m (nadir)
	MS: 10m (nadir)
	SWI: 20m (nadir)
Image Bands	Pan: 480-710 nm
	Green: 500-590 nm
	Red: 610-680 nm
	Near IR: 780-890 nm
	Shortwave IR: 1,580-1,750 nm
Λοιπά Χαρακτηριστικά	ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΤΡΕΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΛΗΨΕΩΝ

2.6.6 ASTER



Εικόνα 26 - Ο δορυφορικός δέκτης ASTER
(<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/aster.html>)

Ο ASTER είναι ένας από τους πέντε αισθητήρες επί της διαστημικής πλατφόρμας Terra. Δημιουργήθηκε από μία κοινοπραξία της ιαπωνικής κυβέρνησης, με ιδιωτικές εταιρίες και ερευνητικές ομάδες. Έχει περισσότερες εφαρμογές στην τηλεπισκόπηση, καθώς διαθέτει 14 κανάλια (τα περισσότερα εκτός του ορατού φάσματος του φωτός) κατηγοριοποιημένα σε τρεις (3) ομάδες. Στο ορατό εγγύς υπέρυθρο (VNIR), το μικροκυματικό υπέρυθρο (SWIR) και το θερμικό υπέρυθρο (TIR), με ακρίβειες τα 15, 30 και 90 m αντίστοιχα.

Έχει παρατεθεί ήδη (Κεφάλαιο 2.2.2 – Εικόνα 3) γράφημα σύγκρισης του εύρους και διασποράς των καναλιών του ASTER σε σχέση με τον Landsat, για να κατανοήσουμε καλύτερα την έννοια των καναλιών και της κυματικής έκφανσης του φωτός παρατίθεται ακόμη και ο πίνακας φάσματος της ακτινοβολίας.

Πίνακας 7 - ASTER Satellite System Sensor Characteristics (<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/aster.html>)

Launch Date	December, 1999
Launch Location	Vandenberg Air Force Base, California, USA
Orbit Altitude	705 km
Orbit Inclination	98.3°, sun-synchronous
Equator Crossing Time	10:30 AM (north to south)
Orbit Time	98.88 minutes
Revisit Time	16 days
Swath Width	60 km x 60 km
Digitization	VNIR (Visible Near Infrared): 8bit
	SWIR (ShortWave Infrared): 8bit
	TIR (Thermal Infrared): 12bit
Resolution	VNIR: 15 m
	SWIR: 30 m
	TIR: 90 m
Image Bands	VNIR: 1-3
	SWIR: 4-9
	TIR: 10-14

2.6.7 Σύγκριση Δορυφορικών Συστημάτων

Για την καλύτερη αντίληψη της πλειάδας των δορυφορικών συστημάτων που είναι διαθέσιμα για φωτογραμμετρικές εφαρμογές παραθέτουμε παρακάτω συγκριτικούς πίνακες των σημαντικότερων χαρακτηριστικών μέρους των δορυφορικών συστημάτων που έχουμε στην διάθεσή μας.

Πίνακας 8 - Χωρική διακριτική ικανότητα δορυφορικών συστημάτων

Δορυφορικός Δέκτης	Ακρίβεια (Εδαφοψηφίδα)	Πλάτος Κάλυψης
QuickBird II (2001)	Pan: 0.61 m MS: 2.44 m	16.5 km x 16.5 km
IKONOS (1999)	Pan: 1 m MS: 4 m	11.3 km x 11.3 km
OrbView-3 (2003)	Pan: 1 m MS: 4 m	8 km x 8 km
EROS-A1 (2000)	Pan: 1.9 m	13.5 km x 13.5 km
SPOT-5 (2002)	Pan: 5 (2.5) m MS: 10 & 20 m	60 km x 60 km
ResourceSat-I (2003)	Pan: 5 m MS: 5 & 23 m	
IRS-1C (2002)	Pan: 5.8 m MS: 23 m	70 km x 70 km 140 km x 140 km
Aster (1999)	VNIR: 15 m (stereo)	60 km x 60 km
Landsat 7 (1999)	Pan: 15 m (mono) MS: 30 m (mono)	170 km x 183 km
WorldView-1 (2007)	Pan: 15 m	17.6 km x 14 km
GeoEye-1 (2008)	Pan: 0.41 m (0.50 m) MS: 1.65 m	15 km x 15 km

Πίνακας 9 - Βασικά Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Δεκτών

Όνομασία Δορυφορικού Δέκτη		QuickBird	WorldView-1	OrbView-3	IKONOS	SPOT-5
Ημερομηνία Εκτόξευσης		Οκτ. 2001	Σεπτ. 2007	Απρ. 2003	Σεπτ. 1999	Μάρτ. 2002
Γεωμετρική Ανάλυση	Pan:	0.6-0.7 m	0.5 m	1 m	0.8-1 m	5.0 (2.5) m
	MS:	2.4-2.9 m	-	4 m	3.2-4 m	10 m
Στερεοκάλυψη		NAI in-track & cross-track	NAI	NAI	NAI in-track	NAI in-track
Αισθητήρες		Γραμμικός	Γραμμικός		Επιφανειακός	Γραμμικοί (2)

Πίνακας 10 - Παράμετροι Τροχιάς

Όνομασία Δορυφορικού Δέκτη	QuickBird	WorldView-1	OrbView-3	IKONOS	SPOT-5
Ύψος Τροχιάς	450 km	496 km	470 km	681 km	822 km
Ταχύτητα	7.1 km/sec	-	7.5 km/sec	7.1 km/sec	7.4 km/sec
Περίοδος Τροχιάς	93.5 min	94.6 min	90 min	98 min	101 min
Τύπος Τροχιάς	ηλιοσύγχρονη	ηλιοσύγχρονη	πολική	ηλιοσύγχρονη (σχεδόν πολική)	ηλιοσύγχρονη (κυκλική)
Πλάτος Σάρωσης (κατακόρυφη λήψη)	16.5 x 16.5 km ²	17.6x 14 km ²	8 x 8 km ²	11x 11 km ²	60 x 60 km ²

Εντοπισμός

3.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Ο τρόπος λειτουργίας ενός δέκτη παράγει εικόνες κανονικοποιημένης μορφής (raster) οι οποίες δεν παρέχουν άλλη από την εικονιστική πληροφορία. Κατά την διάρκεια και εξέλιξη της φωτογραφίας αναπτύχθηκαν τεχνικές μέτρησης μέσω εικόνων (φωτογραμμετρία) και παροχής πληροφοριών και επισκόπησης (τηλεπισκόπηση).

Λόγω του σύνθετου προβλήματος και της απειρίας των δεδομένων και πράξεων που χρειάζεται να υλοποιηθούν η επεξεργασία εικόνας (image processing) και οι επιστήμες που την χρησιμοποιούν για να αντλήσουν δεδομένα πέρασαν από την αναλογική, στην αναλυτική και μετέπειτα στην ψηφιακή επεξεργασία των δεδομένων.

Κατά τα στάδια αυτά αναπτύχθηκαν τεχνικές αυτοματοποίησης ώστε όλο και περισσότερα προβλήματα να λύνονται με ευκολότερο τρόπο. Ακόμα όμως και στο στάδιο ανάπτυξης που έχουμε φτάσει ο εντοπισμός μορφών, σχημάτων, αντικειμένων ή κτισμάτων εν γένει είναι εξαιρετικά δύσκολο να αυτοματοποιηθεί.

Οι εικόνες που αντλεί ένας δέκτης δεν έχουν άμεσα μία φυσική υπόσταση για αυτόν. Το κάθε εικονοστοιχείο καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία στο φάσμα του ορατού (παγχρωματικό) ή σε τμήματα του ορατού και του υπέρυθρου (πολυφασματικό) ως μία τιμή και όχι ως ένα αντικείμενο.

Αδυνατεί λοιπόν ο δέκτης να αντιληφθεί αυτό που ο άνθρωπος κατάφερε από την στιγμή της γέννησης του και μέσω της εξελικτικής διαδικασίας, να ομαδοποιήσει ένα σύνολο εικονοστοιχείων (pixel) σε μία ομάδα η οποία αποτελεί ένα μοναδιαίο αντικείμενο.

3.2 ΓΙΑΤΙ ΘΕΛΟΥΜΕ ΝΑ ΤΟ ΛΥΣΟΥΜΕ - ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ

Η επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος θα μας δώσει την δυνατότητα να διαχειριζόμαστε δεδομένα στα οποία αντιστοιχούν **ιδιότητες** και όχι **γνωρίσματα**. Ενώ συγχρόνως θα μας απαλλάξει από μία διαδικασία που είναι **χρονοβόρα** και εξαρτάται η **ακρίβεια της από την εκπαίδευση του χρήστη**.

Η φύση των δεδομένων, λοιπόν, είναι τέτοια που δεν επιτρέπει την άμεση επίλυση του προβλήματος. Οι λύσεις στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι προσεγγιστικές ενώ πλήθος σφαλμάτων εισάγονται στην διαδικασία.

3.3 ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Ο εντοπισμός κτισμάτων σε ψηφιακές εικόνες μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, διαφορετικής φιλοσοφίας και είναι ένα αντικείμενο που δεν περιορίζεται στο γνωστικό αντικείμενο του Αγρονόμου & Τοπογράφου Μηχανικού αλλά κάνει

χρήση τεχνολογιών και γνώσεων από ένα ευρύτερο κομμάτι της ακαδημαϊκής κοινότητας με τεχνολογίες που έχουν κυρίως σχέση με τους κλάδους:

- i. Της Φωτογραμμετρίας και της Τηλεπισκόπησης
- ii. Της (ψηφιακής) επεξεργασίας εικόνας (Image Process)
- iii. Της ανάλυσης σημάτων (Signal Process)

Κάνοντας χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών θα προσπαθήσουμε στις παρακάτω γραμμές να αναπτύξουμε τους κυριότερους τρόπους εντοπισμού κτισμάτων ή γενικότερα ανθρώπινων κατασκευών. Θα αναλύσουμε κομμάτια από την θεωρία την οποία ακολουθούν, καθώς και παραλλαγές που έχουν δοκιμαστεί.

Καμία μέθοδος από μόνη της δεν είναι ικανή να ανιχνεύσει – αυτοματοποιημένα – κτίρια, πόσο περισσότερο να τα χαρακτηρίσει αυθαίρετα ή νόμιμα.

Κάθε μέθοδος στηρίζεται σε μία μεθοδολογία η οποία αποδεικνύει στο σύνολο ή εν μέρει ή αποκλείει την πιθανότητα ένα σημείο να μπορεί να χαρακτηριστεί ως φυσική κατασκευή (κτίριο).

Ένα μέρος των μεθόδων που θα αναλυθούν παρακάτω μας δίνει με μεγάλη βεβαιότητα ότι το προς εξέταση σημείο αποτελεί μέρος κτιρίου, ενώ κάποιες άλλες είναι εξαιρετικά χρήσιμες απλώς γιατί το αποκλείουν.

Οι μέθοδοι, λοιπόν, που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό κτισμάτων, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την **κλίμακα εντοπισμού** και την **ακρίβεια εντοπισμού**.

Οι μέθοδοι εντοπισμού ανάλογα με την κλίμακα εντοπισμού κατηγοριοποιούνται σε:

- A. Μικρής κλίμακας
- B. Μεγάλης κλίμακας

Ενώ σε σχέση με τις δυνατότητες εντοπισμού διακρίνονται σε:

- A. Low-level
- B. Mid-level
- C. High-level

Στις **μικρές κλίμακες** ο εντοπισμός δεν γίνεται ανά αντικείμενο (κτίσμα) αλλά ανά περιοχές κτισμάτων. Ο εντοπισμός έχει ουσία στις τηλεπισκοπικές εφαρμογές και χρησιμοποιούνται μέθοδοι εντοπισμού, όπως η κατηγοριοποίηση (classification), οι οποίες είναι σε θέση να διαχωρίσουν οικισμούς από δάση, γεωργικές εκτάσεις, θάλασσα κ.ο.κ. Τα δεδομένα για την εφαρμογή αυτών των τεχνικών είναι εικόνες χαμηλότερης χωρικής ακρίβειας και μεγαλύτερης φασματικής ικανότητας.

Στις **μεγάλες κλίμακες** ο εντοπισμός γίνεται ανά αντικείμενο (κτίσμα) ή περιορισμένου αριθμού ομάδας αντικειμένων (κτισμάτων). Τα δεδομένα σε αυτές τις περιπτώσεις είναι συνήθως αυξημένης χωρικής ακρίβειας (αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης) στα οποία είναι δυνατή η διάκριση των

ορίων ανάμεσα στα ξεχωριστά αντικείμενα (Psaltis & Ioannidis, 2008). Οι φασματικές δυνατότητες του δέκτη βοηθούν και σε αυτή την περίπτωση αλλά δεν είναι πρωταρχικής σημασίας.

Τα ακριβή όρια ενός κτίσματος δεν είναι πάντα εφικτό να διακριθούν από την ανθρώπινη όραση, πόσο μάλλον από έναν αλγόριθμο ή διαδικασία εκμάθησης αναγνώρισης (εντοπισμού) κτισμάτων.

Πολλές φορές η διαδικασία προσεγγίζει τις ανθρώπινες δυνατότητες και περιορίζεται από, περίπου, τα ίδια προβλήματα. Είναι προφανές ότι για δύο ξεχωριστά κτίσματα τα οποία λόγω συνεχούς δόμησης εφάπτονται ούτε η ανθρώπινη όραση ούτε ένα προηγμένος αλγόριθμος ή διαδικασία είναι σε θέση να δώσει αναμφισβήτητα αποτελέσματα.

Η διαδικασία που ακολουθείται έχει στάδια εντοπισμού τα οποία όσο πιο υψηλά και περίπλοκα γίνονται τόσο καλύτερα περιγράφονται τα όρια ενός κτίσματος.

Οι **χαμηλού επιπέδου (low-level)** τεχνικές χρησιμοποιούν μεθόδους εντοπισμού που πολλές φορές είναι αντίστοιχες της μικρής κλίμακας. Η επεξεργασία αναφέρεται στο εικονοστοιχείο αποκλειστικά χωρίς να λαμβάνει υπόψη του την σχέση με το περιβάλλον. Η τεχνικές χαμηλού επιπέδου **προετοιμάζουν** τα δεδομένα για την μετέπειτα αναζήτηση υψηλότερου επιπέδου και οι συνήθεις εφαρμογές τους είναι με τεχνικές αφαίρεσης καναλιών, ραδιομετρικής διόρθωσης ή ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες (PCA). Οι παραπάνω διαδικασίες βελτιώνουν το κανονικοποιημένο δεδομένο και ενισχύουν την αντίθεση των χαρακτηριστικών που απεικονίζονται σε αυτό.

Οι **μέσου επιπέδου (mid-level)** τεχνικές αναφέρονται στο αντικείμενο μελέτης και ελέγχουν την σχέση των εικονοστοιχείων με το περιβάλλον τους. Το αποτέλεσμα τους είναι μία προσεγγιστική επιφάνεια (κηλίδες) η οποία ανάλογα με την ποιότητα των δεδομένων, την χωροταξία της περιοχής και τις εφαρμοζόμενες μεθόδους προσεγγίζει το προς ανίχνευση αντικείμενο μέτρια ή καλύτερα, εντοπίζοντας το είτε με την περιοχή γύρω από αυτό είτε μέρος από αυτό. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική είναι μέσου επιπέδου.

Οι **υψηλού επιπέδου (high-level)** τεχνικές είναι γνωστές και ως **τεχνικές εκμάθησης ή έμπειρα συστήματα** και χρησιμοποιούν προηγμένες μεθόδους που προσπαθούν να προσομοιάσουν την ανθρώπινη αντίληψη. Οι τεχνικές αυτές δεν ελέγχουν μόνο την σχέση των εικονοστοιχείων με το περιβάλλον τους αλλά και των εντοπισμένων κτισμάτων μεταξύ τους. Έχουν καταχωρημένες βάσεις δεδομένων από παλαιότερες εφαρμογές και το αποτέλεσμά τους πλησιάζει το προϊόν ανθρώπινων συνειρμών (Forsyth & Ponce, 2003).

Πέρα από την θεωρητική ταξινόμηση των μεθόδων καλό θα ήταν να δούμε αναλυτικά μερικές από αυτές.

3.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Η ταξινόμηση είναι μία στατιστική μέθοδος ομαδοποίησης των δεδομένων σε κατηγορίες κοινών ραδιομετρικών κατά κύριο λόγο χαρακτηριστικών.

Ο βασικός διαχωρισμός των μεθόδων ταξινόμησης είναι ανάμεσα:

- A. Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, και
- B. Στη μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση διαφέρει από τη μη-επιβλεπόμενη καθώς στη πρώτη απαραίτητο είναι η εισαγωγή στον αλγόριθμο δεδομένων εκπαίδευσης, τα οποία θα αποτελούν πρότυπο κάθε κατηγορίας.

Η επιβλεπόμενη, λοιπόν, ταξινόμηση προσπαθεί να δημιουργήσει κατηγορίες που να προσεγγίζουν τα στατιστικά κριτήρια ενός δείγματος που έχει εισάγει ή ορίζει ή σκοπεύσει πάνω στην εικόνα ο χρήστης, ενώ η μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση δημιουργεί τυχαίες ομογενοποιημένες στατιστικά κατηγορίες οι οποίες εκ των υστέρων αναγνωρίζονται από τον χρήστη.

Στην μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεδομένο εισόδου αποτελεί η αριθμός των επιθυμητών κατηγοριών. Ακόμη υπάρχει η δυνατότητα παρέμβασης από τον χρήστη ως προς τα στατιστικά όρια των κατηγοριών, ανάλογα βέβαια από τον αλγόριθμο επιλογής.

Ενώ, λοιπόν, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση δίνει ως αποτέλεσμα κατηγορίες που αντιστοιχών σε ένα φυσικό γνώρισμα (οικισμός, καλλιέργειες, δάσος κοκ) αντίστοιχο με το γνώρισμα εκπαίδευσης (που έχει εισάγει ο χρήστης ως πρότυπο), η μη-επιβλεπόμενη δίνει αποτελέσματα χωρίς καμία φυσική σημασία.

3.4.1 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Τρεις είναι οι βασικές μέθοδοι με τις οποίες γίνεται η επιλογή της ομάδας κατηγοριοποίησης:

- i. Παραλληλεπιπέδου
- ii. Ελάχιστης Απόστασης
- iii. Μέγιστης Πιθανοφάνειας

Φυσικά δεν είναι οι μοναδικές αλλά πλήθος παραλλαγών εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Κάθε μέθοδος διαφέρει κατά το κριτήριο επιλογής ταξινόμησης των εικονοστοιχείων σε κατηγορίες.

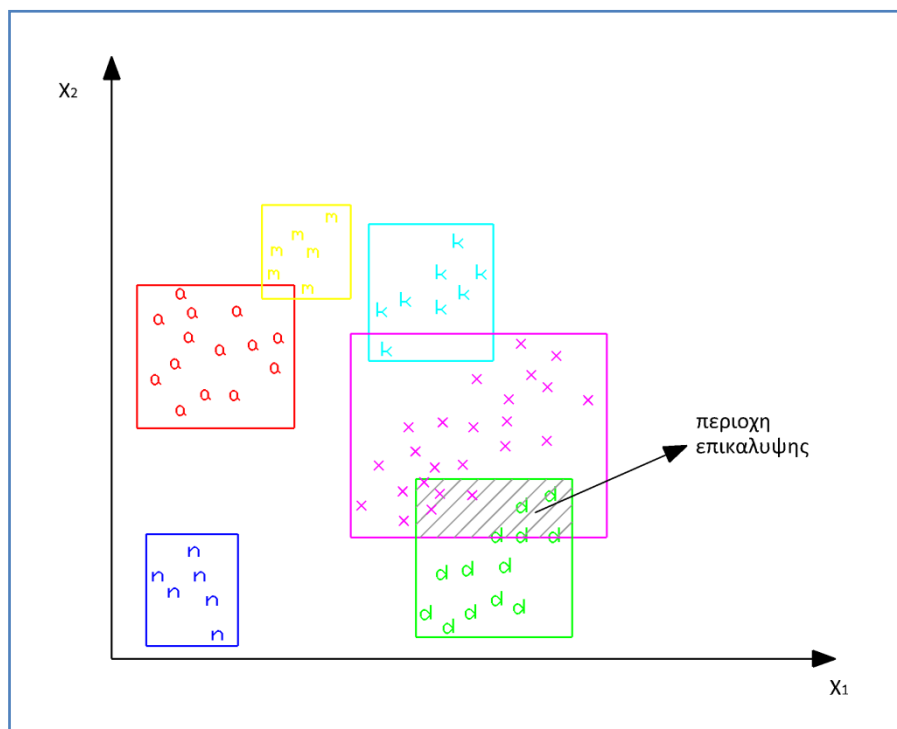
Η **μέθοδος του Παραλληλεπιπέδου** στηρίζεται στον υπολογισμό της μέγιστης και **ελάχιστης** τιμής κάθε τάξης των δεδομένων εκπαίδευσης. Δημιουργεί ένα παραλληλόγραμμο το οποίο περικλείει όλες τις τιμές στο δισδιάστατο διανυσματικό χώρο προτύπων. Εφόσον ένα εικονοστοιχείο ανήκει σε αυτά τα όρια (περιγράφεται από το παραλληλόγραμμο) ανήκει και σε αυτή την κατηγορία.

Στα πλεονεκτήματα του αλγόριθμου συγκαταλέγονται ότι είναι:

- i. απλός,
- ii. ταχύς, και
- iii. απαιτεί ελάχιστη εργασία στην φάση επίβλεψης

Στον αντίποδα, όμως:

- i. δημιουργεί κενά μεταξύ των παραλληλεπιπέδων με κίνδυνο να μείνουν πολλά στοιχεία αταξινόμητα
- ii. δεν λαμβάνει υπόψη τυχόν διαθέσιμες εκ των προτέρων πιθανότητες των θεματικών κατηγοριών
- iii. αδυνατεί να ταξινομήσει σωστά δεδομένα εκπαίδευσης, που δεν έχουν μία συμμετρική απεικόνιση στο δισδιάστατο διάγραμμα, και
- iv. για συσχετιζόμενα δεδομένα εκπαίδευσης υπάρχει επικάλυψη των παραλληλεπιπέδων με αποτέλεσμα να μην μπορούν τα στοιχεία να ταξινομηθούν σωστά

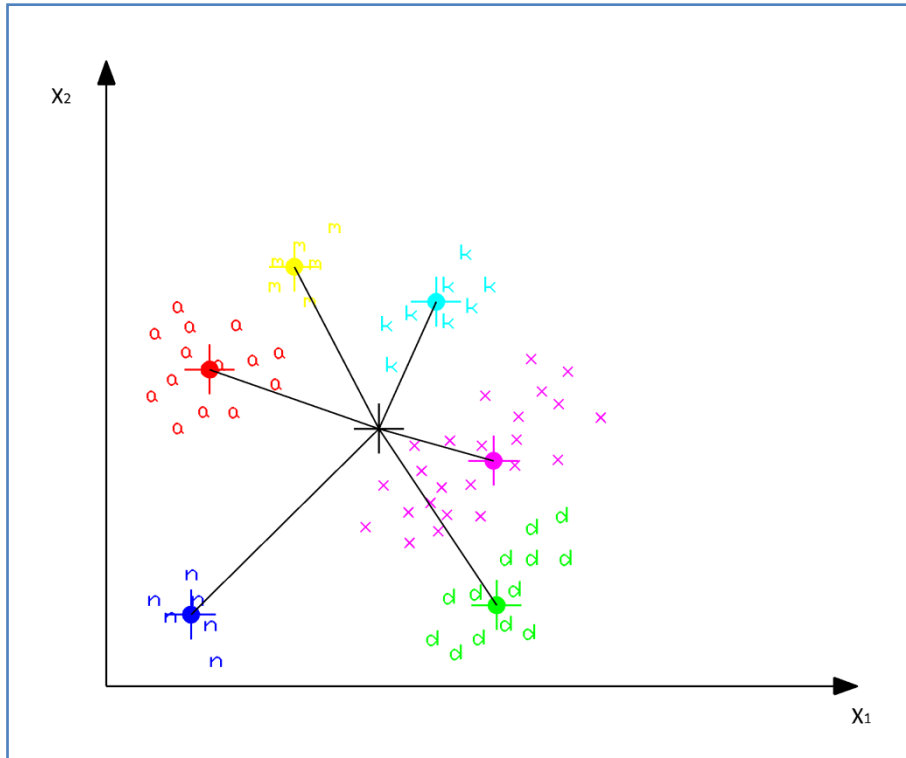


Εικόνα 27 - Γραφική παράσταση της αρχής λειτουργίας του αλγορίθμου του παραλληλεπιπέδου (Αργιαλάς Δ. Π. (1998), Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση)

Η **μέθοδος της ελάχιστης απόστασης** χρησιμοποιεί ως φασματικές υπογραφές της κάθε τάξης τη **μέση τιμή** της και ως κριτήριο ταξινόμησης την **εγγύτερη απόσταση** από τους μέσους. Η μέθοδος αυτή **δεν** λαμβάνει υπόψη την **μεταβλητότητα** και την **συμμεταβλητότητα** των δεδομένων, επομένως το μοντέλο της κάθε τάξης είναι συμμετρικό στο φασματικό χώρο προτύπων.

Ως κατώφλια του αλγορίθμου της ελάχιστης απόστασης ορίζονται οι αποστάσεις από τον μέσο μίας τάξης και ως πολλαπλάσια της τυπικής απόκλισης αυτής της τάξης, και εξασφαλίζουν ότι ένα εικονοστοιχείο κατανέμεται σε μία υποψήφια τάξη όχι μόνο όταν είναι εγγύτερα σε αυτή απ' ό,τι σ' άλλες, αλλά επίσης όταν είναι μέσα στα όρια μίας δεδομένης απόστασης από αυτήν την τάξη.

Ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης, αν και ταχύτατος, δεν αντιπροσωπεύει ικανοποιητικά επιμήκεις διατάξεις του χώρου προτύπων και δεν δημιουργεί παρά μόνο γραμμικές διαχωριστικές επιφάνειες.



Εικόνα 28 - Γραφική παράσταση της αρχής λειτουργίας του αλγορίθμου της ελάχιστης απόστασης παραλληλεπιπέδου (Αργιαλάς Δ. Π. (1998), Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση)

Στη **μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας** κάθε τάξη προσεγγίζεται από το μέσο διάνυσμά της και τη **μεταβλητότητα** και **συμμεταβλητότητα** των δεδομένων και έτσι το μοντέλο της κάθε τάξης είναι μη συμμετρικό στο φασματικό χώρο προτύπων.

Η μέθοδος στηρίζεται στη χρήση του θεωρήματος του Bayes το οποίο εκφράζει τις εκ των υστέρων πιθανότητες των εικονοστοιχείων σε σχέση με τις εκ των προτέρων και δίνεται από τον τύπο:

$$p(\omega_i/x) = p(x/\omega_i) \cdot p(\omega_i)/p(x) \quad (\text{θεώρημα του Bayes})$$

όπου:

$p(\omega_i)$ είναι η πιθανότητα εμφάνισης της θεματικής ενότητας ω_i στην περιοχή της εικόνας. Οι $p(\omega_i)$ καλούνται εκ των προτέρων (a priori) πιθανότητες, μιας και είναι οι πιθανότητες που θα υποθέταμε πριν την ταξινόμηση ενός στοιχείου για την συμμετοχή του σε μία θεματική ενότητα.

$p(\omega_i/x)$ είναι οι εκ των υστέρων (a posteriori) πιθανότητες μίας τάξης σε μία συγκεκριμένη θέση ενός εικονοστοιχείου x

$p(x/\omega_i)$ είναι η υπό συνθήκη πιθανότητα ενός εικονοστοιχείου, δηλαδή η πιθανότητα ενός εικονοστοιχείου από την κατηγορία ω_i , να βρίσκεται στην θέση x του πολυφασματικού διανυσματικού χώρου προτύπων

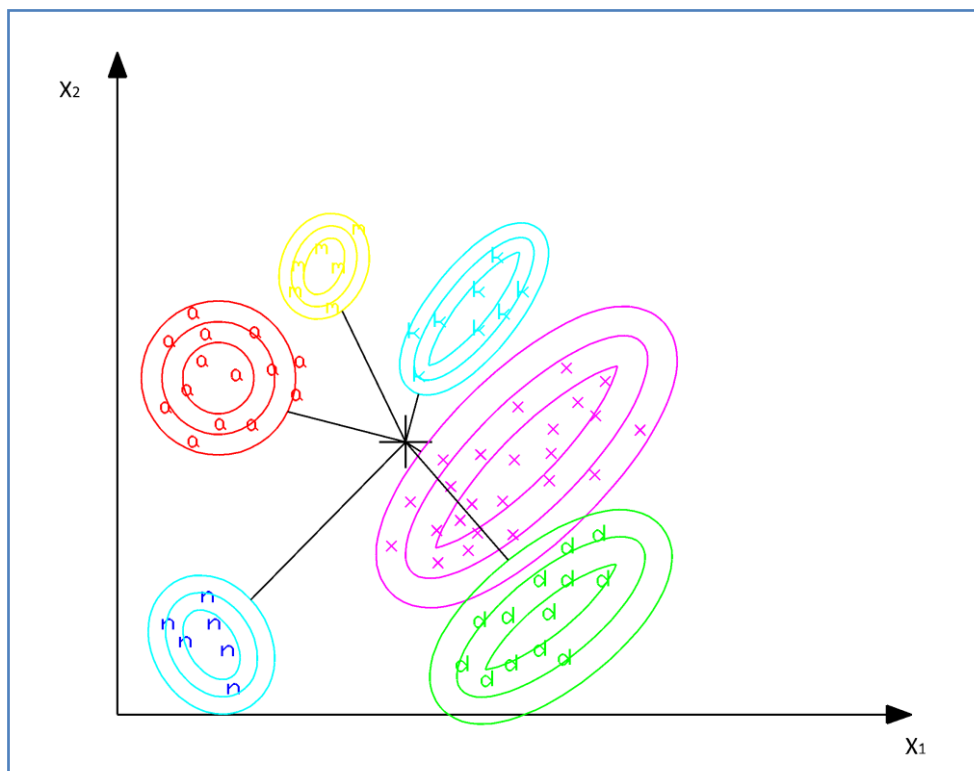
$$p(x/\omega_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} e^{-\frac{(x-m_i)^2}{2\sigma_i^2}}$$

$p(x)$ εκφράζει την πιθανότητα της εμφάνισης ενός εικονοστοιχείου από οποιαδήποτε θεματική ενότητα στην θέση x και δίνεται από την σχέση:

$$p(x) = \sum_{i=1}^N p(x/\omega_i)p(\omega_i)$$

Από τα παραπάνω, και με διαδικασία επίλυσης που δεν είναι θέμα της παρούσας διπλωματικής, καταλήγουμε στην συνάρτηση απόφασης της μέγιστης πιθανοφάνειας για την περίπτωση ενός μονοδιάστατου χώρου προτύπων, η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$g_i(x) = \ln p(\omega_i) - 0.5 \ln \sigma_i^2 - 0.5 (x - m_i)^2 / \sigma_i^2$$



Εικόνα 29 - Γραφική παράσταση της αρχής λειτουργίας του αλγορίθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας παραλληλεπίπεδου (Αργιολιάς Δ. Π. (1998), Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση)

Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας αντιπροσωπεύει καλύτερα μη συμμετρικές τάξεις που χαρακτηρίζονται από επιμήκυνση και στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί σωστά οδηγεί σε ελάχιστο μέσο σφάλμα ταξινόμησης. Ο

κυριότερος περιορισμός του αλγορίθμου της μεγίστης πιθανοφάνειας παρουσιάζεται στην περίπτωση περιορισμένου αριθμού δεδομένων εκπαίδευσης. Η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου εξαρτάται από μία αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια εκτίμησης:

- του μέσου διανύσματος m_i , και
- του πίνακα συμμεταβλητότητας Σ_i για την κάθε φασματική (και θεματική) κατηγορία

Τα βασικά στάδια επεξεργασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι τα εξής:

1. Κατά το πρώτο στάδιο, επιλέγεται ένα σύνολο από εικονοστοιχεία εκπαίδευσης για κάθε φασματική τάξη. Αυτή η επιλογή γίνεται με την εκτέλεση επίγειων ελέγχων και την ερμηνεία αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών λήψεων, χαρτών και άλλων βοηθητικών δεδομένων της περιοχής μελέτης.
2. Κατά το δεύτερο στάδιο, υπολογίζονται τα στατιστικά μεγέθη στα οποία στηρίζεται ο αλγόριθμος
3. Κατά το τρίτο στάδιο, ελέγχεται ποια κατηγορία ικανοποιεί καλύτερα το προς εξέταση εικονοστοιχείο

3.4.2 Μη-Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι η προσέγγιση κατά την οποία τα εικονοστοιχεία μίας εικόνας κατανέμονται σε φασματικές κατηγορίες χωρίς ο χρήστης να έχει εκ των προτέρων γνώση για την ύπαρξη ή ταυτότητα αυτών των κατηγοριών. Ο χρήστης αναγνωρίζει αυτές τις κατηγορίες εκ των υστέρων, συσχετίζοντας ένα δείγμα εικονοστοιχείων από κάθε φασματική ομάδα με διαθέσιμα δεδομένα. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των φασματικών κατηγοριών μίας πολυφασματικής εικόνας και ως μέθοδος ταξινόμησης στην περίπτωση έλλειψης δεδομένων εκπαίδευσης.

Επειδή η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεν απαιτεί την χρήση ζωνών επίγειου ελέγχου, μπορεί να θεωρηθεί ως μία μορφή αυτόματης ταξινόμησης η οποία επιχειρεί διαμέσου μίας επαναληπτικής στατιστικής προσέγγισης να ομαδοποιήσει (συσσωρεύσει) τα εικονοστοιχεία σε προφανείς φυσικές φασματικές κατηγορίες και να υποδείξει τον αριθμό και την θέση τους μέσα στον πολυφασματικό διανυσματικό χώρο προτύπων.

Οι μέθοδοι της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, αν και χρονοβόρες, είναι πολλές φορές αναγκαίες για την ολοκληρωμένη προσέγγιση της ταξινόμησης πολυφασματικών εικόνων, και αυτό διότι:

- συνήθως οι επιδιωκόμενες θεματικές κατηγορίες είναι γνωστές εκ των προτέρων
- οι φασματικές κατηγορίες και ιδιότητες δεν είναι γνωστές

Συνεπώς, η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιείται:

- ως πρώτο βήμα, πριν από την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, για να βοηθήσει στον καθορισμό των υπαρχόντων φασματικών κατηγοριών και των ιδιοτήτων τους, ή
- ως η μόνη εναλλακτική λύση ταξινόμησης όταν δεν υπάρχουν δεδομένα εκπαίδευσης ή για οποιοδήποτε λόγο ο χρήστης δεν μπορεί να διεξάγει το στάδιο επίβλεψης

Η ανάλυση συσσωρεύσεων υποδηλώνει την φυσική ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων μιας πολυφασματικής εικόνας στον χώρο προτύπων. Εικονοστοιχεία που ανήκουν σε μία συγκεκριμένη συσσώρευση φασματικά όμοια. Για να μπορέσουμε να ποσοτικοποιήσουμε αυτή την σχέση είναι αναγκαίο να θεωρήσουμε την έννοια ενός μέτρου φασματικής ομοιότητας.

Τα περισσότερα μέτρα ομοιότητας εκφράζονται από συναρτήσεις απόστασης, διότι ομοιότητα εικονοστοιχείων στον πολυφασματικό χώρο προτύπων υπονοεί την φασματική εγγύτητα των εικονοστοιχείων. Οι πιο γνωστές μορφές απόστασης είναι:

- η απόλυτη διαφορά, και
- η Ευκλείδεια απόσταση

Ακόμη για να εκτιμηθεί η ποιότητα των ομαδοποιήσεων απαιτείται ο ορισμός ενός κατάλληλου κριτηρίου ή μέτρου ποιότητας της ομαδοποίησης. Ένα τέτοιο μέτρο είναι η ελαχιστοποίηση του ολικού τετραγωνικού σφάλματος.

$$OT\Sigma = \sum_{C_i} \sum_{x \in C_i} (x - m_i)^t (x - m_i)$$

3.4.2.1 Αλγόριθμος ανάλυσης συσσωρεύσεων της επαναληπτικής βελτιστοποίησης (ISODATA)

Ο αλγόριθμος ανάλυσης συσσωρεύσεων της επαναληπτικής βελτιστοποίησης, που επίσης καλείται *τεχνική μετακινούμενων μέσων* στηρίζεται στον αλγόριθμο ISODATA που παρουσιάστηκε από τους Ball & Hall (1965). Ο αλγόριθμος αυτός βασίζεται:

- στην εκτίμηση μίας σχετικά καλής αρχικής κατανομής των εικονοστοιχείων σε κάποιες υποψήφιες συσσωρεύσεις, και
- στην κατόπιν τούτου ανακατανομή τους, μεταξύ των συσσωρεύσεων, έτσι ώστε το ολικό τετραγωνικό σφάλμα να βαίνει μειούμενο

Ο αλγόριθμος της επαναληπτικής βελτιστοποίησης υλοποιείται μέσω των ακόλουθων βημάτων:

1. Αρχικοποίηση. Ο αλγόριθμος αρχίζει με την επιλογή του αριθμού των συσσωρεύσεων C , και C σημείων του πολυφασματικού χώρου προτύπων που θα χρησιμεύσουν ως υποψήφια κέντρα συσσώρευσης. Ας ονομάσουμε τα κέντρα των αρχικών συσσωρεύσεων:

$$m_i, i = 1, \dots, C$$

Η επιλογή των κέντρων m , σ' αυτό το στάδιο, είναι αυθαίρετη με την εξαίρεση ότι οποιοδήποτε ζευγάρι δεν μπορεί να αποτελείται από τα αυτά κέντρα.

Είναι σκόπιμο η επιλογή των κέντρων να γίνει κατά τρόπο ομοιόμορφο μέσα από τα δεδομένα έτσι ώστε (α) να αποφευχθεί η δημιουργία ανωμάτων συσσωρεύσεων και (β) να συντομευθεί η σύγκλιση του αλγόριθμου.

2. Η θέση x του κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας εξετάζεται και το εικονοστοιχείο αποδίδεται στην εγγύτερη υποψήφια συσώρευση. Ο εγγύτερος γείτονας βρίσκεται με βάση την Ευκλείδεια απόσταση ή την απόλυτη διαφορά των κέντρων.
3. Υπολογίζονται τα κέντρα (μέσοι) των νέων συσσωρεύσεων. Ας τα ονομάσουμε:

$$M_i, i = 1, \dots, C$$

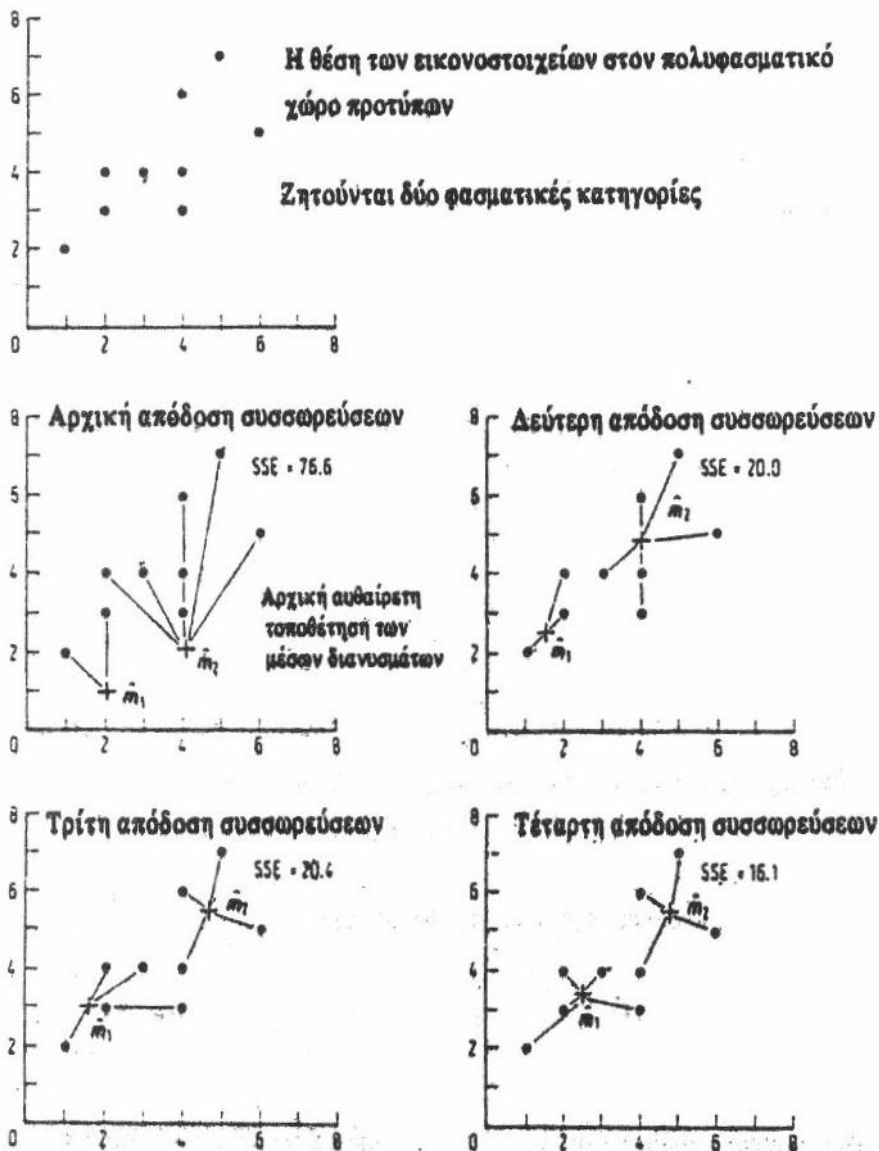
4. Αν $m_i = M_i$, για κάθε i , ο αλγόριθμος τερματίζεται. Αλλιώς τα m_i επαναπροσδιορίζονται με τις νέες τιμές των M_i και ο αλγόριθμος επιστρέφει στο βήμα 2.

Μία απλή μορφή του αλγορίθμου ISODATA δίνεται στην Εικόνα 30.

Κάτω από ορισμένες συνθήκες, δημιουργείται η ανάγκη για συγχώνευση ή διαγραφή συσσωρεύσεων. Τέτοιες συνθήκες παρουσιάζονται όταν:

1. κάποιες συσσωρεύσεις περιέχουν τόσο λίγα εικονοστοιχεία ώστε να μην έχουν πλέον νόημα ή να μην μπορούν να δώσουν αποδεκτά στατιστικά μεγέθη, ή
2. κάποιες συσσωρεύσεις να είναι τόσο κοντά η μία στην άλλη στον πολυφασματικό διανυσματικό χώρο προτύπων ώστε να αντιπροσωπεύουν μία άσκοπη και πιθανά χωρίς νόημα κατανομή των δεδομένων

Επίσης, κάτω από διαφορετικές συνθήκες, είναι πιθανό να υπάρχει η ανάγκη για τεμαχισμό δημιουργηθέντων μακρόστενων (μη συμμετρικών) συσσωρεύσεων με χρήση κατωφλίων επί της τυπικής απόκλισης.



Εικόνα 30 - Σταδιακή απεικόνιση των σταδίων του αλγορίθμου ISODATA (Αργιαλάς Δ. Π. (1998), Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση)

3.4.2.2 Ο αλγόριθμος μίας διέλευσης

Ο αλγόριθμος μίας διέλευσης στηρίζεται στην ιδέα ότι δεν είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθεί ολόκληρη η προς μελέτη περιοχή για την δημιουργία των κέντρων των συσσωρεύσεων, αλλά αντί αυτής, για ελάττωση του κόστους επεξεργασίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα τυχαία επιλεγμένο δείγμα.

Ο αλγόριθμος μίας διέλευσης περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. Αρχικοποίηση με βάση την πρώτη γραμμή. Η πρώτη γραμμή του πίνακα, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ότι υποδηλώνει ένα τυχαίο δείγμα, χρησιμοποιείται για την δημιουργία του αρχικού συνόλου των κέντρων των συσσωρεύσεων.

- A. Η διαδικασία αρχίζει θεωρώντας το πρώτο δείγμα ως το κέντρο της πρώτης συσσώρευσης
 - B. Αν το δεύτερο δείγμα της πρώτης γραμμής βρίσκεται μακρύτερα του πρώτου κατά μία κρίσιμη απόσταση, οριζόμενη από τον χρήστη, τότε χρησιμοποιείται για να ιδρύσει ένα καινούριο κέντρο συσσώρευσης
 - C. Στην αντίθετη περίπτωση τα δύο δείγματα θεωρείται ότι ανήκουν στην ίδια συσσώρευση και η μέση τιμή του θεωρείται ως το νέο κέντρο συσσώρευσης
 - D. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε στοιχείο της πρώτης γραμμής
2. Επεξεργασία πέραν της πρώτης γραμμής
- A. Υπολογίζονται οι τυπικές αποκλίσεις των δημιουργηθέντων συσσωρεύσεων
 - B. Κάθε δείγμα των επόμενων γραμμών ελέγχεται ώστε να βρεθεί σε ποια συσσώρευση είναι πλησιέστερο
 - C. Για την συσσώρευση στην οποία βρίσκεται πλησιέστερα ελέγχεται επιπρόσθετα το κατά πόσο βρίσκεται πλησιέστερα επιπρόσθετα το κατά πόσο βρίσκεται εντός απόστασης μικρότερης ενός πολλαπλάσιου της τυπικής απόκλισης της, οριζόμενο από τον χρήστη, στην οποία περίπτωση αποδίδεται σ' αυτή την συσσώρευση και επαναπροσδιορίζονται τα στατιστικά μεγέθη της συσσώρευσης
 - D. Όταν βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από το δοσμένο πολλαπλάσιο της τυπικής απόκλισης, τότε χρησιμοποιείται για την ίδρυση ενός καινούριου κέντρου, στο οποίο αποδίδεται μία κάποια τυπική απόκλιση
3. Κατ' αυτόν τον τρόπο όλα τα δείγματα αποδίδονται σε μία συσσώρευση και οι τυχόν συσσωρεύσεις που έχουν ένα βαθμό εικονοστοιχείων μικρότερο ενός κρίσιμου αριθμού, δοσμένο από τον χρήστη παραλείπονται
4. Για να παραχθεί ένας χάρτης φασματικών ομάδων για ολόκληρη την αρχική περιοχή μελέτης, όλα της τα εικονοστοιχεία εξετάζονται ένα ένα ώστε να βρεθεί σε ποια συσσώρευση είναι πλησιέστερα, με χρήση του αλγορίθμου της ελάχιστης Ευκλείδειας απόστασης, και κατόπιν τους αποδίδεται το κατάλληλο σύμβολο (κατηγοριοποιούνται σε μία από τις ομάδες)
5. Στην περίπτωση που κάποιο εικονοστοιχείο δεν συμβιβάζεται με τα παραπάνω κριτήρια του αποδίδεται το σύμβολο της άγνωστης ομάδας

Η μέθοδος της μίας διέλευσης έχει πλεονέκτημα έναντι του αλγορίθμου ISODATA, την ταχύτητα των υπολογισμών που οφείλεται κυρίως στο ότι έχει την δυνατότητα να δημιουργεί κέντρα συσσωρεύσεων καθώς εξελίσσεται.

Όμως, ταυτόχρονα με αυτό το πλεονέκτημά της, έχει και τα εξής μειονεκτήματα:

- Ο χρήστης χρειάζεται να έχει σαφή ιδέα για τις παραμέτρους που απαιτούνται για την εκτέλεση του αλγορίθμου

- Πρέπει να έχει γνώση του πολλαπλασιαστή της τυπικής απόκλισης που θα χρησιμοποιηθεί ως όριο για την συμμετοχή ή μη, ενός εικονοστοιχείου του δείγματος από την πρώτη γραμμή και μετέπειτα, σε κάποιο από τα υπάρχοντα κέντρα συσσωρεύσεων
- Εξαρτάται από την πρώτη γραμμή του δείγματος που θα αρχίσει την διαδικασία της ανάλυσης των συσσωρεύσεων

(Αργιαλάς, 1998)

3.5 ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ

Η κατωφλίωση επιτρέπει την παραγωγή μιας δίτιμης εικόνας (bitonal image), που αποτελείται μόνο από τιμές φωτεινότητας 0 και 1, από μια ασπρόμαυρη εικόνα. Αυτό γίνεται με τη χρήση του «κατωφλίου» δηλαδή μιας τιμής που επιλέγεται μεταξύ του 0 και 255. Όσα εικονοστοιχεία έχουν τιμή κάτω από το κατώφλι μηδενίζονται. Αντίστοιχα όσα έχουν πάνω από αυτό λαμβάνουν ως νέα τιμή το 1 (Schenk, 1999).

3.6 ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ

3.6.1 Ψηφιακά Μοντέλα Υψομέτρου (DEM)

Οι ανθρώπινες κατασκευές μεταβάλλουν το φυσικό γήινο ανάγλυφο με την μορφή τους. Ο τρισδιάστατος όγκος των κτιρίων και η μεταβολή τους – ανάπτυξή τους στον χρόνο μεταβάλλουν το ανάγλυφο.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος περιγραφής της υψομετρικής πληροφορίας του αναγλύφου μίας περιοχής, πλην των αναλογικών ισοϋψών καμπυλών είναι τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρου (DEM) που διακρίνονται σε δύο τύπους:

- a) Τα Ψηφιακά Μοντέλο Εδάφους (DTM), και
- b) Τα Ψηφιακά Μοντέλα Επιφανείας (DSM) διαφόρων χρονικών περιόδων

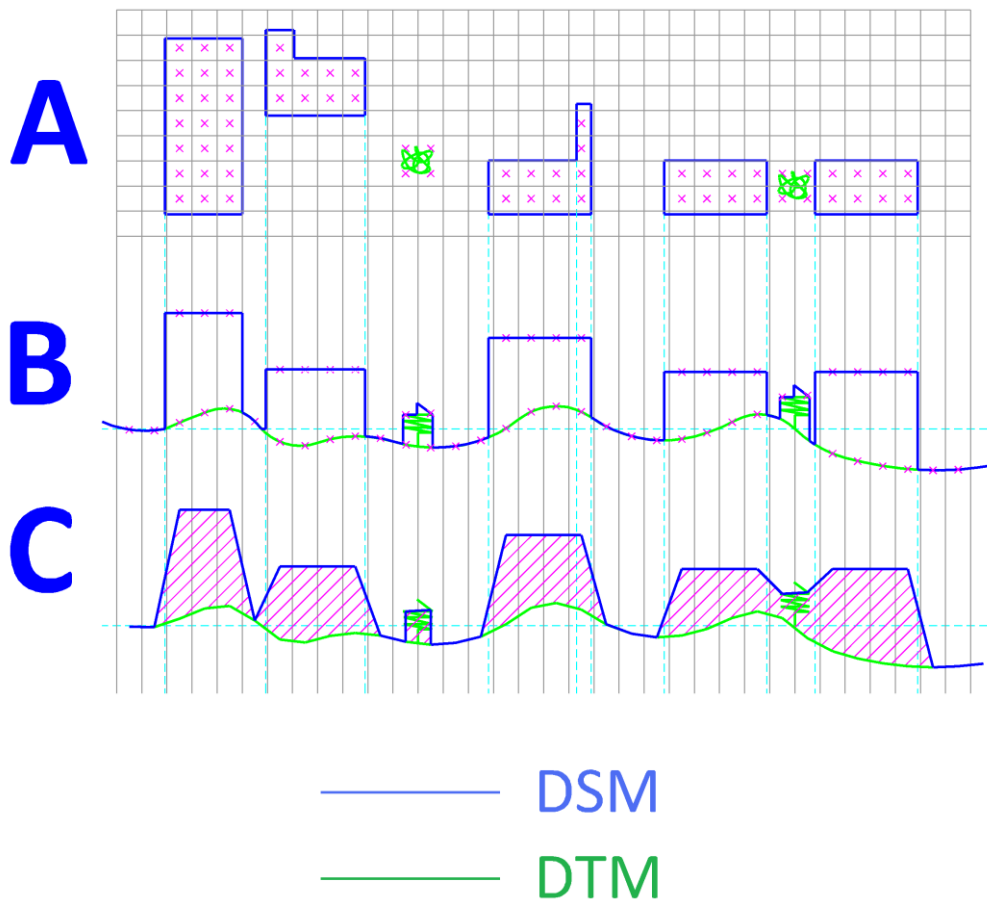
Τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρου (DEM) είναι μία ψηφιακή αναπαράσταση της υψομετρικής πληροφορίας του εδάφους που μπορεί να αναπαριστάται είτε από ένα πλέγμα σημείων είτε από ένα ακανόνιστο δίκτυο τριγώνων (TIN).

3.6.2 Διαφορές μεταξύ DTM και DSM

Η κύρια έκφραση του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρου (DEM) είναι τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DTM) τα οποία αναπαριστούν την επιφάνεια του εδάφους απαλλαγμένη από την βλάστηση και τις κατασκευές που εκτείνονται πάνω από αυτό.

Στον αντίποδα υπάρχουν τα ψηφιακά μοντέλα επιφανείας (DSM) τα οποία περιλαμβάνουν κτίσματα, γέφυρες, βλάστηση στην υψομετρική πληροφορία που φέρουν.

Η διαφορές απεικονίζονται στην Εικόνα 31.



Εικόνα 31 - Διαφορές DSM - DTM

3.6.3 Υψομετρική Παρεμβολή

Η παρεμβολή σε ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM) είναι η διαδικασία υπολογισμού των υψομέτρων μίας επιφάνειας από τις μετρήσεις που έγιναν μέσα στη γειτονική περιοχή ή την γενικότερη περιοχή.

Μέθοδοι παρεμβολής σε ένα ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται:

- Υπολογισμός του υψομέτρου σε ένα τυχαίο σημείο της επιφάνειας
- Υπολογισμός των υψομέτρων των κορυφών τετραγωνικού καννάβου από τα σημεία γνωστών υψομέτρων
- Προσδιορισμός του υψομέτρου από υπάρχουσες ισοϋψείς καμπύλες
- Υπολογισμός του υψομέτρου σε ένα νέο κάνναβο (επανασύσταση)

Καμία τεχνική παρεμβολής δεν μπορεί να θεωρηθεί ανώτερη από τις υπόλοιπες και άρα η καταλληλότερη για όλες τις εφαρμογές. Τα κριτήρια με βάση τα οποία μπορούμε να επιλέξουμε μία μέθοδο παρεμβολής DEM είναι:

1. Ο βαθμός στον οποίο τα τοπικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα πρέπει να ληφθούν υπόψη

2. Η συνάρτηση παρεμβολής να μπορεί να προσαρμοστεί στον ποικίλο χαρακτήρα της περιοχής
3. Οι αλγόριθμοι παρεμβολής που θα χρησιμοποιήσουμε πρέπει να προσαρμοστούν στον χαρακτήρα των δεδομένων-παρατηρήσεων (τύπος, ακρίβεια, σημασία κλπ), όπως και στην μορφή του ψηφιακού μοντέλου (δηλαδή ορθογωνικός κάρναβος κλπ)
4. Ο επιθυμητός βαθμός ακρίβειας και το υπολογιστικό κόστος (χρόνος επεξεργασία στον Η/Υ)

Γενικά υπάρχουν δύο κατηγορίες τεχνικών για την παρεμβολή υψομέτρου σημείων σε μία επιφάνεια από τις αρχικές παρατηρήσεις, η «συνολική προσαρμογή» (Global Fit) και η «τοπική παρεμβολή» (Local Fit). Η πρώτη υπολογίζει μία ενιαία συνάρτηση για την περιγραφή μίας επιφάνειας και η οποία καλύπτει ολόκληρη την περιοχή ενώ η δεύτερη υπολογίζει την επιφάνεια στους διαδοχικούς κόμβους του πλέγματος βασιζόμενη σε μία επιλογή των κοντινότερων σημείων.

Η **μέθοδος συνολικής προσαρμογής** χρησιμοποιεί μία επιφάνεια παρεμβολής που θεωρούμε ότι προσεγγίζει την φυσική επιφάνεια. Η μέθοδος βασίζεται στον προσδιορισμό ενός πολυωνύμου που θεωρούμε ότι προσεγγίζει βέλτιστα την πραγματική επιφάνεια με βάση το κριτήριο των ελαχίστων τετραγώνων. Το πολυώνυμο παρεμβολής μπορεί να επεκταθεί σε οποιοδήποτε επιθυμητό βαθμό, αν και πρακτικά υπάρχουν όρια που εξαρτώνται από τα σφάλματα λόγω στρογγυλοποίησης και της διακριτικής ικανότητας του πλέγματος. Οι άγνωστοι συντελεστές υπολογίζονται από την επίλυση ενός συστήματος γραμμικών εξισώσεων με την χρήση ελαχίστων τετραγώνων. Με βάση τους συντελεστές του πολυωνύμου που υπολογίσαμε, στην συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε το υψόμετρο σε οποιοδήποτε σημείο μέσα στην περιοχή του πλέγματος.

Η μέθοδος χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου δεν ενδιαφέρουν οι τοπικές διακυμάνσεις και έχει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζονται στο πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 11 - Πλεονεκτήματα & μειονεκτήματα παρεμβολής επιφανείας

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
<ul style="list-style-type: none"> • Παραγωγή μίας συνολικής επιφάνειας • Γρήγορος προγραμματισμός • Αποδοτική σε περιπτώσεις ομαλής επιφάνειας 	<ul style="list-style-type: none"> • Η πολυωνυμική επιφάνεια αποτελεί μία απλοποιημένη μορφή της φυσικής επιφάνειας • Δεν δίνει καλή ακρίβεια τοπικά • Δεν δίνει αξιόπιστες τιμές στα άκρα της επιφάνειας • Η επίτευξη καλής ακρίβειας απαιτεί πολυώνυμο μεγάλου βαθμού με συνέπεια μεγάλο υπολογιστικό κόστος

Για τον υπολογισμό της επιφάνειας παρεμβολής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε:

- i. μία γραμμική συνάρτηση

$$z(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y$$

- ii. ένα πολυώνυμο παρεμβολής δεύτερης τάξεως

$$z(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2$$

- iii. ένα πολυώνυμο παρεμβολής μεγαλύτερης τάξεως

Στην περίπτωση, την οποία χρησιμοποιήσουμε μία γραμμική συνάρτηση παρεμβολής το σύστημα των εξισώσεων που προκύπτει με βάση το κριτήριο των ελαχίστων τετραγώνων σε μορφή πινάκων είναι (όπου n ο αριθμός των σημείων):

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n y_i^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n z_i \\ \sum_{i=1}^n x_i z_i \\ \sum_{i=1}^n y_i z_i \end{bmatrix}$$

Οι μέθοδοι τοπικής παρεμβολής, αντίθετα με τις παραπάνω μεθόδους, χρησιμοποιούν τις πληροφορίες από τα κοντινότερα σημεία για τον υπολογισμό των ενδιάμεσων τιμών και ακολουθούν την παρακάτω λογική:

1. Καθορισμός της περιοχής ή της γειτονιάς αναζήτησης γύρω από το σημείο παρεμβολής
2. Εύρεση των σημείων – στοιχείων μέσα σε αυτή την γειτονιά
3. Επιλογή του μαθηματικού προτύπου που θα αντιπροσωπεύσει την μορφή πέρα από αυτόν τον περιορισμένο αριθμό σημείων

Οι μέθοδοι τοπικής παρεμβολής που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ανάλογα με την μορφή των δεδομένων, στα ψηφιακά μοντέλα είναι:

Πίνακας 12 - Μέθοδοι τοπικής παρεμβολής

Παρεμβολή σε δεδομένα TIN	Παρεμβολή σε ορθογωνικό κάναβο
<ul style="list-style-type: none"> • Γραμμική παρεμβολή • Παρεμβολή με επιφάνεια 2^{ης} τάξης • Παρεμβολή με επιφάνεια 5^{ης} τάξης (σε εξαιρετικές περιπτώσεις) 	<ul style="list-style-type: none"> • Παρεμβολή εγγύτερου γειτονικού σημείου • Γραμμική Παρεμβολή • Διγραμμική Παρεμβολή • Δικυβική Παρεμβολή • Παρεμβολή με χρήση συναρτήσεως βάρους

Ο αλγόριθμος της παρεμβολής του **εγγύτερου γειτονικού σημείου** βασίζεται στην αρχή ότι η τιμή του ενδιαμέσου σημείου είναι ίση με την τιμή της κοντινότερης κορυφής του πλέγματος εισόδου. Στην πραγματικότητα δεν εκτελείται καμία πραγματική παρεμβολή. Η μέθοδος χρησιμοποιείται στη περίπτωση που δεν θέλουμε να αλλάξουμε τις τιμές των σημείων εισόδου.

Χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ότι:

- Εφαρμόζεται σε διακριτές και συνεχείς οντότητες
- Είναι ιδιαίτερα γρήγορη
- Το μέγιστο (χωρικό) σφάλμα είναι το ήμισυ της διάστασης του φατνίου

Στην **γραμμική παρεμβολή** το υψόμετρο του ενδιαμέσου σημείου προκύπτει από την εφαρμογή της παρεμβολής σε τρία γνωστά σημεία του καννάβου. Ολόκληρη η περιοχή υποδιαιρείται σε τρίγωνα και το υψόμετρο υπολογίζεται με βάση τον αλγόριθμο:

1. Εύρεση του καννάβου που βρίσκεται το ενδιαμέσο σημείων και των τεσσάρων κορυφών του πλέγματος
2. Υπολογισμός των αποστάσεων s και t

$$s = \frac{x - x_i}{\Delta x} \text{ και } t = \frac{y - y_i}{\Delta y}$$

όπου Δx , Δy η ισοδιάσταση κατά x και y αντίστοιχα

3. Προσδιορισμός του τριγώνου μέσα στο οποίο βρίσκεται το σημείο:

$$\text{Υπολογισμός του: } \delta = \begin{cases} 1 & \text{αν } s \leq t \\ 0 & \text{αν } s > t \end{cases}$$

4. Υπολογισμός του υψομέτρου από την συνάρτηση

$$z(x, y) = \delta \{z_1 + (z_3 - z_2) \cdot s + (z_2 - z_1) \cdot t\} + (1 - \delta) \{z_1 + (z_4 - z_1) \cdot s + (z_3 - z_4) \cdot t\}$$

Η μέθοδος της **διγραμμικής παρεμβολής** χρησιμοποιεί τα τέσσερα κοντινότερα σημεία του καννάβου ακολουθώντας τον αλγόριθμο:

1. Εύρεση του καννάβου που βρίσκεται το ενδιαμέσο σημείων και των τεσσάρων κορυφών του πλέγματος
2. Υπολογισμός των αποστάσεων s και t

$$s = \frac{x - x_i}{\Delta x} \text{ και } t = \frac{y - y_i}{\Delta y}$$

όπου Δx , Δy η ισοδιάσταση κατά x και y αντίστοιχα

3. Υπολογισμός του υψομέτρου από την εξίσωση της διγραμμικής παρεμβολής:

$$z(x, y) = (1 - s) \cdot (1 - t) \cdot z_1 + (1 - s) \cdot t \cdot z_2 + s \cdot t \cdot z_3 + s \cdot (1 - t) \cdot z_4$$

Χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ότι:

- Λαμβάνει υπόψη τις τιμές των τεσσάρων πλησιέστερων φατνίων σε συνάρτηση με συντελεστή βάρους την απόσταση
- Εφαρμόζεται μόνο σε συνεχείς οντότητες
- Απαιτεί περισσότερο υπολογιστικό χρόνο
- Έχει ως αποτέλεσμα την εξομάλυνση των δεδομένων

Η **δικυβική παρεμβολή** υπολογίζει το υψόμετρο του ενδιαμέσου σημείου από τα υψόμετρα των 16 κοντινότερων σημείων του πλέγματος εισόδου. Η μορφή του εξαγόμενου ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων εξαρτάται από την μορφή της συνάρτησης παρεμβολής που θα χρησιμοποιήσουμε. Η χρησιμοποίηση μίας ομαλής καμπύλης και μίας μεγαλύτερης γειτονιάς δίνει στην δικυβική παρεμβολή μία τάση να εξομαλύνει τα υψόμετρα, και μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να οδηγήσει τις τιμές του πλέγματος εξόδου να είναι έξω από την σειρά των τιμών στο πλέγμα εισόδου.

Χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ότι:

- Λαμβάνει υπόψη τις τιμές των δεκαέξι πλησιέστερων φατνίων σε συνάρτηση με συντελεστή βάρους την απόσταση
- Εφαρμόζεται μόνο σε συνεχείς οντότητες
- Είναι η πλέον απαιτητική σε υπολογισμούς και χρονοβόρα μέθοδος

(Κατσουγιαννόπουλος, 2003)

3.6.4 Η σημασία του βήματος του κανάβου

Η ανθρώπινη όραση χρησιμοποιεί αναλογικό τρόπο αντίληψης του χώρου, υπολογίζει δηλαδή την θέση κάθε αντικείμενου χρησιμοποιώντας άπειρα σημεία. Αντίθετα ο ψηφιακός τρόπος απεικόνισης είναι τετριμμένος και χρησιμοποιείται συγκεκριμένος αριθμός σημείων για να περιγραφεί το κάθε αντικείμενο.

Το ίδιο συμβαίνει και με την περιγραφή της υψομετρικής πληροφορίας με την χρήση κανάβων με υψόμετρα. Όσο πιο πυκνός είναι ο κανάβος τόσο καλύτερα περιγράφεται και υψομετρική πληροφορία.

Όσο πιστός και αν είναι ο υψομετρικός κανάβος δεν θα μπορεί σε καμία περίπτωση να αποδώσει άριστα την περιοχή μελέτης.

Στην Εικόνα 32 παρουσιάζεται η διαφορά ανάμεσα στο DSM και το DTM, καθώς και η επίδραση που έχει το βήμα κανάβου στην υψομετρική πληροφορία:

A. Η κάτοψη της περιοχής

Εμφανίζεται η περιοχή κατόπτευσης και οι κορυφές των σημείων του υψομετρικού κανάβου που «χτυπάνε» σε σημεία ενδιαφέροντος, δηλαδή σε σημεία όπου υπάρχει διαφορά ανάμεσα στο DSM και το DTM (κτίσματα, βλάστηση, κοκ).

B. Η τομή

Η ιδεατή τομή όπως είναι στην πραγματικότητα, καθώς και τα σημεία τομής του υψομετρικού καννάβου πάνω στην επιφάνεια του DSM και του DTM.

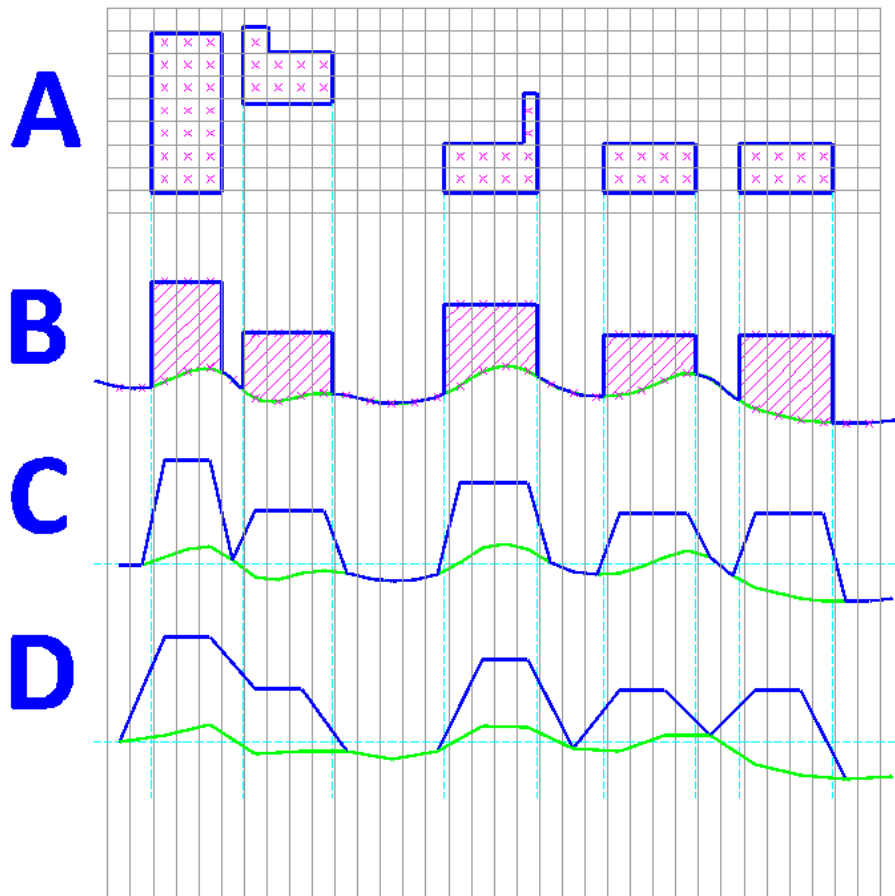
C. Η τομή βάση του βήματος (x) της περιοχής

Επειδή όπως εξηγήσαμε τα σημεία του καννάβου είναι περιορισμένα, η υψομετρική πληροφορία που αντιλαμβάνεται το σύστημα είναι αυτή στις κορυφές του καννάβου, είτε αυτές αντιστοιχούν στο έδαφος είτε στην οροφή ενός κτίσματος κοκ. Για τα ενδιάμεσα σημεία θα πρέπει να υπολογιστεί η τιμή του υψομέτρου με μία από τις μεθόδους παρεμβολής. Επομένως η τομή που «αντιλαμβάνεται» ο αλγόριθμος είναι μία τεθλασμένη γραμμή που ενώνει μεταξύ τους, τα σημεία τομής των κορυφών του καννάβου με την επιφάνεια απεικόνισης.

D. Η τομή της περιοχής με βήμα 2x

Η τομή της περιοχής μετασχηματίζεται στην περίπτωση που η υψομετρική πληροφορία δίνεται ανά $2x$ m (το οποίο μεταφράζεται στο $\frac{1}{4}$ της υψομετρικής πληροφορίας), όπου εδώ σχεδιαστικά το $2x = 6$ m

Σημ.: Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το DSM και πράσινο το DTM.



Εικόνα 32 - Η σημασία του βήματος του κανάβου στα DEM

3.6.5 Αρχή Λειτουργίας Μεθόδου

Η διαφορά μεταξύ των DSM και DTM δίνει και τα σημεία υψομετρικής διαφοράς και πιθανής εμφάνισης κτισμάτων (γραμμοσκιασμένο τμήμα στη Εικόνα 32). Εκτός από τα κτίσματα, όμως, υψομετρικές διαφορές μπορεί να οφείλονται και σε άλλα στοιχεία, όπως η βλάστηση.

Βασικός, λοιπόν, τρόπος ανίχνευσης πιθανών θέσεων κτιρίων είναι η εύρεση των θέσεων όπου υπάρχει μεταβολή ανάμεσα στο DSM και το DTM ή εναλλακτικά μπορούμε να βρούμε στοιχεία ανάπτυξης – μεταβολής ανάμεσα σε διαφορετικές περιόδους, συγκρίνοντας τα DTM των αντίστοιχων περιόδων μεταξύ τους.

Ακόμη ανίχνευση μπορούμε να επιτύχουμε και από ένα DSM συγκρίνοντας την θέση (υψομετρική διαφορά) κάθε σημείου με τα γειτονικά του. Η μέθοδος αυτή υπολογίζει κλίσεις ανάμεσα σε διαδοχικά σημεία και όταν η κλίση είναι αρκετά μεγαλύτερη από ένα όριο θεωρεί ότι δεν οφείλεται σε φυσικό φαινόμενο. Βέβαια ένα τέτοιος υπολογισμός είναι λιγότερο ακριβής, καθώς χρησιμοποιεί τα μισά δεδομένα.

Οι παραλλαγές της μεθόδου δεν περιορίζεται στα παραπάνω.

Η μέθοδος αυτή δίνει απλά και άμεσα αποτελέσματα, όμως δεν περιορίζεται στην ανίχνευση μόνο των κτιρίων, αφού υψομετρική αιχμή (ανωμαλία) εντοπίζεται γύρω από κάθε αντικείμενο που έχει διακριτή υψομετρική διάσταση, όπως π.χ. δέντρα.

Ακόμη θα πρέπει ως είσοδος (δεδομένα) στην παραπάνω μέθοδο να δοθούν μοντέλα τέτοιας ακρίβειας στην οποία να διακρίνονται τα προς αναζήτηση κτίρια. Επομένως η μέθοδος εντοπισμού μέσω της υψομετρικής διαφοράς εξαρτάται κατά πολύ από το πόσο πυκνός και ακριβής είναι ο υψομετρικός κάρναβος καθώς και πόσο καλά έχουν συσχετιστεί οι δύο κάρναβοι αναφοράς μεταξύ τους.

3.6.6 Πηγές Υψομετρικής Πληροφορίας

Δυνατότητα υψομετρική πληροφορία μπορούμε να έχουμε με διάφορες διαδικασίες και πηγές. Αναφέρουμε μερικές από αυτές ενδεικτικά. Παραθέτουμε ακόμη και μερικές πληροφορίες που θα βοηθήσουν στην επιλογή τους κατά την διάρκεια της εφαρμογής.

Μερικές από τις σημαντικότερες πηγές υψομετρικής πληροφορίας είναι:

- i. DTM από στερεοσκοπικές λήψεις μέσω της φωτογραμμετρικής διαδικασίας, είτε αυτές προέρχονται από αεροφωτογραφήσεις είτε από δορυφορικούς δέκτες με δυνατότητα στερεοσκοπική λήψης (βλ. Κεφάλαιο 2.6 ΣΥΝΗΘΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ)
- ii. Τοπογραφικές αποτυπώσεις ή χάρτες
- iii. Συστήματα Lidar
- iv. Εικόνες RADAR – SAR

Κάθε πηγή υψομετρικής πληροφορίας μας παρέχει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Πίνακας 13 - Πλεονεκτήματα & μειονεκτήματα πηγών υψομετρικής πληροφορίας

	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΛΗΨΕΙΣ	<ul style="list-style-type: none"> • Σχετικά καλές ακρίβειες • Πλήθος δεδομένων σε περιοχές και χρονικές περιόδους 	<ul style="list-style-type: none"> • Ακριβά δεδομένα • Ανάγκη επεξεργασίας των δεδομένων
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλη ακρίβεια • Δυνατότητα επιλογής σημείων 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλος χρόνος για την συλλογή • Υψηλό κόστος για μεγάλης έκτασης περιοχές • Μη μαζικότητα μεθόδου
ΧΑΡΤΕΣ	<ul style="list-style-type: none"> • Οικονομικά δεδομένα • Κάλυψη ολόκληρης της Ελλάδας 	<ul style="list-style-type: none"> • Χαμηλή ακρίβεια • Αναλογικά δεδομένα • Μη ενημερωμένη πληροφορία
LIDAR	<ul style="list-style-type: none"> • Εξαιρετική ακρίβεια 	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλό κόστος εξοπλισμού και λήψης δεδομένων • Μικρή διαθεσιμότητα για τον ελληνικό χώρο
SAR	<ul style="list-style-type: none"> • Μεσαία ή χαμηλή ακρίβεια 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλο κόστος • Μικρή διαθεσιμότητα • Κατανόηση δομής δεδομένων

3.7 ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Όταν στα δεδομένα περιλαμβάνεται απεικόνιση σε υπέρυθρο φάσμα ακτινοβολίας (Near IR) – πολυφασματικοί δέκτες, κανάλι 4 Landsat, κανάλι 4 IKONOS – μας δίνεται η δυνατότητα να ανιχνεύσουμε αυτόματα και με ευκολία τις περιοχές συγκέντρωσης υγρασίας, εκ των πραγμάτων δηλαδή τις περιοχές με ή χωρίς βλάστηση.

Η δυνατότητα αυτή θα βοηθήσει στην διασαφήνιση των περιοχών στις οποίες παρουσιάζονται διαφορές στην θέση του DTM και του DSM και οφείλονται σε ανθρώπινες κατασκευές και στις περιοχές που αυτές οι διαφορές είναι παρέμβαση της φύσης και ανάπτυξη της βλάστησης και δεν ενδιαφέρουν την παρούσα έρευνα.

Η συγκέντρωση της υγρασίας στην χλωροφύλλη της υγιούς ή και μερικώς υγιούς βλάστησης εμφανίζεται στο φάσμα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στο εγγύς υπέρυθρο. Τονίζουμε σχετικά με την ύπαρξη υγιούς βλάστησης καθώς σε περίπτωση που είτε υπάρχει μεγάλη φυλλοβολία είτε η δασική έκταση έχει καεί είτε για οποιοδήποτε λόγο η συγκέντρωση της υγρασίας δεν είναι διακριτή ή η ποσότητά της δεν είναι αρκετή ώστε να είναι διακριτή, σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα δεν θα αντιστοιχούν πλήρως στη πραγματικότητα.

Ένα ακόμη πρόβλημα που παρουσιάζει η χρήση ενός και μόνο καναλιού που αντιστοιχεί την ύπαρξη βλάστησης με μία θέση πάνω στην εικόνα, ανάλογα με την τιμή εμφάνισης του τόνου στην δεδομένη θέση, είναι η ραδιομετρική αναντιστοιχία κάθε περιοχής ανάλογα είτε της γωνίας λήψης της δορυφορικής απεικόνισης ή αεροφωτογραφίας είτε της μορφής του αναγλύφου και τις σκιές που δημιουργεί. Για να μπορέσουμε να εξηγήσουμε αυτό το φαινόμενο πιο απλά μπορούμε να πούμε ότι η διακύμανση τον τόνου του γκρι στο κανάλι που απεικονίζει το εγγύς υπέρυθρο και σε δεδομένη περιοχή ενιαίου φωτισμού μπορεί να διακρίνει διαφορές στην πυκνότητα και εμφάνιση της βλάστησης ικανοποιητικά. Στην περίπτωση όμως που οι περιοχές που συγκρίνουμε δεν έχουν ενιαίο φωτισμό, ενδεχομένως και πιθανότερο είναι οι τάξεις ή κατηγορίες να εμπλέκονται μεταξύ τους.

3.7.1 Φασματικοί Λόγοι

Λύση σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η χρήση φασματικών λόγων. Οι λόγοι καναλιών είναι ενισχύσεις, οι οποίες προκύπτουν από τη διαίρεση των ψηφιακών τιμών σ' ένα φασματικό κανάλι, με τις αντίστοιχες τιμές σ' ένα άλλο κανάλι. Ένα κύριο πλεονέκτημα των εικόνων - λόγων είναι ότι αναδεικνύουν τα φασματικά χαρακτηριστικά των διαφόρων στοιχείων της εικόνας, ανεξάρτητα από τις συνθήκες φωτισμού της περιοχής κατόπτρευσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις η διακύμανση των τιμών σε φωτεινές και σκοτεινές περιοχές στα δύο κανάλια παραμένουν ίδιες, με αποτέλεσμα ο λόγος να μην διαφοροποιείται. Συνεπώς, μία εικόνα - λόγος της περιοχής κατόπτρευσης θα μπορούσε αποτελεσματικά να αντισταθμίσει την διακύμανση των ψηφιακών τιμών, η οποία οφείλεται στο τοπογραφικό ανάγλυφο, και άρα, στον φωτισμό, και έτσι δίνει έμφαση στη φασματική και χρωματική πληροφορία της εικόνας.

Οι εικόνες - λόγοι συχνά είναι χρήσιμοι για τη **διάκριση μικρών φασματικών διαφορών** μίας περιοχής κατόπτρευσης, οι οποίες συγκαλύπτονται (ομοιογενοποιούνται) από την διακύμανση των τιμών φωτεινότητα σε εικόνες μεμονωμένων φασματικών καναλιών, ή στα συνηθισμένα έγχρωμα σύνθετα. Αυτή η βελτιωμένη διάκριση οφείλεται στο γεγονός ότι οι εικόνες - λόγοι σαφώς απεικονίζουν τις διακυμάνσεις στις **κλίσεις των καμπύλων φασματικής ανακλαστικότητας** μεταξύ δύο καναλιών, ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών ανακλαστικότητας που παρατηρούνται στα κανάλια.

Αυτές οι κλίσεις τυπικά είναι αρκετά διαφορετικές για διαφορετικά είδη υλικών σε ορισμένα κανάλια. Για παράδειγμα, και χαρακτηριστικό της περίπτωσης που θα εξετάσουμε στην προτεινόμενη διαδικασία, είναι ότι ο λόγος του εγγύς υπέρυθρου προς το κόκκινο, για την **υγιής βλάστηση** είναι συνήθως πολύ υψηλός, ενώ για τις καταστάσεις της **βλάστησης υπό κάμψη** είναι τυπικά χαμηλότερος, καθώς η υπέρυθρη ανακλαστικότητα μειώνεται, ενώ η κόκκινη ανακλαστικότητα αυξάνεται. Για τον λόγο ότι ο συγκεκριμένος λόγος έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα για την ανίχνευση της σχετικής ποσοτικοποίησης της πράσινης βλάστησης και της βιομάζας και έχει ονομαστεί **δείκτης βλάστησης**.

Μία σημαντική διαδικασία που θα πρέπει να προηγείται της δημιουργίας των εικόνων – λόγων είναι η **αποκατάσταση του θορύβου**, διότι οι λόγοι των καναλιών ενισχύουν τα υπάρχοντα πρότυπα θορύβου, τα οποία είναι ασυσχέτιστα στις επιμέρους εικόνες. Περαιτέρω, οι λόγοι αντισταθμίζουν **επιδράσεις του φωτισμού που είναι πολλαπλασιαστικές**, δηλαδή, διαίρεση των ψηφιακών τιμών φωτεινότητας ή ακτινοβολίας για δύο κανάλια, εξαλείφει μόνον εκείνους τους παράγοντες, οι οποίοι ενεργούν κατά ίδιο τρόπο στα κανάλια, και όχι αυτούς οι οποίοι είναι προσθετικοί. Για παράδειγμα, η **ατμοσφαιρική επίδραση** είναι ένας **προσθετικός παράγοντας**, ο οποίος θα πρέπει να έχει αφαιρεθεί πριν από τους λόγους, ώστε να λάβουμε αποδεκτά αποτελέσματα.

Ας σημειωθεί ακόμα ότι οι λόγοι μπορεί να παρουσιάζουν **υπολογιστικά προβλήματα**, διότι μπορεί μία διαίρεση με μηδενική ψηφιακή τιμή να αποδόσει την τιμή του απείρου σ' ένα λόγο. Συγχρόνως, οι λόγοι που τείνουν να είναι μικρότεροι της μονάδας είναι συνήθεις, και η στρογγυλοποίηση τους σε ακέραιες τιμές 0 ή 1. Συνεπώς, είναι **απαραίτητο να κανονικοποιηθούν τα αποτελέσματα των υπολογισμών των λόγων**, έτσι ώστε να συσχετιστούν με τις τιμές των τόνων του γκρι της οθόνης απεικόνισης. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η χρήση ενός αλγορίθμου της μορφής:

$$DN' = R \cdot \tan^{-1} \left(\frac{DN_x}{DN_y} \right)$$

όπου:

DN' ψηφιακός αριθμός της εικόνας - λόγου

R παράγοντας κλίμακας, ώστε να κανονικοποιήσει τους λόγους σε μία κατάλληλη κλίμακα

$\tan^{-1} \left(\frac{DN_x}{DN_y} \right)$ γωνία (σε ακτίνια), της οποίας η εφαπτόμενη είναι ο λόγος των ψηφιακών τιμών στα κανάλια x και y . Εάν η ψηφιακή τιμή $DN_y = 0$, τότε η γωνία θεωρείται ότι είναι 90°

Στην παραπάνω εξίσωση, η γωνία, της οποίας η εφαπτόμενη είναι ίση με τον λόγο των δύο καναλιών, μπορεί να έχει εύρος από 0° έως 90° , ή από 0 μέχρι περίπου 1.571 rad. Συνεπώς το DN' μπορεί να κυμαίνεται περίπου από 0 μέχρι από 1.571 R . Εάν συνεπώς χρησιμοποιηθεί μία 8-bit οθόνη απεικόνισης, το R συνήθως επιλέγεται ίσο με 162.3, και οι ψηφιακές τιμές του λόγου DN' θα κυμαίνονται στο εύρος από 0 έως 255.

3.7.2 Μετασχηματισμός του «θυσανωτού σκούφου»

Η χρήση ενός λόγου για την ανίχνευση της βλάστησης δίνει περιορισμένες δυνατότητες και αναπτύχθηκε κυρίως για τηλεπισκοπικές διαδικασίες από δεδομένα AVHRR. Η ποικιλία των δεκτών και η ανάγκη παρακολούθησης της βλάστησης και των συνθηκών της έφεραν στο προσκήνιο νέες μεθόδους περισσότερο περίπλοκες.

Για παράδειγμα, οι Kauth και Thomas (Αργιαλάς, 1998) δημιούργησαν ένα γραμμικό μετασχηματισμό των τεσσάρων καναλιών του Landsat MSS, ο οποίος παρήγαγε τέσσερις άξονες φασματικών δεδομένων, οι οποίοι μπορούν να ερμηνευτούν ως **συνιστώσες βλάστησης**, χρήσιμες για την παρακολούθηση γεωργικών καλλιεργειών. Αυτός ο μετασχηματισμός, ο οποίος αναφέρεται με το όνομα «μετασχηματισμός του θυσανωτού σκούφου», περιστρέφει τα δεδομένα του Landsat MSS, έτσι ώστε η πλειονότητα της πληροφορίας να εμπεριέχεται σε δύο συνιστώσες, ή χαρακτηριστικά, τα οποία είναι ευθέως συσχετιζόμενα με τα φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής κατόπτευσης.

Το πρώτο χαρακτηριστικό, η **φωτεινότητα**, είναι ένα κεντροβαρικό άθροισμα όλων των καναλιών, και ορίζεται στη **διεύθυνση της κύριας διασποράς της εδαφικής ανακλαστικότητας**. Το δεύτερο χαρακτηριστικό καλείται «**δείκτης πρασίνου**» είναι σχεδόν **ορθογώνιος με την φωτεινότητα**, και εκφράζει την αντίθεση μεταξύ του εγγύς υπέρυθρου και των ορατών καναλιών.

Ο δείκτης πρασίνου είναι ισχυρά συνδεδεμένος με την ποσότητα της βλάστησης που είναι παρούσα στη περιοχή μελέτης. Τα δύο παραπάνω χαρακτηριστικά εκφράζονται από πολύ μικρή συσχέτιση και περιέχουν περισσότερο από το 95% της ολικής διασποράς που περιέχονται στα δεδομένα.

Οι Crist και Cisone (Αργιαλάς, 1998) προέκτειναν την ιδέα για δεδομένα Landsat TM και βρήκαν ότι τα έξι (6) κανάλια της ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας καταλαμβάνουν αποτελεσματικά τρεις διαστάσεις, οι οποίες ορίζουν το **επίπεδο των εδαφών**, το **επίπεδο της βλάστησης**, και μία ακόμη μεταβατικής ζώνης μεταξύ τους. Το τρίτο χαρακτηριστικό ονομάζεται «**δείκτης υγρασίας**» και έχει σχέση με τη βλάστηση και την υγρασία.

3.7.3 Μετασχηματισμένος δείκτης βλάστησης (TVI)

Ένας ακόμη δείκτης βλάστησης είναι και ο αποκαλούμενος μετασχηματισμένος δείκτης βλάστησης (Transformed Vegetation Index – TVI), οποίος εκφράζεται από τον τύπο:

$$TVI = \left[\frac{DN4 - DN3}{DN4 + DN3} + 0.5 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot 100$$

όπου DN3 και DN4 αντιστοιχούν στις τιμές των καναλιών του κόκκινου (RED) και του εγγύς υπέρυθρου (NIR).

Ο TVI είναι ανάλογος του ποσού της πράσινης βιομάζας που εμπεριέχεται σε κάθε εικονοστοιχείο. Μάλιστα οι περιοχές μελέτης μπορούν να **βαθμονομηθούν**, σχετίζοντας επίγειες μετρήσεις με τις αντίστοιχες των ψηφιακών τιμών (Αργιαλάς, 1998).

3.7.4 Κανονικοποιημένη διαφορά δείκτη βλάστησης (NDVI)

Αντίστοιχα του παραπάνω, και μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα διπλωματική εργασία, είναι και η κανονικοποιημένη διαφορά του δείκτη βλάστησης

(Normalized Difference Vegetation Index – NDVI), ο οποίος εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

όπου NIR και RED η ψηφιακές τιμές του εικονοστοιχείου στο κανάλι του εγγύς υπέρυθρου και του κόκκινου αντίστοιχα.

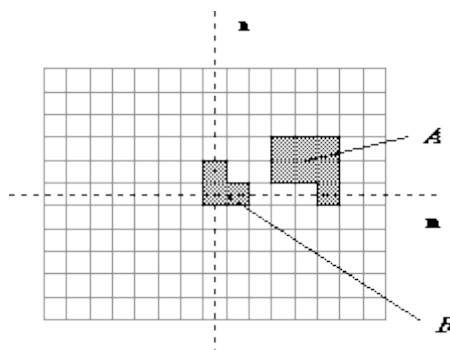
Το NDVI όπως και όλες οι παραπάνω μέθοδοι στηρίζεται στην ιδιότητα των υγιών φυτών να απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία στην φασματική περιοχή που ανήκει η φωτοσυνθετική ενεργός ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation – PAR), την οποία χρησιμοποιούν ως ενέργεια.

Από την σχεδίασή του ο λόγος NDVI μπορεί να πάρει τιμές από -1.0 έως 1.0 και από τον ορισμό του συμπεραίνεται ότι η πυκνή βλάστηση θα παίρνει θετικές τιμές (περίπου 0.3 με 0.8), ενώ τα σύννεφα και το χιόνι θα χαρακτηρίζεται από αρνητικές. Αντίστοιχα τα υπόλοιπα στοιχεία που παρατηρούνται στην Γη θα παίρνουν ενδιάμεσες τιμές. Για παράδειγμα, το ελεύθερο νερό, το οποίο έχει χαμηλή ανακλασιμότητα και στα δύο κανάλια θα παίρνει τιμές κοντά στο μηδέν (0) ή ελαφρώς αρνητικές, ενώ τα εδάφη που εμφανίζουν γενικά μεγαλύτερη ανακλασιμότητα στο εγγύς υπέρυθρο παρά στο κόκκινο, τιμές μικρές θετικές (περίπου 0.1 με 0.2)(Psaltis & Ioannidis, 2008).

Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε η χρήση αυτού του δείκτη στην παρούσα εφαρμογή, εκτός του ότι είναι απλός και αποτελεσματικός.

3.8 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

Τα μορφολογικά φίλτρα χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με την μορφή ενός αντικείμενου όπως το περίγραμμα του, τον σκελετό του το ελάχιστο κυρτό σχήμα που το περικλείει κλπ. Οι τεχνικές αυτές έχουν τις βάσεις τους στη θεωρία συνόλων. Μια δίχρωμη εικόνα θεωρείται ότι είναι ένα σύνολο από σημεία. Τα σημεία της είναι τα εικονοστοιχεία με μαύρο χρώμα. Έτσι για παράδειγμα ένα σύνολο $B = \{(1,1) (2,1) (1,2)\}$ θεωρείται ότι αναπαριστά μια δίχρωμη εικόνα με τρία μαύρα εικονοστοιχεία στις συντεταγμένες (1,1), (2,1) και (1,2). Αν η εικόνα ήταν αποχρώσεων του γκρι θα έπρεπε να προστεθεί ένας ακόμα όρος σε κάθε αναπαράσταση εικονοστοιχείου που να αντιπροσωπεύει την φωτεινότητα του.



Εικόνα 33 - Δίτιμη εικόνα που περιέχει δύο αντικείμενα (κτίσματα) A και B
(<http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html>)

Οι βασικές πράξεις της θεωρίας συνόλων είναι η ένωση, η τομή, η διαφορά και το συμπλήρωμα. Σε αυτές συμπληρώνονται άλλες δυο η Μετατόπιση (Translation) και η Ανάκλαση (Reflection):

1. Η **Μετατόπιση** ενός συνόλου A κατά ένα σημείο $z = (z_1, z_2)$ που συμβολίζεται με $(A)_z$ ορίζεται ως εξής:

$$(A)_z = \{w | w = a + z, \forall a \in A\}$$

Η φυσική σημασία της μετατόπισης είναι η μετακίνηση ενός αντικειμένου που ορίζει το σύνολο A των σημείων του κατά z_1 στον οριζόντιο άξονα και κατά z_2 στον κατακόρυφο (Pratt, 2001).

2. Η **Ανάκλαση** ενός συνόλου C συμβολίζεται με \hat{C} και ορίζεται ως εξής:

$$\hat{C} = \{w | w = -c, \forall c \in C\}$$

3.8.1 Διαστολή και Συστολή

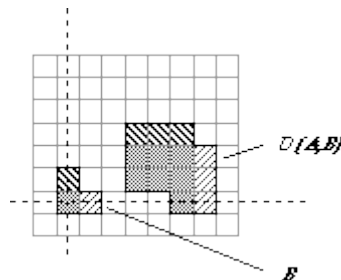
Οι πιο βασικοί μορφολογικοί μετασχηματισμοί είναι η συστολή (Erosion) και η Διαστολή (Dilation). Με βάση αυτούς ορίζονται άλλοι δυο, η ανοικτότητα (Open) και η κλειστότητα (Close).

1. Διαστολή (Dilation)

Η διαστολή του συνόλου A από το σύνολο C , που συμβολίζεται με $A \oplus C$ ορίζεται ως εξής:

$$A \oplus C = \{z | (\hat{C})_z \cap A \neq \emptyset\}$$

Μια απλή εφαρμογή της διαστολής που χρησιμοποιείται ευρέως, είναι το κλείσιμο μικρών οπών σε ένα αντικείμενο και το "γεφύρωμα" μικρών κενών ανάμεσα σε εικονοστοιχεία. Για αυτές τις εργασίες χρησιμοποιείται ως σύνολο C ένας πίνακας της μορφής 3×3 με όλα τα στοιχεία του 1. Ο μετασχηματισμός αυτός έχει την ιδιότητα να διευρύνει το περίγραμμα ενός αντικειμένου (Pratt, 2001).



Εικόνα 34 - Εφαρμογή της διαστολής στην εικόνα βάσης
(<http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html>)

Συνοπτικά το αποτέλεσμα της Διαστολής (Dilation) είναι:

- Απαλείφει μικρές σκοτεινές περιοχές

- Ορίζεται ως το μέγιστο, σε μια περιοχή της εικόνας, του αθροίσματος της φωτεινότητας της εικόνας και της τιμής μιας μάσκας.
- Εάν οι τιμές της μάσκας είναι θετικές, η εικόνα εξόδου είναι περισσότερο φωτεινή από την εικόνα εισόδου
- Το σχήμα της μάσκας (structuring element) επιλέγεται ώστε να δίνει έμφαση ή μη σε συγκεκριμένα στοιχεία της εικόνας

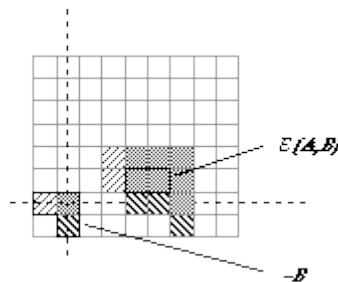
(Κομπατσιάρης, 2006)

2. Συστολή ή Διάβρωση (Erosion)

Η συστολή ενός συνόλου A από το σύνολο C , που συμβολίζεται με $A \ominus C$ ορίζεται ως εξής:

$$A \ominus C = \{z \mid (\hat{C})_z \subseteq A\}$$

Η συστολή εξαλείφει απομονωμένα εικονοστοιχεία, χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση άχρηστης λεπτομέρειας, θορύβου κλπ. Επίσης μικραίνει το περίγραμμα ενός αντικειμένου. Οι ιδιότητες του είναι συνάρτηση του συνόλου C που χρησιμοποιείται (Pratt, 2001).



Εικόνα 35 - Εφαρμογή της συστολής στην εικόνα βάσης
(<http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html>)

Συνοπτικά το αποτέλεσμα της συστολής (Erosion) είναι:

- Απαλείφει μικρές φωτεινές περιοχές
- Ορίζεται ως το ελάχιστο, σε μια περιοχή της εικόνας, της διαφοράς μεταξύ της φωτεινότητας της εικόνας και της τιμής μιας μάσκας
- Εάν οι τιμές της μάσκας είναι θετικές, η εικόνα εξόδου είναι λιγότερο φωτεινή από την εικόνα εισόδου

(Κομπατσιάρης, 2006)

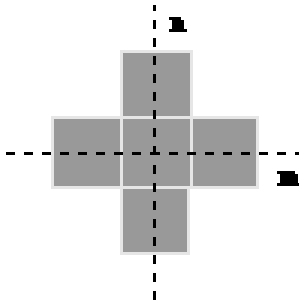
Οι μετασχηματισμοί της διαστολής και της συστολής έχουν μια σχέση μεταξύ τους η οποία βασίζεται στο συμπλήρωμα και την ανάκλαση και φαίνεται στη σχέση που ακολουθεί:

$$(A \ominus B)^c = A^c \oplus \hat{B}$$

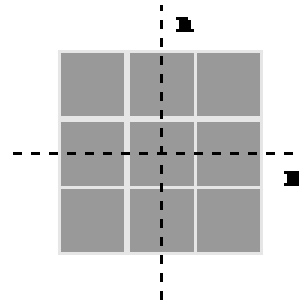
Η διαστολή έχει την ιδιότητα να μεγαλώνει σε γενικές γραμμές το αντικείμενο, ενώ αντίθετα η συστολή να το μικραίνει (εξού και οι ονομασίες τους). Το πόσο πολύ ή με

ποιον τρόπο αναπτύσσεται ή συρρικνώνεται εξαρτάται από την επιλογή του στοιχείου δόμησης.

Τα δύο πιο κοινά στοιχεία δόμησης είναι γνωστά ως N_4 και N_8 , μοιάζουν σχηματικά με σταυρό και κύβο περιγεγραμμένα σε ένα πλαίσιο 3×3 και απεικονίζονται σχηματικά παρακάτω εικόνες (Εικόνα 36 & Εικόνα 37).

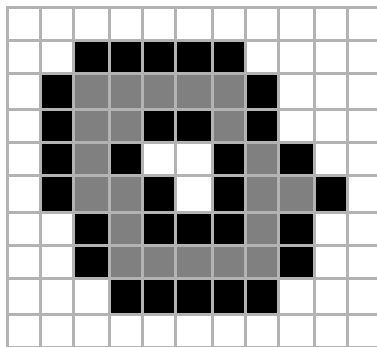


Εικόνα 36 - Στοιχείο δόμησης N_4
(<http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html>)

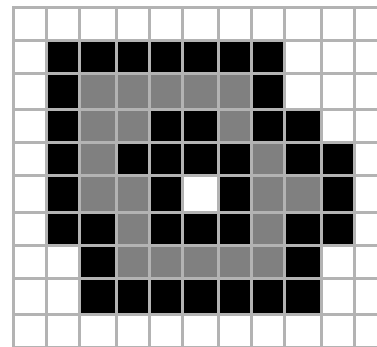


Εικόνα 37 - Στοιχείο δόμησης N_8
(<http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html>)

Το αποτέλεσμα της πράξης της διαστολής με τα παραπάνω στοιχεία δόμησης έχει την μορφή που φαίνεται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 38 & Εικόνα 39). Το πρωτότυπο αντικείμενο είναι με γκρι χρώμα και τα στοιχεία που προστίθενται από την πράξη της διαστολής με μαύρο.



Εικόνα 38 - Αποτέλεσμα διαστολής με χρήση N_4
(<http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html>)



Εικόνα 39 - Αποτέλεσμα διαστολής με χρήση N_8
(<http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html>)

3.8.2 Ανοικτότητα και Κλειστότητα

Οι δυο μετασχηματισμοί που ακολουθούν, αυτοί του ανοίγματος και του κλεισίματος βασίζονται στην διαστολή και την συστολή.

3. Ανοικτότητα (Open)

Η ανοικτότητα ενός συνόλου A κατά ένα σύνολο C συμβολίζεται με $A \circ C$ είναι αρχικά η συστολή του από το C και στη συνέχεια η διαστολή του με το ίδιο σύνολο:

$$A \circ C = (A \ominus C) \oplus C$$

Το αποτέλεσμα που έχει η παραπάνω διαδικασία σε ένα αντικείμενο είναι η εξομάλυνση του περιγράμματος του, το σπάσιμο μικρών «ισθμών», η εξάλειψη απομονωμένων σημείων κλπ.

4. Κλειστότητα (Close)

Η κλειστότητα ενός συνόλου A από ένα σύνολο C συμβολίζεται με $A \bullet C$ και είναι αρχικά η διαστολή του κατά C και στη συνέχεια η συστολή του με το ίδιο σύνολο:

$$A \bullet C = (A \oplus C) \ominus C$$

Αυτός ο μετασχηματισμός εξομαλύνει περιγράμματα, γεμίζει μικρά κενά, ενώνει μικρές ασυνέχειες κλπ.

(<http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html>) & (Pratt, 2001)

3.8.3 Hit-or-Miss

Η διαδικασία hit-or-miss θεωρεί μία εικόνα A και δύο στοιχεία B_1 και B_2 για τα οποία ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$HitMiss(A, B_1, B_2) = \begin{cases} E(A, B_1) \cap E^c(A^c, B_2) \\ E(A, B_1) \bullet E(\bar{A}, B_2) \\ E(A, B_1) - E(\bar{A}, B_2) \end{cases}$$

Ουσιαστικά η σχέση αυτή που στηρίζεται στην άλγεβρα Boolean περιγράφει την συσχέτιση των παραπάνω διαδικασιών, που η οπτικοποίηση τους παρουσιάζεται στην Εικόνα 45 - Hit-or-miss με B_1 και B_2 .

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι η δημιουργία μίας εικόνας που αποτελείται αποκλειστικά από τα όρια των αντικειμένων και είναι δυνατόν να διανυσματοποιηθούν με διαδικασίες σκελετοποίησης (βλ. Κεφάλαιο 3.8.4 Σκελετοποίηση)

Θεωρώντας ότι έχουμε:

$$B = N_8 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad B_1 = \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & 1 & - \\ - & - & - \end{bmatrix} \quad B_2 = \begin{bmatrix} - & 1 & - \\ 1 & - & 1 \\ - & 1 & - \end{bmatrix}$$



Εικόνα 40 - Αρχική εικόνα A



Εικόνα 42 - Διαστολή με 2B



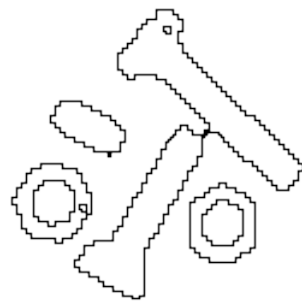
Εικόνα 44 - Συστολή με 2B



Εικόνα 41 - Ανοικτότητα με 2B



Εικόνα 43 - Κλειστότητα με 2B

Εικόνα 45 - Hit-or-miss με B_1 και B_2

(<http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html>)

3.8.4 Σκελετοποίηση

Η διαδικασία της σκελετοποίησης είναι η μετατροπή μίας γραμμής που αναπαριστά ένα αντικείμενο στην εικόνα ώστε να έχει τα εξής στοιχεία:

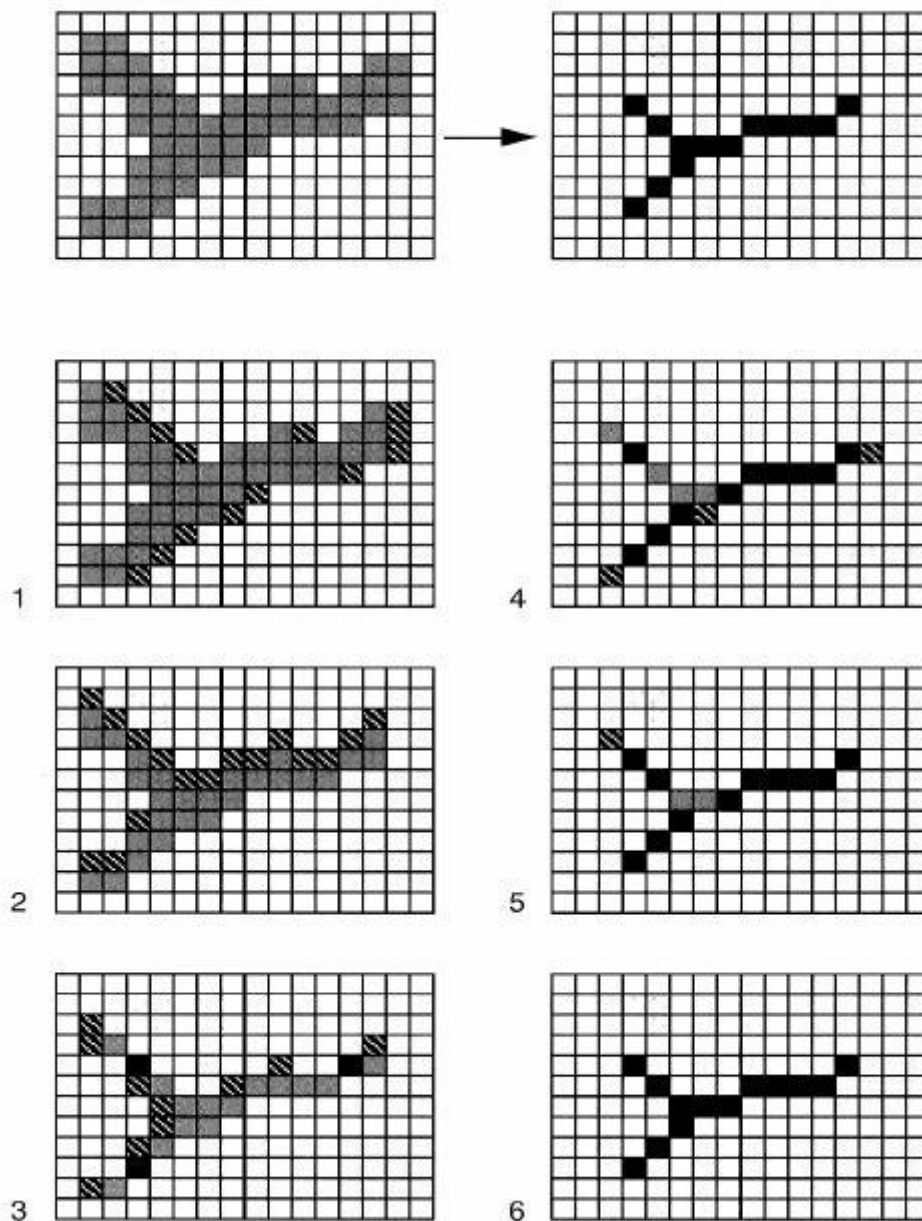
- i. Πάχος ενός (1) εικονοστοιχείου (pixel)
- ii. Να περνά από τον διάμεσο του αντικειμένου
- iii. Να διατηρεί τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της γραμμής, δηλαδή την θέση και τον προσανατολισμό της

Ανάλογα με την επεξεργασία μέσα από την οποία έχει προκύψει κάθε γραμμή μπορεί να έχει πάχος αρκετά φαντίνια.

Ακόμη, η διαδικασία των κατωφλίων εισάγει μικρά κενά στις γραμμές που θα έπρεπε κανονικά να είναι συνεχείς, εξαιτίας ορισμένων φαντιών χαμηλής έντασης τα οποία ταξινομούνται εσφαλμένα ότι ανήκουν στο υπόβαθρο. Οι μικρές ασυνέχειες εξαλείφονται αλλάζοντας την τιμή αυτών των φαντιών που προκαλούν τα κενά, έτσι ώστε να μετατραπούν από τιμή υποβάθρου σε τιμή κυρίως επιπέδου. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται πλήρωση.

Η κύρια φάση μετατροπής σε διανύσματα συνίσταται στη **λέπτυνση** του πάχους των γραμμικών στοιχείων σε πάχος ενός φαντιού. Αυτό συνεπάγεται την αλλαγή - ανακατανομή των φαντιών του ορίου της γραμμής ώστε να ανήκουν πλέον στο υπόβαθρο αντί στο κυρίως επίπεδο (Τσούλος, 2006).

Τα στάδια της διαδικασίας της σκελετοποίησης απεικονίζονται στην Εικόνα 46 - Διαδικασία σκελετοποίησης.



Εικόνα 46 - Διαδικασία σκελετοποίησης (Τσούλος, Λ. (2005), Σημειώσεις μαθήματος Ψηφιακής Χαρτογραφίας)

Η φιλοσοφία της μεθόδου στηρίζεται σε διαδοχικές αφαιρέσεις εικονοστοιχείων από τα όρια της γραμμής (Εικόνα 46.1 και Εικόνα 46.2), η οποία είναι σταδιακά μειούμενη (Εικόνα 46.3) και σταματά τοπικά ώστε να μην δημιουργηθούν ασυνέχειες στην γραμμή (Εικόνα 46.4 και Εικόνα 46.5) μέχρι να κατασκευαστεί η μοναδιαίου πάχους γραμμής (Εικόνα 46.6).

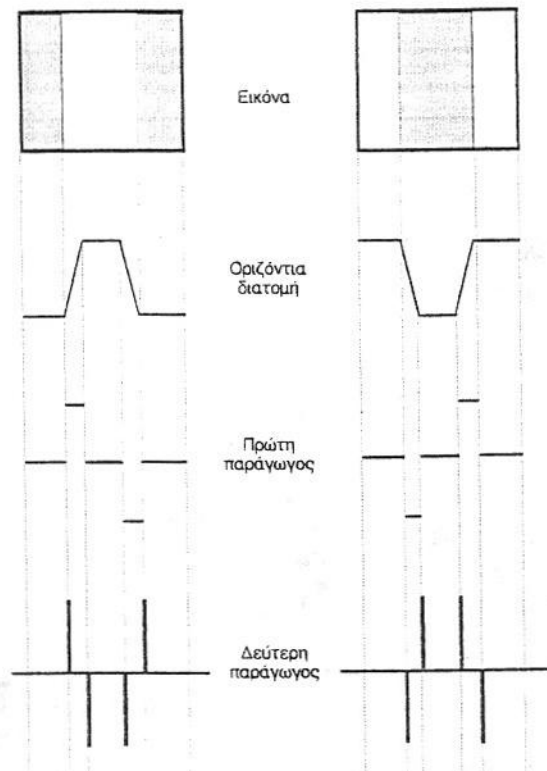
Γενικά με τους μορφολογικούς μετασχηματισμούς μπορεί να υλοποιηθεί μια μεγάλη σειρά από αλγορίθμους επεξεργασίας εικόνας: Εξαγωγή περιγράμματος,

γέμισμα μιας περιοχής, εύρεση κυρτού συνόλου, εκλέπτυνση ή χόντρεμα αντικειμένων, εξαγωγή σκελετού κλπ.

3.9 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΜΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ

Η ανίχνευση των ακμών ή η ανίχνευση των ορίων είναι ο αρχικός τρόπος εντοπισμού μιας ανθρώπινης παρέμβασης. Σε μία ψηφιακή εικόνα οι ακμές αντιστοιχούν σε ασυνέχειες της εικόνας και απεικονίζονται ως απότομες ή ομαλές αλλαγές στις τιμές του γκρι. Η αναγωγή στις έγχρωμες εικόνες είναι απλή και υλοποιείται με την εφαρμογή του φίλτρου στις τρεις (3) συνιστώσες που αποτελούν την έγχρωμη ψηφιακή εικόνα. Στο εξής, για χάρη συντομίας και ευχρηστίας, η αναφορά σε εφαρμογή φίλτρου, θα αφορά σε εφαρμογή σε ένα από τα επίπεδα της εικόνας ή σε εφαρμογή σε εικόνα της κλίμακας του γκρι. Η λειτουργία των φίλτρων δεν διαφέρει από το βάθος χρώματος της εικόνας αλλά περιορίζεται στην ανίχνευση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της εικόνας.

Η βασική ιδέα πίσω από της περισσότερες τεχνικές ανίχνευσης των ορίων είναι ο υπολογισμός και ο προσδιορισμός των τοπικών παραγώγων. Η βασική αρχή φαίνεται στην Εικόνα 47. Στο πρώτο τμήμα του σχήματος φαίνεται η εικόνα ενός απλού φωτεινού αντικειμένου σε σκούρο υπόβαθρο, η διατομή της έντασης του γκριζού τόνου κατά μήκος μίας οριζόντιας γραμμής σάρωσης καθώς και οι πρώτη και δεύτερη παράγωγοι της διατομής. Όπως φαίνεται από την παράσταση της διατομής, η ακμή (δηλαδή η μετάβαση από σκοτεινό σε φωτεινό περιβάλλον) παριστάνεται με μία κεκλιμένη γραμμή αντί για κατακόρυφη, όπως θα περίμενε κανείς. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ακμές στις ψηφιακές εικόνες είναι εν γένει ελαφρώς θολές ως αποτέλεσμα της δειγματοληψίας (sampling) των γκριζων τόνων.



Εικόνα 47 - Τοπικές παράγωγοι

Η πρώτη παράγωγος μίας ακμής που παριστάνεται με αυτόν τον τρόπο είναι μηδέν για όλες τις περιοχές στις οποίες η ένταση είναι σταθερή και παίρνει μία σταθερή τιμή, στις περιοχές στις οποίες η ένταση αυξάνεται ή μειώνεται γραμμικά. Επιπρόσθετα η δεύτερη παράγωγος είναι μηδέν για όλες τις θέσεις, εκτός από εκεί που αρχίζει (ή τελειώνει) η αύξηση (ή μείωση) της έντασης. Είναι προφανές από τα παραπάνω ότι το μέγεθος της πρώτης παραγώγου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για

την ανίχνευση μίας ακμής ενώ το πρόσημο της δεύτερης παραγώγου προσδιορίζει αν το σημείο (pixel) της ακμής βρίσκεται στην σκοτεινή (<0) ή στην φωτεινή (>0) πλευρά. Αντίστοιχα συμπεράσματα βγαίνουν και στην περίπτωση, κατά την οποία απεικονίζεται σκοτεινό αντικείμενο σε φωτεινό υπόβαθρο. Ακόμη αντίστοιχα ισχύουν και για την περίπτωση που η ακμή δεν είναι οριζόντια ή κάθετη αλλά έχει τυχαία διεύθυνση στην εικόνα. Όπως θα περιγραφεί παρακάτω, η πρώτη παράγωγος σε τυχαίο σημείο δίδεται από την διαφοροποίηση έντασης (κλίση), ενώ η δεύτερη από την Λαπλασιανή.

Η διαφοροποίηση της έντασης σε μία εικόνα $f(x,y)$ στην θέση (x,y) ορίζεται ως το δισδιάστατο διάνυσμα:

$$G[f(x,y)] = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

Όπως είναι γνωστό, το διάνυσμα G έχει διεύθυνση προς την μέγιστη διαφοροποίηση της έντασης της f στην θέση (x,y) . Ωστόσο για την ανίχνευση των ακμών χρειάζεται το μέγεθος του διανύσματος, που είναι και η κλίση (gradient) και συμβολίζεται με $G[f(x,y)]$, όπου:

$$G[f(x,y)] = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Μια προσέγγιση για τον υπολογισμό των μερικών παραγώγων σε μία ψηφιακή εικόνα είναι ο προσδιορισμός των διαφορών πρώτης τάξης μεταξύ των γειτονικών pixel, δηλαδή:

$$G_x = \frac{\partial f}{\partial x} = f(x,y) - f(x-1,y)$$

$$G_y = \frac{\partial f}{\partial y} = f(x,y) - f(x,y-1)$$

Μια πιο πολύπλοκη προσέγγιση, αλλά και πιο συνηθισμένη, χρησιμοποιεί μία περιοχή 3x3 pixel με κέντρο το (x,y) και δίδεται από:

$$G_x = \frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1,y-1) + 2f(x+1,y) + f(x+1,y+1) - f(x-1,y-1) - 2f(x-1,y) - f(x-1,y+1)$$

$$G_y = \frac{\partial f}{\partial y} = f(x-1,y+1) + 2f(x,y+1) + f(x+1,y+1) - f(x-1,y-1) - 2f(x,y-1) - f(x+1,y-1)$$

Σημειώνεται ότι τα κοντινότερα στο (x,y) pixel έχουν διπλάσιο βάρος στον ορισμό αυτό της πρώτης παραγώγου. Ο προσδιορισμός της σε μία περιοχή 3×3 είναι πλεονεκτικότερος, γιατί κάνει την παράγωγο λιγότερο ευαίσθητη στον θόρυβο. Επίσης προσφέρεται για τον προγραμματισμό, αφού δεν απαιτεί μεγάλη επεξεργαστική ισχύ.

-1	-2	-1
0	0	0
-1	-2	-1

-1	0	-1
-2	0	-2
-1	0	-1

Εικόνα 48 - Τελεστές Sobel

Η πρώτη παράγωγος μπορεί να προσδιοριστεί και από την εφαρμογή δύο φίλτρων (μάσκες), όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (Εικόνα 48). Οι δύο αυτές μάσκες είναι γνωστές ως τελεστές Sobel, και η λειτουργία τους αναλύεται παρακάτω. Υπάρχουν πολλοί τρόποι να απεικονίσει κανείς την παραγόμενη εικόνα $g(x,y)$ από την εφαρμογή αυτών των τεχνικών παραγωγίσις. Ο απλούστερος είναι να αντικατασταθεί η τιμή g στη θέση (x,y) από την παράγωγο της αρχικής εικόνας f , δηλαδή:

$$g(x, y) = G[f(x, y)]$$

Άλλος τρόπος είναι να παραχθεί δυαδική (binary) εικόνα με χρήση της σχέσης:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } G[f(x, y)] > T \\ 0 & \text{if } G[f(x, y)] \leq T \end{cases}$$

όπου T είναι ένα μη αρνητικό κατώφλι (threshold). Στην περίπτωση αυτή θεωρούνται σημαντικά μόνο τα pixel των οποίων η κλίση είναι μεγαλύτερη από T . Έτσι η προηγούμενη σχέση μπορεί να θεωρηθεί ως διαδικασία επιλογής εκείνων μόνο των pixel που χαρακτηρίζονται από σημαντικές (ανάλογα με το T) μεταβολές έντασης. Περαιτέρω επεξεργασία είναι αναγκαία ώστε να διαγραφούν τα μεμονωμένα και να συνενωθούν τα κατάλληλα pixel για να προσδιοριστούν τα επιθυμητά όρια και ακμές.

Η διαδικασία του κατωφλίου παρόλο που είναι απλούστατη θέλει μεγάλη προσοχή στην εφαρμογή της και στην επιλογή της θέσης του κατωφλίου, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αυτοματοποιηθεί εύκολα και να χρειάζεται μεγάλη επεξεργασία των παραγόμενων δεδομένων.

Η Λαπλασιανή είναι η δεύτερη ($2^{\text{η}}$) παράγωγος και ορίζεται ως:

$$L[f(x, y)] = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

Για ψηφιακές εικόνες η Λαπλασιανή εφαρμόζεται ως εξής:

$$L[f(x, y)] = [f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y + 1) + f(x, y - 1)] - 4f(x, y)$$

Είναι φανερό ότι με αυτή την διατύπωση η Λαπλασιανή μηδενίζεται για περιοχές με την ίδια τιμή του γκριζου τόνου και στο σημείο καμπής μίας ακμής, γεγονός αναμενόμενο για την δεύτερη παράγωγο. Η εφαρμογή μπορεί και να παρασταθεί με τη εφαρμογή του φίλτρου της Εικόνα 49. Η Λαπλασιανή, ως δεύτερη παράγωγος, είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στον θόρυβο της εικόνας και γι' αυτό χρησιμοποιείται συνήθως για να διαπιστωθεί αν ένα pixel βρίσκεται στην σκοτεινή ή την φωτεινή πλευρά μίας ακμής.

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

Εικόνα 49 - Το λαπλασιανό φίλτρο

Σε αντίθετη περίπτωση μπορούμε να εφαρμόσουμε φίλτρα και από τις τέσσερις (4) κατευθύνσεις και να έχουμε την ανίχνευση της ακμής στο κέντρο του τονισμένου σημείου.

Η μεθοδολογία για την ανίχνευση ακμών, λοιπόν, στηρίζεται στην χρήση υψίσυχων φίλτρων. Φίλτρα ονομάζονται μικροί τομείς κανονικοποιημένων δεδομένων που τρέχουν πάνω στην βασική εικόνα, μετασχηματίζοντας την πολλαπλασιάζοντας τα αρχικά δεδομένα της εικόνας βάσης με τους συντελεστές του φίλτρου. Πιο συγκεκριμένα η νέα τιμή της εικόνας δίδεται στο κεντρικό εικονοστοιχείο επεξεργασίας, από τον μέσο όρο, όπως αυτός διαμορφώνεται από τα βάρη σε κάθε γειτονικό εικονοστοιχείο. Τα υψίσυχνα φίλτρα (hi-pass) εντοπίζουν – τονίζουν τα σημεία αλλαγής τόνων ενισχύοντας το σημείο αλλαγής του τόνου το γκρι και υποβαθμίζοντας τα γειτονικά του.

Μερικά από τα πιο σημαντικά φίλτρα ανίχνευσης ακμών είναι τα sobel, prewitt και roberts. Η βασική αρχή λειτουργίας τους περιγράφεται παρακάτω.

Ο χειριστής Sobel εκτελεί μια δισδιάστατη χωρική μέτρηση κλίσης σε μια εικόνα και τονίζει με αυτό τον τρόπο τις περιοχές της υψηλής χωρικής συχνότητας που αντιστοιχούν στις άκρες. Χρησιμοποιείται για να βρει το κατά προσέγγιση απόλυτο μέγεθος κλίσης σε κάθε σημείο σε μια εικόνα – της κλίμακας του γκρι – εισαγωγής.

Θεωρητικά τουλάχιστον, η διαδικασία αποτελείται από ένα ζευγάρι 3Χ3 πυρήνων συνέλιξης όπως φαίνεται στην Εικόνα 50. Ο πρώτος πυρήνας – φίλτρο έχει αρνητικές τιμές στην αριστερή ζώνη ενισχυμένες στο κέντρο και θετικές στην δεξιά. Το δεύτερο μέλος του ζευγαριών που αποτελούν το φίλτρο Sobel είναι ένα ίδιας μορφής στραμμένο κατά 90°.

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

G_x

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

G_y

Εικόνα 50 - Φίλτρο Sobel

Αντίστοιχης μορφής είναι και το φίλτρο Prewitt (Εικόνα 51), το οποίο όμως δεν είναι ενισχυμένο στο κέντρο και για αυτό το λόγο δεν παρουσιάζει ιστροπικές λύσεις, παρόλο που τα αποτελέσματα που δίνει είναι κοντινά σε αυτά του φίλτρου Sobel.

-1	0	+1
-1	0	+1
-1	0	+1

G_x

+1	+1	+1
0	0	0
-1	-1	-1

G_y

Εικόνα 51 - Φίλτρο Prewitt

Σε κάθε περίπτωση όμως το αποτέλεσμα από την επεξεργασία μίας εικόνας με ένα υψίσυχο φίλτρο είναι μόνο οπτικό και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα και αυτοματοποιημένα. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό θα πρέπει να γίνει η μετατροπή του κανονικοποιημένου αποτελέσματος (raster image) σε μία μορφή αναγνώσιμη από το αυτοματοποιημένο σύστημα, δηλαδή σε μία διανυσματοποιημένη μορφή (vector) (Γεωργόπουλος, 1998).

Προκειμένου να εφαρμοστεί η διανυσματοποίηση των εικόνων, από χρήση φίλτρων ανίχνευσης ακμών, μπορεί να εφαρμοστεί:

- Σύγκριση με φόρμες – μάσκες
- Ανίχνευση Σημαντικών Σημείων

3.10 ΜΑΣΚΕΣ (ΦΟΡΜΕΣ)

Φόρμες ονομάζονται μορφές – πρότυπα, κατά τα ζητούμενα χαρακτηριστικά στοιχεία των προς αναζήτηση στοιχείων της εικόνας, οι οποίες χρησιμοποιούνται για σύγκριση με τα αρχικά στοιχεία.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής μάσκας για τον εντοπισμός αντικειμένου μέσα σε μία κανονικοποιημένη (raster) εικόνα είναι η ανίχνευση των εικονοσημάτων.

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3				
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	2	8	9	9	9	2	1	1	1	1	9	9	9	9
1	1	1	2	9	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1
1	1	1	2	9	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1				
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				

Εικόνα 53 - Μάσκα

Εικόνα 52 - Περιοχή ανίχνευσης

Η σύγκριση στις περισσότερες των περιπτώσεων της μάσκας με την περιοχή μελέτης και η επιλογή της θέσης γίνεται μέσω ενός μέγεθος, της συσχέτισης.

Για να γίνει κατανοητός ο μηχανισμός της συσχέτισης θα περιγράψουμε παρακάτω πως λειτουργεί. Έστω ότι έχουμε μία περιοχή ανίχνευσης g_1 (Εικόνα 52) και μία μάσκα, ένα πρότυπο σύγκρισης g_2 (Εικόνα 53). Η ανίχνευση υλοποιείται με την διαδοχική μετακίνηση της μάσκας στην περιοχή ανίχνευσης. Για κάθε θέση ο αλγόριθμος υπολογίζει τον συντελεστή συσχέτισης μεταξύ της μάσκας και του παράθυρου αναζήτησης, μέσα στην περιοχή ανίχνευσης, που προσωρινά είναι τοποθετημένη η μάσκα. Ο συντελεστής συσχέτισης r δίνεται από την σχέση:

$$r = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 \cdot \sigma_2} = \frac{\sum(g_1 - \bar{g}_1)(g_2 - \bar{g}_2)}{\sum(g_1 - \bar{g}_1)^2 \sum(g_2 - \bar{g}_2)^2}$$

Η θέση όπου ο συντελεστής r παίρνει την μεγαλύτερη τιμή θεωρείται και το σημείο καλύτερης προσαρμογής – ταύτισης – του προτύπου με την περιοχή ανίχνευσης. Αντίστοιχη είναι και η γενίκευση της μεθόδου για την δισδιάστατη συσχέτιση και με την χρήση της Μεθόδου των Ελαχίστων Τετραγώνων για τον υπολογισμό της βέλτιστης θέσης συσχέτισης.

Πολύ χρήσιμη ιδιότητα του συντελεστή συσχέτισης είναι ότι είναι ανεξάρτητος της στροφής που μπορεί να έχει το αντικείμενο στον χώρο.

Η μεταφορά του παραδείγματος με το εικονόσημα στην περίπτωση του εντοπισμού κτισμάτων δεν διαφέρει και πολύ. Το μόνο που αλλάζει είναι η μορφή της μάσκας που θα προσεγγίζει το σχήμα ενός κτίσματος, στις περισσότερες περιπτώσεις τετράγωνο ή ορθογώνιο, και θα μοιάζει με την Εικόνα 54:

1	1	1	1	1
1	9	9	9	1
1	9	1	9	1
1	9	9	9	1
1	1	1	1	1

Εικόνα 54 - Παράδειγμα μάσκας κτίσματος

Είναι προφανές ότι από μόνο του το πρότυπο δεν είναι ικανό να καλύψει όλες τις περιπτώσεις, αλλά με κατάλληλες αλλαγές στην κλίμακα (τόσο ως προς x όσο ως προς y), επομένως και στο μέγεθος, και με την δημιουργία μίας βιβλιοθήκης προτύπων, είναι δυνατός ο υπό προϋποθέσεις εντοπισμός κτισμάτων (Γεωργόπουλος, 1998).

Η μέθοδος ανήκει στις υψηλού επιπέδου (high-level) τεχνικές και ο όγκος επεξεργασίας προκειμένου να δώσει αποτέλεσμα είναι μεγάλος. Επομένως, δεν μπορεί να εφαρμοστεί στο σύνολο της εικόνας (που εκτός του μεγέθους της περιέχει και πολλά πρότυπα που μοιάζουν με κτίσματα αλλά δεν είναι) αλλά στις περιοχές εντοπισμού κτισμάτων, όπως προκύπτουν από τις μέσου επιπέδου (mid-level) τεχνικές που περιγράφηκαν σε αυτό το κεφάλαιο (π.χ. ΔΗ, NDVI κτλ). Σημαντική βελτίωση των αποτελεσμάτων προσφέρει ακόμα και η ενίσχυση των εικόνων ή η επεξεργασία με μεθόδους χαμηλού επιπέδου (low-level) πριν από την εφαρμογή της μάσκας.

Επομένως όλες οι μέθοδοι, ασχέτου αποτελέσματος και επιπέδου, συμβάλουν στην εξαγωγή σωστού και αξιόπιστου αποτελέσματος.

Προτεινόμενη Διαδικασία

4.1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι η περιγραφή της λογικής διαδικασίας και των μεθόδων που επιλέχτηκαν προκειμένου να φτάσουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα του εντοπισμού κτισμάτων σε μία ψηφιακή εικόνα.

Στις παρακάτω γραμμές περιγράφονται τόσο τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που χρειάζονται για την υλοποίηση της διαδικασίας, όσο και οι μέθοδοι που επιλέχτηκαν και ο τρόπος λειτουργίας τους.

Ο βασικός κορμός της διαδικασίας μπορεί να περιγραφεί στα εξής βήματα:

1. Δεδομένα
2. Προεπεξεργασία
3. Επεξεργασία
4. Σύνθεση
5. Αποτελέσματα

Η αρχή που ακολουθείται παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 55.



Εικόνα 55 - Αρχή λειτουργίας

Ως είσοδος του συστήματος αποτελούν τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της προεπεξεργασίας που έγιναν με χρήση εξωτερικών εμπορικών προγραμμάτων.

Ως διαδικασία του συστήματος νοείται η επεξεργασία, η σύνθεση και μέρος της προεπεξεργασίας, που επαναλαμβάνεται για λειτουργικούς λόγους πολλές φορές εσωτερικά της επεξεργασίας. Το κομμάτι αυτό της διαδικασίας υλοποιήθηκε στο δηλωτικό προγραμματιστικό περιβάλλον του Matlab.

Την έξοδο του συστήματος αποτελούν τα αποτελέσματα, είτε των επί μέρους κριτηρίων είτε, κατά κύριο λόγο, τα τελικά αποτελέσματα.

Η διαδικασία που ακολουθείται, κάνοντας χρήση της υψομετρικής διαφοράς που δημιουργεί η εμφάνιση κτισμάτων σε μία θέση σε σχέση με το έδαφος, επιδιώκει να εντοπίσει πιθανά σημεία εμφάνισης κτισμάτων. Υψομετρική διαφορά όμως δεν εμφανίζεται μόνο στα σημεία που υπάρχουν κτίσματα. Εμφανίζεται σε πλήθος

άλλων περιπτώσεων που εκκινούνται από την εμφάνιση της βλάστησης, μέχρι και τα αναπόφευκτα σφάλματα που έχουν τα μοντέλα υψομέτρου. Οι «άλλες περιπτώσεις», οι οποίες μειώνουν την ακρίβεια της μεθόδου, γίνεται προσπάθεια να εξαλειφθούν μέσα από διαδικασίες φιλτραρίσματος του αρχικού αποτελέσματος.

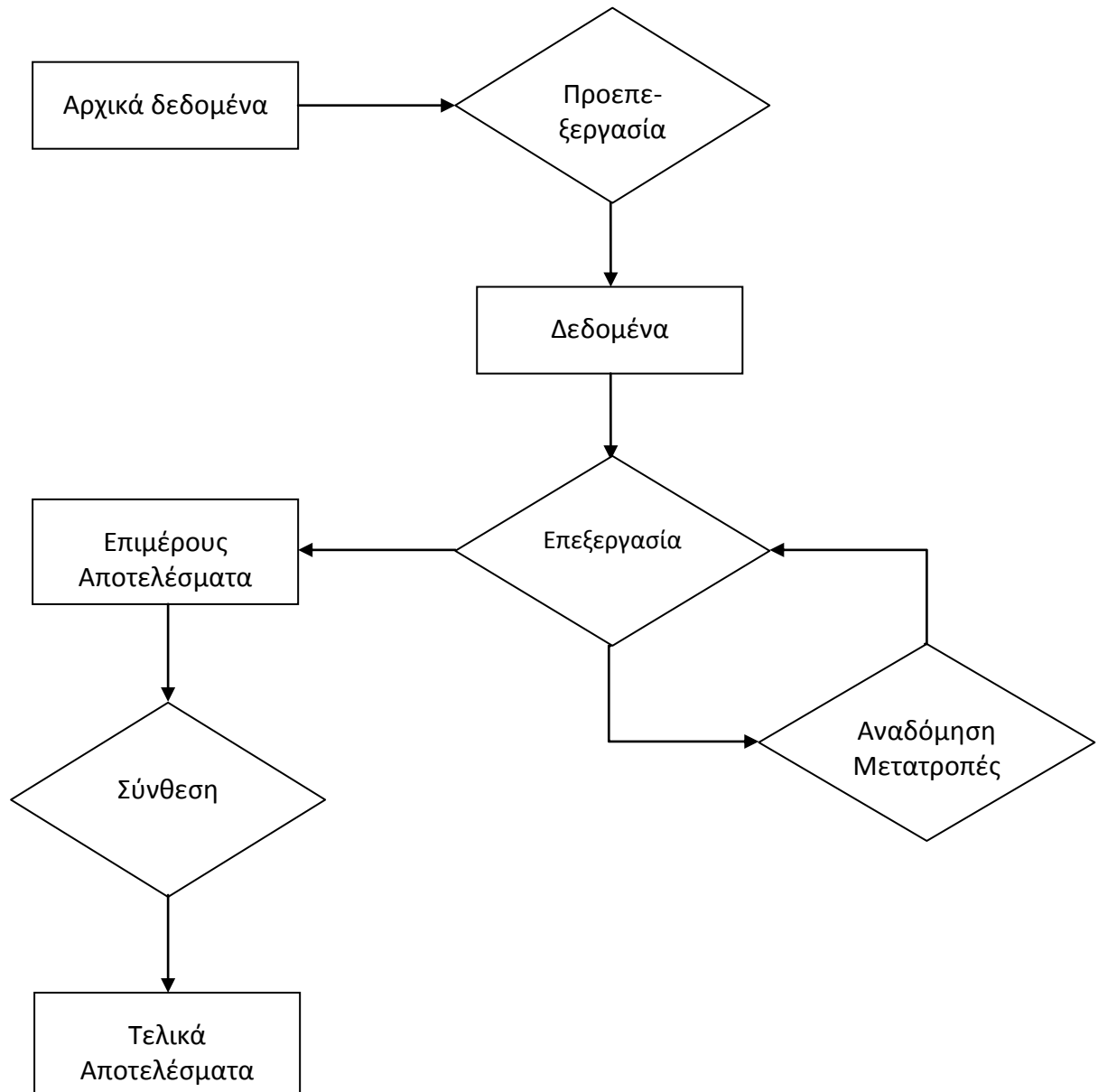
Αρχικά χρησιμοποιείται ένα φιλτράρισμα της βλάστησης, προκειμένου να αφαιρεθούν τα δένδρα τα οποία ναι, μεν, έχουν υψομετρική διαφορά με το έδαφος αλλά δεν είναι το ζητούμενο της δεδομένης εργασίας. Ακολουθούν μορφολογικά κριτήρια που έχουν να κάνουν με το σχήμα και το μέγεθος των εντοπισμένων σημείων (φυσαλίδων ανίχνευσης).

Σε κάθε βήμα επιδιώκεται να αυξηθεί το ποσοστό κτισμάτων που εντοπίστηκαν και, ταυτόχρονα, να μειωθεί το ποσοστό σημείων εντοπισμού που δεν ανήκουν σε κτίσμα. Η σχέση που συνδέει τα δύο ποσοστά είναι αντιστρόφως ανάλογη και στην προσπάθειά αύξησης του δεύτερου ποσοστού, πολλές φορές καταλήγουμε να έχουμε μείωση του πρώτου. Στόχος είναι η επιλογή των ρυθμίσεων και της αλληλουχίας των διαδικασιών και κριτηρίων που θα δίνουν το βέλτιστο αποτέλεσμα, που συνδυάζει την μέγιστη και αρμονική ακρίβεια των δύο ποσοστών.

Τέλος κατά την εκτέλεση της διαδικασίας ελέγχονται παράλληλα προβλήματα και ακρίβειες που προκύπτουν από την εισαγωγή αναλογικών δεδομένων, χαρτών της γεωγραφικής υπηρεσίας (ΓΥΣ), ως δεδομένα σύγκρισης.

Επομένως η παραπάνω διαδικασία μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω και περιγράφεται από το διάγραμμα ροής που ακολουθεί.

4.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ



Εικόνα 56 - Διάγραμμα Ροής

4.3 ΒΗΜΑ 1: ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Πρωταρχικό στοιχείο της όλης διαδικασίας είναι, όπως είναι λογικό και αυτονόητο, η επιλογή δεδομένων.

Είναι σημαντικό να καθορίσουμε επακριβώς το πρόβλημα που προσπαθούμε να λύσουμε και την προσέγγισή του ώστε να ορίσουμε τα κριτήρια με τα οποία θα γίνει η επιλογή των δεδομένων.

Σκοπός μας είναι να μπορέσουμε να εντοπίσουμε με γρήγορο και οικονομικό τρόπο κτίσματα σε μία ψηφιακή εικόνα. Η διαδικασία της ανίχνευσης, όπως περιγράφηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, μπορεί να γίνει, με διαφορετικό βαθμό επιτυχίας κατά περίπτωση, με ποικίλους τρόπους. Τα δεδομένα τα οποία έχουμε στην διάθεσή μας καθορίζουν τον τρόπο προσέγγισης και επίλυσης του προβλήματος. Η σχέση αυτή όμως δεν είναι μονοσήμαντη. Σε πολλές περιπτώσεις, προκειμένου να γίνει ο εντοπισμός με μεγαλύτερη επιτυχία ή αν τα δεδομένα δεν είναι επαρκή, χρειάζονται επιπλέον ή διαφορετικής φύσης δεδομένα.

Ο παραπάνω συλλογισμός στηρίζεται στη πρώτη αρχή του σκοπού μας, το μικρό κόστος της διαδικασίας.

Επιγραμματικά τα δεδομένα τα οποία θα χρειαστούμε είναι:

1. ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ – ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ
2. ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (DSM)
3. ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ (DTM)
4. ΦΑΣΜΑΤΙΚΟ ΚΑΝΑΛΙ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΓΓΥΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ (NIR)

4.3.1 Ψηφιακή Εικόνα

Βασικό δεδομένο, όπως είναι αυτονόητο για την συγκεκριμένη διαδικασία, είναι η εικόνα. Μία εικόνα στην οποία υπάρχει το αντικείμενο μελέτης, τα κτίσματα, σε όσο το δυνατόν περισσότερους από τους συνήθεις συνδυασμούς προκειμένου η φάση ελέγχου της αξιοπιστίας της μεθόδου να μπορεί να γενικευθεί.

Υπάρχει ποικιλία εικόνων από τις οποίες μπορούμε να επιλέξουμε, όπως αναπτύχθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο. Οι εικόνες μπορεί, συνοπτικά, να είναι:

- Αναλογικές αεροφωτογραφίες
- Ψηφιακές αεροφωτογραφίες
- Δορυφορικές λήψεις

Από τις παραπάνω επιλογές θα περιοριστούμε στις ψηφιακές εικόνες, καθώς αυτές καλύπτουν καλύτερα τα κριτήρια στα οποία στηρίζεται η παρούσα εργασία. Με την ψηφιακή εικόνα επιτυγχάνουμε:

- Την μαζικότητα της μεθόδου
- Την οικονομία

- Την ταχύτητα
- Την ευκολία στην επεξεργασία

Φυσικά από την διαδικασία δεν εξαιρούνται οι αναλογικές εικόνες στην περίπτωση που αυτές ή τα αρνητικά ή τα διαθετικά τους ψηφιοποιηθούν με την βοήθεια ενός σαρωτή.

Η ψηφιακή εικόνα που θα χρησιμοποιήσουμε μπορεί να είναι:

1. A) μία απλή λήψη
B) μία ορθοφωτογραφία
2. A) σε ένα αυθαίρετο σύστημα
B) γεωαναφερμένη

Η απλή λήψη είναι εκείνη που προκύπτει από την καταγραφή της πληροφορίας από τον δέκτη ανάλογα με τον τρόπο που αυτός λειτουργεί. Στην περίπτωση που ο δέκτης είναι μία αναλογική μηχανή η απλή λήψη αντιστοιχεί στην κεντρική προβολή. Στην περίπτωση των δορυφορικών δεκτών είναι αυτή που παρέχεται από την εταιρία διάθεσης και προκύπτει από τον τρόπο λειτουργίας του δέκτη (Κεφάλαιο 2 – whiskbroom και pushbroom).

Η ορθοφωτογραφία είναι το αποτέλεσμα της διαδικασίας μετατροπής της προβολής του τρόπου συλλογής της πληροφορίας από τον δέκτη σε ορθή προβολή.

Η ορθοφωτογραφία έχει διορθωμένη την σχετική θέση των αντικειμένων μέσα στην εικόνα με αποτέλεσμα ο εντοπισμός των κτισμάτων να είναι αναφερμένος σε ένα μη εξαρτημένο σύστημα και διορθωμένος από την εκτροπή του ανάγλυφου.

Η ψηφιακή εικόνα ακόμη και με την μορφή της ορθοφωτογραφίας δεν είναι απαραίτητο να είναι γεωαναφερμένη, δηλαδή συνδεδεμένη με ένα κρατικό σύστημα αναφοράς, αλλά μπορεί να είναι σε ένα αυθαίρετο σύστημα.

Στην περίπτωση που επιλέξουμε η εικόνα μας να είναι σε αυθαίρετο σύστημα δεν θα μπορούμε να συνδέσουμε τα αποτελέσματα του εντοπισμού με θέσεις πάνω στη Γη.

Επιλέγουμε, λοιπόν, κατά προτίμηση, η ψηφιακή εικόνα που θα χρησιμοποιήσουμε ως δεδομένο να είναι η ορθοφωτογραφία της περιοχής μελέτης που έχει επιπλέον γεωαναφερθεί.

Αν η παραπάνω επιλογή δεν είναι δυνατή, συνιστάται η εφαρμογή της φωτογραμμετρικής διαδικασίας ώστε να παραχθούν τα ανωτέρω προϊόντα.

4.3.2 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

Ο τρόπος με τον οποίο θα προσπαθήσουμε να κάνουμε τον εντοπισμό θα καθορίσει και τα λοιπά δεδομένα.

Η διαδικασία στηρίζεται σε μία πολυκριτηριακή λογική με την ανάπτυξη, περισσότερων του ενός, μεθόδων προκειμένου:

1. Να εντοπιστούν περιοχές στις οποίες υπάρχουν κτίσματα
2. Να απαλειφθούν περιοχές στις οποίες δεν υπάρχουν κτίσματα

Απαραίτητη προϋπόθεση για τον εντοπισμό των κτισμάτων βάση της διαδικασίας που ακολουθείτε είναι η ύπαρξη ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM) ή η δυνατότητα ύπαρξης υψομετρικής πληροφορίας.

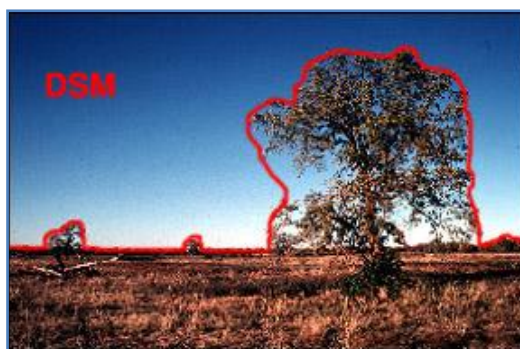
Τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρου (DEM) είναι μία ψηφιακή αναπαράσταση της υψομετρικής πληροφορίας του εδάφους που μπορεί να αναπαρασταθεί είτε από ένα πλέγμα σημείων είτε από ένα ακανόνιστο δίκτυο τριγώνων (TIN).

Η κύρια έκφραση του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρου (DEM) είναι τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DTM) τα οποία αναπαριστούν την επιφάνεια του εδάφους απαλλαγμένη από την βλάστηση και τις κατασκευές που βρίσκονται πάνω από αυτό.



Εικόνα 57 - Επίπεδο ανίχνευσης ενός DTM

Στον αντίποδα υπάρχουν τα ψηφιακά μοντέλα επιφανείας (DSM) τα οποία περιλαμβάνουν κτίσματα, γέφυρες, βλάστηση στην υψομετρική πληροφορία που φέρουν.



Εικόνα 58 - Επίπεδο ανίχνευσης ενός DSM

4.3.3 Εγγύς Υπέρυθρο

Στην περιοχή μελέτης η αλλαγή στην υψομετρική ταυτότητα του σημείου μπορεί να προέρχεται είτε από την ύπαρξη ενός κτίσματος είτε από την ανάπτυξη της βλάστησης. Προκειμένου να αποφύγουμε τον εντοπισμό της ανάπτυξης της βλάστησης ως κτίσματα, θα κάνουμε χρήση των φασματικών ιδιοτήτων των δεκτών για να απαλείψουμε την βλάστηση.

Ένα επιπλέον δεδομένο το οποίο θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε στην διαδικασία είναι λήψη στο υπέρυθρο φάσμα του φωτός, το φασματικό κανάλι που είναι ευαίσθητο στην ανίχνευση της βλάστησης με τρόπο που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Δυνατότητα διάθεσης δεδομένων με ψηφιακές εικόνες στο εγγύς υπέρυθρο έχουν σχεδόν το σύνολο των δορυφορικών δεκτών (πολυφασματικά κανάλια) και των ψηφιακών αερομηχανών.

Η επιλογή και η συλλογή των δεδομένων θα ορίζεται και θα αποτελεί στο εξής την είσοδο των δεδομένων στο σύστημα με τον όρο INPUT.

4.4 ΒΗΜΑ 2: ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.4.1 Δημιουργία Υψομετρικού Κανάβου σε Κοινό Σύστημα Αναφοράς

Η ποικιλία των πηγών από τις οποίες μπορούμε να λάβουμε δεδομένα έχουν ως συνέπεια τα δεδομένα να είναι:

- i. Σε διαφορετική μορφή
- ii. Σε διαφορετικό σύστημα αναφοράς

Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα η πρώτη επεξεργασία που θα πρέπει να υποστούν τα δεδομένα να είναι η μετατροπή τους με συμβατή μορφή.

Ως εκ τούτου χρειαζόμαστε ένα πλήθος επεξεργασιών που θα είναι σε θέση:

- i. Να μετατρέπουν την ASCII μορφή των δεδομένων σε πίνακα (raster), διατηρώντας την γεωαναφορά
- ii. Να μετατρέπουν σε ASCII τα δεδομένα που είναι σε μορφή πίνακα (raster)
- iii. Να μετατρέπουν το βήμα του κάναβου σε άλλο, διαφορετικού μεγέθους
- iv. Να επιλέγουν τμήμα της περιοχής διατηρώντας την γεωαναφορά
- v. Να μετατρέπουν τις συντεταγμένες από το ένα σύστημα στο άλλο

Οι παραπάνω διαδικασίες αποτελούν κομμάτι της προεπεξεργασίας και παρόλο που δεν είναι ο βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι απαραίτητες προκειμένου να είναι δυνατή η επεξεργασία των δεδομένων και επηρεάζουν κατά μεγάλο βαθμό την ακρίβεια της μεθόδου, καθώς σφάλματα που ενδεχομένως εισαχθούν σε αυτή την φάση θα είναι ουσιαστικά πρωτογενή και θα μεταφερθούν σε όλη την διαδικασία.

Η προεπεξεργασία των δεδομένων μπορεί:

- i. να είναι κομμάτι της επεξεργασίας
- ii. να εμπλέκεται στην διαδικασία πολλές φορές μέσω των αλγορίθμων επεξεργασίας

- iii. να γίνετε με την βοήθεια εξωτερικών (από τον αλγόριθμο επεξεργασίας) προγραμμάτων και τα αποτελέσματα να χρησιμοποιούνται εκ νέου ως νέα είσοδος στο σύστημα

4.5 ΒΗΜΑ 3: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.5.1 Εντοπισμός Κτισμάτων

4.5.1.1 Αφαίρεση DEM – Έλεγχος Υψομετρικής Διαφοράς

Η υψομετρική πληροφορία συλλέγεται δύο φορές προκειμένου να υπολογιστεί η υψομετρική διαφορά. Το αρχικό DEM περιέχει η υψομετρική ταυτότητα της περιοχής, με τα προς εντοπισμό αντικείμενα (κτίσματα) και η δεύτερη την υψομετρική ταυτότητα χωρίς τα προς εντοπισμό αντικείμενα (κτίσματα). Πρώτη επεξεργασία την οποία θα εκτελεστεί είναι η αφαίρεση των δύο DEM και ο έλεγχος της υψομετρικής διαφοράς τους.

Οι περιπτώσεις των δεδομένων που μπορούμε να έχουμε είναι τρεις (3):

1. Το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (DSM) μίας χρονικής περιόδου (δεδομένα αναφοράς)
2. Το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (DSM) μίας παλαιότερης χρονικής περιόδου (δεδομένα σύγκρισης)
3. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) τωρινής ή παλαιότερης χρονικής περιόδου. Οι αλλαγές στην υψομετρική πληροφορία του DTM στην διάρκεια του χρόνου δεν είναι, συνήθως μεγάλες και δεν περιέχει πληροφορία για τα κτίσματα, αλλά προτιμάτε να είναι όσο το δυνατόν πιο σύγχρονη στην περίοδο των δεδομένων αναφοράς για καλύτερα αποτελέσματα (δεδομένα σύγκρισης)

Στην περίπτωση που η σύγκριση των δεδομένων (αφαίρεση των υψομετρικών διαφορών) γίνει ανάμεσα στην πρώτη (1^η) και την δεύτερη (2^η) επιλογή (ανάμεσα σε δύο DSM διαφορετικής περιόδου) στο αποτέλεσμα τα μη μηδενικά στοιχεία θα αντιστοιχούν στις διαφορές που συντελέστηκαν στο ανάγλυφο της περιοχής ανάμεσα στην χρονική περίοδο λήψης του πρώτου (1^{ου}) ψηφιακού μοντέλου επιφανείας και του δεύτερου (2^{ου}). Η μέθοδος δεν θα εντοπίσει όλα τα κτίσματα αλλά αυτά που κατασκευάστηκαν από την χρονολογία λήψης του πρώτου (1^{ου}) μοντέλου και μετέπειτα.

Εναλλακτικά μπορούμε να συγκρίνουμε, αφαιρώντας τις υψομετρικές διαφορές, ενός εκ των ψηφιακών μοντέλων επιφανείας (κατά προτίμηση το πιο πρόσφατο) με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DSM), το οποίο στην παρούσα διαδικασία εξάγεται από τα φύλλα χάρτη της ΓΥΣ για την περιοχή μελέτης. Η διαφορά του ψηφιακού μοντέλου εδάφους από αυτό της επιφανείας είναι ότι δεν απεικονίζει το σύνολο της υψομετρικής πληροφορίας περιλαμβανομένης των φυσικών και τεχνητών αντικειμένων πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, όπως κάνουν τα ψηφιακά μοντέλα επιφανείας, αλλά αποκλειστικά την υψομετρική πληροφορία που αντιστοιχεί στο έδαφος.

Το αποτέλεσμα της αφαίρεσης στην ιδεατή περίπτωση θα έχει τιμή μηδέν (0) όπου δεν υπάρχει αλλαγή στην κατηγορία (το έδαφος για παράδειγμα παραμένει έδαφος) και τιμή ανάλογη με το ύψος του κτίσματος στην περίπτωση που έχουμε αλλαγή. Η αλλαγή αυτή αποτελεί και την αρχή του εντοπισμού του κτίσματος.

4.5.1.2 Κατηγοριοποίηση Αποτελεσμάτων

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό το αποτέλεσμα της διαδικασίας μπορεί να έχει ένα πλήθος τιμών. Σκοπός, όμως, της διαδικασίας είναι να κάνουμε ανίχνευση αντικειμένων, να εστιάσουμε σε μία ομάδα εικονοστοιχείων (pixel) και όχι σε κάθε ένα εικονοστοιχείο μεμονωμένα. Είναι απαραίτητη, λοιπόν, η κατηγοριοποίηση (ομαδοποίηση) των τιμών των διαφορών.

4.5.1.2.1 Κατωφλίωση

Η κατωφλίωση είναι η πιο απλή μέθοδος και χωρίζει τα δεδομένα σε δύο (2) επιμέρους λογικές κατηγορίες (true or false) βάση της εκτέλεσης μίας λογικής πράξης. Η μέθοδος μπορεί να προσεγγισθεί εύκολα από το ερώτημα αν το εικονοστοιχείο αντιστοιχεί σε κτίσμα ή όχι. Η λογική αυτή πράξη θα έχει ως αποτέλεσμα αληθές (true) στην περίπτωση που το εικονοστοιχείο έχει μία διαφορά υψομέτρου σε σχέση με το αντίστοιχό του στο δεύτερο DTM και ψευδές (false) στη περίπτωση που η διαφορά είναι μηδενική (ή σχεδόν μηδενική).

Επειδή οι μετρήσεις, όποιος και να είναι ο τρόπος συλλογής τους, έχουν μικρά ή μεγάλα σφάλματα, η διαφορά θα περιέχει μέσα της και το σφάλμα (εξού και η πιθανότητα η διαφορά να είναι «σχεδόν» μηδενική).

Ακόμη μπορούμε να αντιληφθούμε ότι οποιοδήποτε κτίσμα θα πρέπει να έχει ένα ελάχιστο υψόμετρο. Δεν μπορούμε, για παράδειγμα, να θεωρήσουμε ως κτίσμα μία κατασκευή με ύψος μέχρι 2 m ή ακόμη και να είναι κτίσμα δεν είναι σκοπός της παρούσας διπλωματικής να το εντοπίσει.

Κρίνοντας και συνδυάζοντας τα παραπάνω κριτήρια θα πρέπει να γίνει η επιλογή του σημείου κατωφλίωσης που είναι σε κάθε περίπτωση θετικό και κατά γενικό τεκμήριο κυμαίνεται στις τιμές 2-3 m \pm σφάλμα DTM.

Ο αλγόριθμος που τρέχει σε αυτή την φάση, διαβάζει τα δεδομένα και τα κατηγοριοποιεί ανάλογα σε ποια ομάδα υψομέτρου ανήκουν. Δημιουργεί, δηλαδή, ένα αρχείο κλώνο του αρχικού, στο οποίο αντί για άπειρες τιμές υψομέτρου, υπάρχουν μόνο δύο (2):

- η μηδενική (0), που αντιστοιχεί στα εικονοστοιχεία που ανήκουν στο έδαφος και έχουν υψόμετρο χαμηλότερο από αυτό που ορίσαμε ως κατώφλι, και
- το ένα (1), που αντιστοιχεί στα κτίσματα και την βλάστηση, που αναπτύσσονται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και έχουν υψόμετρο μεγαλύτερο από την τιμή που ορίσαμε ως κατώφλι.

Ο παραπάνω τρόπος κατηγοριοποίησης παρόλο που είναι απλουστευμένος έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς:

- i. Ακολουθεί κατά κανόνα το λογικό συμπέρασμα της αφαίρεσης των δύο DTM στην θεωρία
- ii. Το αποτέλεσμα είναι άμεσα επεξεργάσιμο χωρίς να χρειάζονται αφαιρέσεις ή συνενώσεις κατηγοριών

4.5.1.2.2 Στοχευμένη Ομαδοποίηση

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφέραμε την διαδικασία της κατωφλίωσης αλλά και το γεγονός ότι στην επεξεργασία των δεδομένων υπεισέρχονται σφάλματα.

Επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε μία πιο διευρυμένη διαδικασία ομαδοποίησης από αυτή της κατωφλίωσης από την οποία προκύπτουν οι εξής κατηγορίες:

- i. Κάτω σφάλμα (τιμές που είναι πολύ μικρότερες από το μηδέν)
- ii. Έδαφος (η τιμή μηδέν με την ανοχή του σφάλματος)
- iii. Κτίσματα (τιμές από 3 m έως 21 m με την ανοχή του σφάλματος – θεωρούμε ότι στην περιοχή δεν υπάρχουν ψηλότερα από 7όροφα κτίσματα)
- iv. Άνω σφάλμα (τιμές που είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από το ψηλότερο προσδοκώμενο κτίσμα)

Η διαδικασία αυτή λειτουργεί με τρόπο αντίστοιχο με τον προγραμματισμό λειτουργίας της κατωφλίωσης. Ο αλγόριθμος διαβάζει τα δεδομένα και τα εντάσσει σε νέες κατηγορίες ανάλογα με το υψόμετρό τους. Δημιουργεί, λοιπόν, ομάδες με συγκεκριμένα και προϋπολογισμένα, βάση λογικών συνειρμών, όρια και εύρη ομάδας. Η λογική που ακολουθεί η επιλογή των ορίων παρουσιάστηκε παραπάνω.

Στην ουσία, σε σχέση με την προηγούμενη διαδικασία, ο αλγόριθμος δημιουργεί δύο (2) επιπλέον κατηγορίες, του άνω και του κάτω σφάλματος, οι οποίες μπορούν να ενωθούν και να νοηθούν ως μία (1). Και στις δύο περιπτώσεις οι κατηγορίες αυτές αντιστοιχούν σε σφάλματα κυρίως αστοχίας του μοντέλου ή χονδροειδή, τα οποία κατά την παραγωγή και αναδόμηση των ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου ή εδάφους ή υψομέτρων παρασύρουν τα γειτονικά εικονοστοιχεία με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια ομάδα λάθος εικονοστοιχείων, η οποία με την σειρά της κατηγοριοποιείται ως λάθος.

4.5.1.2.3 Ταξινόμηση (Classification)

Η διαδικασία της ταξινόμησης όπως περιγράφηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο στηρίζεται στα στατιστικά χαρακτηριστικά της εικόνας προκειμένου να κατηγοριοποιήσει τα δεδομένα. Η επιλογή του πλήθους των κατηγοριών είναι η είσοδος σε αυτή την υποδιαδικασία και η έξοδος είναι ομάδες δεδομένων με ομαδοποιημένα στατιστικά χαρακτηριστικά.

Ο διαχωρισμός σε ομάδες γίνεται σε σχέση με τα στατιστικά γνωρίσματα της ψηφιακής εικόνας. Με αυτόν τον τρόπο, διαφορετικές εικόνες θα έχουν διαφορετικά γνωρίσματα. Σε περίπτωση μίας πυκνοδομημένης περιοχής θα υπάρχουν πολλές ομάδες κτισμάτων ενώ στην περίπτωση μίας αραιοδομημένης

περιοχής θα υπάρχουν πολλές ομάδες που θα αντιστοιχούν σε «έδαφος». Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι να μην είναι σταθερά τα όρια μεταξύ των κατηγοριών ανά περιοχή και να δημιουργούνται πολλές ομάδες για μία κατηγορία ανάλογα με την σύνθεση της περιοχής.

Ακόμη και στην περίπτωση που επιλέξουμε ο αλγόριθμος της ταξινόμησης να δίνει ως έξοδο δύο (2) κατηγορίες, οι κατηγορίες αυτές δεν θα είναι λογικά χωρισμένες αλλά επηρεασμένες από τα στατιστικά στοιχεία της εκάστοτε εικόνας.

Σε όλες τις περιπτώσεις **η μέθοδος δεν εξασφαλίζει ότι οι κατηγορίες που δημιουργήσε είναι χωρισμένες βάσει των κανόνων της λογικής**. Τα όρια δηλαδή που δημιουργεί ο αλγόριθμος στηρίζονται αποκλειστικά στην κατανομή των διαφορών υψομέτρου στην εικόνα.

Ο χρήστης ακόμη και στα σχετικώς καλά κατηγοριοποιημένα δεδομένα, θα πρέπει να επέμβει για την αναγνώριση και την αντιστοίχιση των κατηγοριών που δημιούργησε ο αλγόριθμος.

Παρόλα αυτά η διαδικασία μπορεί να δώσει αρκετά αποτελέσματα και συμπεράσματα για την εικόνα, όπως η ανίχνευση περιοχών αστοχίας του DTM και περιοχών που ενδεχομένως τα αποτελέσματα των άλλων μεθόδων θα δίνουν επισφαλή αποτελέσματα.

4.5.2 Απαλοιφή Περιοχών που Δεν Είναι Κτίσματα - NDVI

Εκτός από τις περιοχές στις οποίες υπάρχουν κτίσματα, υπάρχουν και άλλες περιοχές στις οποίες δεν είναι δυνατόν να υπάρχουν κτίσματα. Οι περιοχές αυτές είναι οι περιοχές βλάστησης. Αν εξαιρέσουμε την περίπτωση η οροφή ενός κτίσματος να είναι καλυμμένη με βλάστηση (στην Ελλάδα οι περιπτώσεις αυτές είναι ελάχιστες), η οροφή ενός κτίσματος είναι κατά κανόνα πλάκα ή έχει κεραμίδια. Τα δύο αυτά υλικά έχουν εντελώς διαφορετική φασματική υπογραφή από αυτή της βλάστησης.

Κάνοντας, λοιπόν, έναν υπολογισμό του δείκτη βλάστησης, ο οποίος στηρίζεται στο γεγονός ότι η ακτινοβολία από το υπέρυθρο κανάλι του δέκτη απορροφάται στο σύνολό της από την χλωροφύλλη και την υγρασία, μπορούμε να εντοπίσουμε τις περιοχές με βλάστηση, και ως εκ τούτου τις περιοχές που δεν είναι δυνατόν να υπάρχουν κτίσματα.

Ο αλγόριθμος αφού υπολογίσει τον δείκτη βλάστησης, κάνοντας εφαρμογή του παρακάτω τύπου, θέτει ένα όριο κάτω από το οποίο οι τιμές του δείκτη βλάστησης δεν δικαιολογούν την ύπαρξη βλάστησης και πάνω από τον οποίο η περιοχή (εικονοστοιχείο) είναι βλάστηση.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

όπου:

- NIR είναι η τιμή της ακτινοβολίας στην ορθοφωτογραφία που έχει προκύψει από το κανάλι 4 (εγγύς υπέρυθρο) του δέκτη

- RED είναι η τιμή της ακτινοβολίας στην ορθοφωτογραφία που έχει προκύψει από το κανάλι 3 (κόκκινο) του δέκτη

Οι τιμές που μπορεί να κυμαίνεται το NDVI είναι από -1 έως 1. Για τον δορυφορικό δέκτη IKONOS, που μέχρι τώρα αποτελεί την κυριότερη πηγή ψηφιακών εικόνων υψηλής ανάλυσης, κατά κανόνα βλάστηση έχουμε για τιμές μεγαλύτερες από 0.1, καθώς ο δέκτης έχει σχετικά υψηλή ευαισθησία στο κόκκινο και χαμηλή στο εγγύς υπέρυθρο.

Σε κάθε περίπτωση μπορούμε ως όριο της βλάστησης να βάλουμε μία τιμή ακόμη μικρότερη και να χρησιμοποιήσουμε με αυτό τον τρόπο ένα πιο αυστηρό κριτήριο, αφού, για παράδειγμα, οι τιμές από μηδέν (0) έως 0.1 μπορεί να μην αντιστοιχούν αποκλειστικά σε βλάστηση αλλά σε καμία περίπτωση δεν ερμηνεύονται ως κτίσματα (σκυρόδεμα ή κεραμίδια), κατηγορία η οποία είναι και η μοναδική που **δεν** θέλουμε να αφαιρέσουμε από την παρούσα διαδικασία.

Ακολουθεί η κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων σε εικόνα (πίνακα) κλώνο του αρχικού, με τιμές μηδέν (0) και ένα (1), που αντιστοιχεί στο αληθές και το ψευδές αντίστοιχα. Τα εικονοστοιχεία με τιμή μεγαλύτερη του ορίου θεωρούνται βλάστηση και παίρνουν την τιμή 0 (αληθές στο ερώτημα «Είναι βλάστηση;»), ενώ τα εικονοστοιχεία με τιμή μικρότερη από το όριο θεωρούνται περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει βλάστηση και είναι πιθανό να υπάρχει το προς αναζήτηση στοιχείο (κτίσμα), παίρνουν την τιμή 1 (ψευδές).

4.5.3 Μορφολογικό Φίλτρο

Τα μορφολογικά φίλτρα είναι, όπως περιγράφηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, φίλτρα τα οποία στηρίζουν την λειτουργία τους στην μορφή (σχήμα) των αντικειμένων στην εικόνα.

Στην διαδικασία που περιγράφεται, δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιο γνωστό μορφολογικό φίλτρο, αλλά κατασκευάστηκε ένα νέο μικρών δυνατοτήτων βάσει δεδομένων του σχήματος και του μεγέθους των κτισμάτων που συνήθως παρατηρούνται στον ελληνικό χώρο.

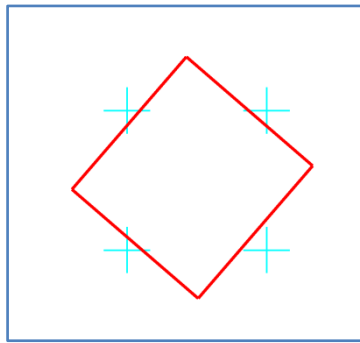
Η λειτουργία του έχει διττό σκοπό:

- i. Αρχικά να περιορίζει τις κηλίδες (bubbles) εντοπισμού κτισμάτων, αφαιρώντας εικονοστοιχεία από την περίμετρο και κάνοντας τον εντοπισμό πιο ακριβή
- ii. Να εξαφανίσει τον θόρυβο από τυχαία σημεία, λανθασμένης πιθανότητας, κατηγοριοποίησης ως κτίσματα, αφαιρώντας τα στο σύνολό τους

Πριν την κατασκευή του αλγόριθμου έγινε έρευνα για τον τρόπο εμφάνισης ενός κτίσματος σε εικόνα-ορθοφωτογραφία με εδαφοψηφίδα 3 m.

Αν το DTM της εικόνας έχει πυκνότητα 3 m, μπορεί να εντοπισθεί κτίσμα αν τουλάχιστον ένα (1) εικονοστοιχείο πέφτει στην οροφή του κτίσματος. Για να γίνει το κριτήριο πιο αυστηρό μπορούμε να αυξήσουμε τον αριθμό αυτό εντοπίζοντας κάθε φορά και μεγαλύτερα, κατ' ελάχιστο, κτίσματα.

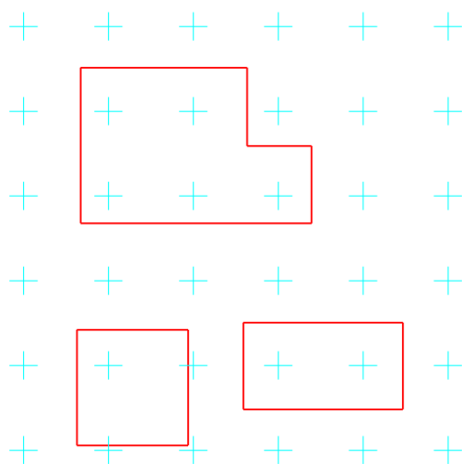
Στην περίπτωση που αρκούσε ένα υψόμετρο να αντιστοιχεί στο κτίσμα, τότε θα μπορούσαμε, γενικώς, να θεωρήσουμε ότι η μέθοδος θα μπορούσε να εντοπίσει έως και κτίσματα 3 m x 3 m (9 m²). Φυσικά ακόμη και σε αυτή την περίπτωση είναι πιθανό, όπως παρουσιάζεται γραφικά παρακάτω (Εικόνα 59), το κτίσμα να είναι σε θέση ενδιάμεση των καννάβων και με τέτοια στροφή που ακόμη και με αυτή την έκταση να μην είναι δυνατός ο εντοπισμός του.



Εικόνα 59 - Μη εντοπίσιμο κτίσμα

Σε κάθε περίπτωση ένα κτίσμα 9 m² δεν είναι σημαντικό, δεν μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως κτίσμα και πιθανότατα είναι βοηθητικός χώρος. Επομένως, για τις ανάγκες της μελέτης μας, δεν κρίνεται απαραίτητο να εντοπιστούν τέτοιου μεγέθους κτίσματα.

Θεωρούμε σημαντικά τα κτίσματα που καλύπτονται κατ' ελάχιστο από τέσσερα (4) υψομετρικά σημεία του κάνναβου (4 εικονοστοιχεία υψομετρικής πληροφορίας) και έχουν εμβαδόν τουλάχιστον 36 m² στην ιδανική περίπτωση. Σε γενικές περιπτώσεις, δεχόμενοι ότι τα σημεία υψομέτρου του κάνναβου δεν πέφτουν στατιστικά πάντα στις άκρες του κτίσματος, αλλά τυχαία σε ολόκληρη την επιφάνεια της οροφής του, η μέση έκταση του εντοπίσιμου κτίσματος είναι περί τα 50 m², εμβαδόν αρκετό για τον εντοπισμό σχεδόν του συνόλου των κτισμάτων που αναμένεται να εμφανιστούν.



Εικόνα 60 - Τμήμα περιοχής μελέτης

Πίνακας 14 - Αντίστοιχος πίνακας επιλογής

0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0

Η λειτουργία του αλγόριθμου στηρίζεται στην σύγκριση της κατηγορίας που ανήκει ένα εικονοστοιχείο με τα γειτονικά του, σε ένα παράθυρο 3 x 3, που εύκολα μπορεί να διευρυνθεί σε 5 x 5 κοκ.

Ο αλγόριθμος δημιουργεί κλώνους της κατηγοριοποιημένης εικόνας, η οποία αποτελεί και την είσοδο στο σύστημα, και την μετακινεί σε όλες τις γειτονικές θέσεις.

Πίνακας 15 - Κλώνος Πάνω-Αριστερά (NE) θέσης

1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Στην νέα εικόνα το στοιχείο που βρισκόταν αρχικά στην θέση (3,3) και έχει μετακινηθεί πάνω-αριστερά, πλέον βρίσκεται στην θέση (2,2). Η αντίστοιχη διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις γειτονικές θέσης και αντίστοιχες μετακινήσεις.

Η επίθεση της μητρικής εικόνας με τον κάθε κλώνο δίνει απάντηση στο εάν η κατηγορία του κεντρικού εικονοστοιχείου είναι όμοια με αυτή του γειτονικού, στην θέση που ο κλώνος έχει μετακινηθεί. Σε περίπτωση που είναι όμοια η απάντηση είναι αληθές (T = True) και αντιστοιχεί σε 1, ενώ στην περίπτωση που είναι διαφορετικά η απάντηση είναι ψευδές (F = False) και αντιστοιχεί σε 0.

Πίνακας 16 - Σχέση μητρικού με κλώνο NE (T or F)

F	F	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T
T	F	F	F	T	T
F	T	F	F	T	T
T	F	T	F	F	T
T	T	T	T	T	T

Πίνακας 17 - Σχέση μητρικού με κλώνο NE (0 ή 1)

0	0	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1
0	1	0	0	1	1
1	0	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1

Η διαδικασία όπως είναι δομημένη κάνει ταυτόχρονο έλεγχο σε όλα τα εικονοστοιχεία μίας εικόνας και παρέχει μαζικά και γρήγορα αποτελέσματα.

Οι πίνακες που έχουν δημιουργηθεί από την σύγκριση των μητρικών κατηγοριοποιημένων εικόνων με τους μετακινημένους κλώνους έχουν τιμή μηδέν (0) εάν το εικονοστοιχείο της δεδομένης θέσης είναι διαφορετικής κατηγορίας με το προς εξέταση γειτονικό του και ένα (1) εφόσον είναι ίδιας.

Να προσθέσουμε σε αυτό το σημείο ότι στην περίπτωση, για παράδειγμα, που το παράθυρο ανίχνευσης είναι 3×3 τότε οι κλώνοι που δημιουργούνται είναι 8 και το πλήθος τους υπολογίζεται από τον τύπο $(n \cdot n) - 1$, όπου n ο αριθμός της πλευράς (των εικονοστοιχείων) του παραθύρου ανίχνευσης.

Εάν προσθέσουμε και τους οκτώ (8) κλώνους μπορούμε να βρούμε πόσα από τα γειτονικά εικονοστοιχεία ανήκουν στην ίδια κατηγορία με το προς εξέταση εικονοστοιχείο. Στην περίπτωση, για παράδειγμα, που η τιμή αυτής της πράξης είναι 8, σημαίνει ότι όλα τα γειτονικά εικονοστοιχεία ανήκουν στην ίδια κατηγορία με το προς εξέταση, ενώ εάν είναι μηδέν (0) κανένα.

Πίνακας 18 - Άθροισμα κλώνων

2	3	2	4	5	3
2	3	4	5	7	5
3	3	4	2	7	5
3	5	3	4	5	4
3	0	6	1	1	4
2	2	3	3	3	2

Στο παραπάνω πίνακα χρωματίζονται με κόκκινο τα εικονοστοιχεία εκείνα που από τα δύο (2) πρώτα κριτήρια είχαν κατηγοριοποιηθεί ως κτίσματα.

Ένα εικονοστοιχείο (5,2) που έχει κατηγοριοποιηθεί ως κτίσμα και έχει τιμή στο μορφολογικό κριτήριο μηδέν (0), είναι προφανές ότι πιθανότατα τελικά δεν είναι κτίσμα καθώς το μέγεθός του είναι μικρότερο από αυτό που έχουμε θέση ως όριο εντοπισμού.

Το κριτήριο δεν στέκεται σε αυτή την απλή μορφή αλλά εμβαθύνει και θέτει ως ελάχιστη προϋπόθεση για να εξακολουθεί ένα εικονοστοιχείο να κατηγοριοποιείται ως κτίσμα τα εξής:

- i. Δύο (2) γειτονικά εικονοστοιχεία ανήκουν στην ίδια κατηγορία με το κεντρικό και είναι γειτονικά μεταξύ τους

- ii. Τρία (3) γειτονικά εικονοστοιχεία ανήκουν στην ίδια κατηγορία με το κεντρικό και είναι γειτονικά μεταξύ τους (ανάγεται στην περίπτωση i)
- iii. Τέσσερα (4) γειτονικά εικονοστοιχεία ανήκουν στην ίδια κατηγορία με το κεντρικό και είναι γειτονικά μεταξύ τους (ανάγεται στην περίπτωση i)
- iv. Τέσσερα (4) γειτονικά εικονοστοιχεία ανήκουν στην ίδια κατηγορία με το κεντρικό και είναι σε διάταξη σταυρού (περίπτωση που εντοπίζεται μικρό κτίσμα με στροφή σε σχέση με τον προσανατολισμό της εικόνας)
- v. Πέντε (5) ή περισσότερα εικονοστοιχεία ανήκουν στην ίδια κατηγορία με το κεντρικό

Στην περίπτωση που ικανοποιείται ένα εκ των παραπάνω κριτηρίων ο αλγόριθμος συμπληρώνει με ένα (1) το εικονοστοιχείο ελέγχου, ενώ στην περίπτωση που δεν ικανοποιούνται με μηδέν (0).

Η εφαρμογή του μορφολογικού φίλτρου μπορεί να γίνει είτε στο αποτέλεσμα της διαδικασίας κατηγοριοποίησης είτε στην σύνθεση του κριτηρίου της κατηγοριοποίησης με το κριτήριο του δείκτη βλάστησης. Η μέθοδος σύνθεσης και τα πλεονεκτήματα της περιγράφονται παρακάτω.

Να προσθέσουμε, τέλος, ότι δεν μπορούμε να έχουμε πληροφορία για τα άκρα της εικόνας, καθώς αυτά δεν έχουν 8 γειτονικά εικονοστοιχεία, αλλά λιγότερα. Ακόμη το κριτήριο δίνει αποτελέσματα και για τις περιοχές που δεν έχουν κατηγοριοποιηθεί ως κτίσματα. Σε αυτή την περίπτωση το αποτέλεσμα απαλείφεται όταν πολλαπλασιαστεί με την σύνθεση των δύο (2) πρώτων κριτηρίων, όπου κτίσματα νοούνται με ένα (1) και μη-κτίσματα με μηδέν (0).

4.6 ΒΗΜΑ 4: ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Τα κριτήρια έχουν παρουσιαστεί, και εφαρμόζονται στον αλγόριθμο, με την σειρά σπουδαιότητά τους. Κάθε κριτήριο ξεχωριστά μας δίνει ένα αποτέλεσμα, μια εικόνα (πίνακα) με τιμές, που αποτελεί την απάντηση σε ξεχωριστά ερωτήματα. Χρησιμοποιώντας κάθε ένα κριτήριο ξεχωριστά έχουμε ένα αποτέλεσμα με το οποίο κρίνεται η ικανότητα εντοπισμού κτισμάτων.

Τα ερωτήματα που απαντούν τα παραπάνω κριτήρια (βάση της σειράς παρουσίασής τους) σε επίπεδο εικονοστοιχείου και σε σχέση με τα γειτονικά είναι τα εξής:

- i. Εμφανίζεται κατάλληλη υψομετρική διαφορά από την αφαίρεση των DTM, που να δικαιολογεί ύπαρξη κτισμάτων?
- ii. Εμφανίζεται βλάστηση ή όχι (το αληθές σε αυτή την περίπτωση είναι το όχι)?
- iii. Εμφανίζονται αρκετά γειτονικά εικονοστοιχεία ίδιας κατηγορίας?

Σε κάθε περίπτωση το αποτέλεσμα είναι ένας πίνακας με τιμές μηδέν (0) και ένα (1). Το μέγεθος και η γεωαναφορά των πινάκων αυτών είναι κοινή, διαδικασία που φροντίσαμε να κάνουμε από την φάση της προεπεξεργασίας, προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι άμεσα επεξεργάσιμα μεταξύ τους.

Προκειμένου να συνθέσουμε τα αποτελέσματα των κριτηρίων εκτελούμε έναν απλό πολλαπλασιασμό των ομόλογων στοιχείων των πινάκων. Ένα εικονοστοιχείο για να κατηγοριοποιηθεί ως κτίσμα θα πρέπει να απαντά αληθές (1) σε όλες τις παραπάνω ερωτήσεις. Στην περίπτωση που απαντά έστω και σε μία από τις παραπάνω ερωτήσεις ψευδές (0) τότε ο πολλαπλασιασμός περιέχει το μηδέν (0) και το γινόμενο του πολλαπλασιασμού προκύπτει μηδέν (0), επομένως δεν είναι κτίσμα (ψευδές).

Να σημειώσουμε ότι η σύνθεση (πολλαπλασιασμός) των πινάκων γίνεται σε δυάδες (ανά 2). Σκοπός μας είναι να κάνουμε με μία λογική σειρά την σύνθεση των κριτηρίων.

Σε αυτό το σημείο να υπενθυμίσουμε ότι η εφαρμογή του μορφολογικού φίλτρου γίνεται στο αποτέλεσμα της διαδικασίας κατηγοριοποίησης (με τον τρόπο που επιλέγουμε να κάνουμε την κατηγοριοποίηση) ή στην σύνθεση του κριτηρίου της κατηγοριοποίησης με το κριτήριο του δείκτη βλάστησης.

Στην περίπτωση, λοιπόν, που η εφαρμογή γίνει στο αποτέλεσμα της κατηγοριοποίησης, όπου μέρος ή το σύνολο ενδεχομένως της βλάστησης έχει κατηγοριοποιηθεί ως πιθανό κτίσμα, τότε ο αλγόριθμος δεν θα λειτουργήσει επαρκώς καλά.

Υπάρχουν πλήθος παραδειγμάτων που επαληθεύουν αυτή την αστοχία. Μερικές από αυτές περιγράφονται παρακάτω:

- Πιθανή βλάστηση δίπλα σε κτίσματα θα λαμβάνεται από τον αλγόριθμο ως κτίσματα και αντί να μειώνεται η πιθανότητα να είναι κτίσμα ένα γειτονικό εικονοστοιχείο, θα αυξάνεται (διπλό σφάλμα)
- Πιθανή βλάστηση δίπλα σε βλάστηση θα ενισχύει τη πιθανότητα να ανήκει στην ίδια κατηγορία λαμβανομένη ως κτίσμα, ενώ είναι βλάστηση. Βέβαια σε αυτή την περίπτωση η εφαρμογή του δείκτη βλάστησης θα αφαιρεί εκ νέου αυτή την περιοχή από την κατηγορία «κτίσματα»

Επομένως επιλέγουμε να εφαρμόσουμε το μορφολογικό κριτήριο στο αποτέλεσμα που αναμένουμε ο εντοπισμός των κτισμάτων να είναι πιο ακριβής. Στην προκειμένη περίπτωση στην σύνθεση των δύο (2) ανωτέρω κριτηρίων.

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι αναμένουμε η βελτίωση της μεθόδου να έχει μεγάλη αύξηση με την σύνθεση των δύο (2) πρώτων κριτηρίων και μικρότερη με την σύνθεση του τρίτου στο αποτέλεσμα των πρώτων. Η αύξηση της βελτίωσης της ακρίβειας της μεθόδου θα μειώνεται συνεχώς όσο νέα κριτήρια εντάσσονται στην διαδικασία.

Το παραπάνω συμβαίνει επειδή τα νέα κριτήρια έχουν συνεχώς και μεγαλύτερη **συσχέτιση** των διαδικασιών και των δεδομένων που χρησιμοποιούν με τα προηγούμενα, και ως εκ τούτου δεν προσφέρουν δραματική αλλαγή στο αποτέλεσμα.

4.7 ΒΗΜΑ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι ένας πίνακας (εικόνα) με γεωαναφορά, στον οποίο τα σημεία εντοπισμού κτισμάτων έχουν τιμή ένα (1), ενώ τα υπόλοιπα μηδέν (0).

Ο πίνακας συνοδεύεται με αρχεία στατιστικών και γεωαναφοράς που υπολογίζονται από τον αλγόριθμο.

Εκτός από τα τελικά αποτελέσματα, προϊόντα προκύπτουν και από τις ενδιάμεσες διαδικασίες.

4.7.1 Χρήση Πυραμίδας στην Επιλογή των Κτισμάτων

Υπάρχει η δυνατότητα χρήσης πυραμίδας στην επιλογή των αποτελεσμάτων. Σε αυτή την περίπτωση η διαδικασία παραγωγής αποτελεσμάτων επαναλαμβάνεται περισσότερο από μία φορές, με διαφορετικής βαρύτητας όρια κριτηρίων κάθε φορά.

Ο αλγόριθμος στη περίπτωση που τα κριτήρια είναι πολύ αυστηρά, παράγει ένα πίνακα, που οποίου τα αποτελέσματα έχουν αυξημένη πιθανότητα να είναι κτίσματα, αλλά ταυτόχρονα εντοπίζονται λιγότερα κτίσματα.

Αντίστοιχα, στη περίπτωση που τα κριτήρια είναι λιγότερο αυστηρά, παράγεται ένας πίνακας, που οποίου τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν σχεδόν το σύνολο των κτισμάτων της περιοχής μελέτης, αλλά η κηλίδα εντοπισμού περιλαμβάνει και άλλα αντικείμενα πλην των κτισμάτων.

Εφαρμογή

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η θεωρητική μορφή που έχει η διαδικασία αυτόματου εντοπισμού κτισμάτων σε ψηφιακές εικόνες, όπως αυτή περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, δεν θα είχε καμία ιδιαίτερη σημασία εάν δεν μπορούσαμε να την εφαρμόσουμε στην πράξη και να λάβουμε απτά αποτελέσματα.

Σε γενικές γραμμές η εφαρμογή ακολουθεί τα βήματα της διαδικασίας, εντάσσοντας σε αυτή ελέγχους και συμπεράσματα που είναι απαραίτητα για την ερμηνεία της στην πράξη.

Σε πολλές περιπτώσεις, αναγκαζόμαστε να παρακάμψουμε την αυστηρή γραμμή της διαδικασίας και να εφαρμόσουμε λύσεις ανάγκης κατά περίπτωση, δυνατότητα την οποία μας παρέχει η διαδικασία λόγω ευελιξίας.

5.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.2.1 Δεδομένα Αναφοράς (ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ, DSM, NIR)

Ξεκινώντας την περιγραφή της εφαρμογής μας θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το στάδιο της επιλογής δεδομένων και της προεπεξεργασίας τους σε προγράμματα βοηθητικά, πέρα του βασικού αλγόριθμου εντοπισμού που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Matlab, αποτελούν την είσοδο του συστήματος και αναπτύσσονται ενιαία.

Για τις ανάγκες της διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε ένα στερεοσκοπικό ζεύγος εικόνων από το δορυφόρο IKONOS που υπήρχε διαθέσιμο στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας.

Όπως περιγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, ο δορυφόρος IKONOS συλλέγει δεδομένα με χωρική διακριτική ικανότητα 1 m στο παγχρωματικό και 4 m στο πολυφασματικό. Επομένως η χωρική αυτή ικανότητα επαρκεί για τις ανάγκες της εφαρμογής μας και ταυτόχρονα λόγω των αποτελεσμάτων στο ίδιο ζεύγος από προγενέστερες εργασίες δεν χρειαζόταν να επεξεργαστούμε την εικόνα και να εμβαθύνουμε σε διαδικασίες προσανατολισμού και γεωαναφοράς αφού αυτές είχαν ήδη γίνει με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Το στερεοζεύγος, λοιπόν, είχε προσανατολιστεί και διορθωθεί, ενώ είχε γίνει ακόμα η γεωαναφορά και διόρθωση της εικόνας με χρήση GCPs, μέσω του ψηφιακού φωτογραμμετρικού σταθμού LPS της Leica.

Περιγράφοντας εν συντομία, εφαρμόστηκαν οι απαραίτητες φωτογραμμετρικές διαδικασίες προσανατολισμού και στόχευσης GCPs στην εικόνα, προκειμένου να είναι σε θέση το LPS να μας παρέχει τα απαραίτητα για την διεξαγωγή της παρούσας διπλωματικής δεδομένα.

Τα προϊόντα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή ήταν:

- i. Η ορθοφωτογραφία της περιοχής μελέτης με μέγεθος εδαφοψηφίδας (pixel) 0.5 m, όπως είχε εξαχθεί από το LPS, και
- ii. Ένα ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (DSM) με πυκνότητα 3 m, σε μορφή ASCII, το οποίο μπορεί να μετατραπεί εύκολα σε raster κατά το στάδιο της προεπεξεργασίας, που γίνεται μέσα στον κεντρικό αλγόριθμο εντοπισμού

Τα στοιχεία της ορθοφωτογραφίας, που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και του DSM που παρήχθη από αυτή, ως προς την θέση της στον χώρο είναι:

- i. Εδαφοψηφίδα (βήμα) 0.5 m
- ii. Όρια περιοχής μελέτης

$$X^A=484298.75, Y^A=4222071.25 \text{ \& } X^A=485981.25, Y^A=4220628.75$$

*Τα όρια περιοχής μελέτης αναφέρονται στο **κέντρο** του άνω-αριστερά και κάτω-δεξιά εικονοστοιχείου (pixel) της εικόνας*

*Το αντίστοιχο όριο της εικόνας στα **άκρα** είναι $X^A=484298.50, Y^A=4222071.50$ & $X^A=485981.50, Y^A=4220628.50$*

Ο παραπάνω τρόπος τομής των δεδομένων εξασφαλίζει ότι, παρά το διαφορετικό βήμα (εδαφοψηφίδα) που έχουν εικόνα (ορθοφωτογραφία) και υψομετρική πληροφορία (DTM, μοντέλο σύγκρισης από του χάρτες της ΓΥΣ, βλ. παρακάτω), τα όρια της περιοχής μελέτης είναι κοινά και θα παραμείνουν κοινά και στην περίπτωση ανασύστασης της εικόνας ή της υψομετρικής πληροφορίας.

Προκειμένου τα δεδομένα μας να είναι σε ενιαία μορφή και πιο εύκολα επεξεργάσιμα επιλέχθηκε ο κάρναβος των σημείων και η περιοχή μελέτης να είναι κοινά σε όλα τα δεδομένα από την φάση της εισαγωγής τους ώστε ο αλγόριθμος να μην αναλώνεται σε διαδικασίες μετατροπής εσωτερικά.

Η λύση αυτή έχει σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς:

- i. Η διαδικασία επιλογής των δεδομένων γίνεται μία φορά, γεγονός που διευκολύνει την παραγωγή συμπερασμάτων αφού δεν χρειάζεται να ελέγχεται αν τα σφάλματα και οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων μπορεί να οφείλονται στον προγραμματισμό αυτών των διαδικασιών, καθώς είναι αποτέλεσμα ελεγμένων εμπορικών προγραμμάτων
- ii. Περιοριζόμαστε σε μικρότερο όγκο εργασίας, πιο εξειδικευμένο
- iii. Το περιβάλλον λειτουργίας είναι καλύτερο και οι επιλογές και μέθοδοι επεξεργασίας περισσότερες καθώς είναι εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί για τον σκοπό αυτό αποκλειστικά
- iv. Ο χρόνος επεξεργασίας είναι μικρότερος

Παρόλο των παραπάνω πλεονεκτημάτων, η επιλογή του κάρναβου να είναι σε κοινό βήμα εισάγει στα δεδομένα ένα ακόμη σφάλμα λόγω θορύβου, αφού γίνεται ο επαναυπολογισμός είτε της ψηφιακής τιμής του χρώματος κάθε εικονοστοιχείου είτε του υψομέτρου του από τα γειτονικά με κάποια μέθοδο παρεμβολής.

Η επιλογή κοινών ορίων και βήματος κάρναβου δεν είναι απαραίτητα για την υλοποίηση της εφαρμογής μας. Θα μπορούσε η μετατροπή και σύνθεση της πληροφορίας να γίνεται εσωτερικά στον αλγόριθμο εντοπισμού. Ο πρωταρχικός, όμως, σκοπός της έρευνάς μας δεν είναι η ευχρηστία αλλά η διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Ακόμη, ο δορυφόρος παρέχει την δυνατότητα παγχρωματικής λήψης στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (NIR), δεδομένο το οποίο είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό του δείκτη βλάστησης.

Από το δορυφορικό δέκτη, λοιπόν, χρησιμοποιήθηκε η ορθοφωτογραφία του κόκκινου (RED) και του εγγύς υπέρυθρου (NIR) με χαρακτηριστικά (όρια και βήμα) κοινά με την ορθοφωτογραφία του παγχρωματικού.

Συγκεντρωτικά μπορούμε να πούμε ότι η επιλογή του δορυφόρου και των προϊόντων του στηρίχθηκε στο γεγονός ότι:

- i. Ήταν διαθέσιμη από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας
- ii. Έχει υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα, ικανή για την παροχή ικανοποιητικού αποτελέσματος
- iii. Είναι σε θέση να παράγει ψηφιακά μοντέλα επιφανείας (DSM) μέσω γνωστής και ελεγμένης διαδικασίας
- iv. Είναι σε θέση να παράγει ορθοφωτογραφίες
- v. Η περιοχή έχει GCPs
- vi. Τα παραπάνω προϊόντα είχαν ήδη παραχθεί με χρήση των GCPs
- vii. Η περιοχή κάλυψης ήταν χαρακτηριστική της γενικότερης ελληνικής πραγματικότητας στον περιαστικό χώρο
- viii. Υπήρχαν διαφορετικής πυκνότητας και μεγέθους κτίσματα στην περιοχή μελέτης
- ix. Η περιοχή κάλυψης ήταν μεγάλη
- x. Ο δέκτης παρέχει την δυνατότητα NIR

Από τους παραπάνω λόγους επιλογής των δεδομένων προκύπτει σε σχέση με της αρχές που πρέπει να τηρεί η διαδικασία ότι:

- i. Επιτυγχάνεται η **οικονομία**, καθώς τα δεδομένα έχουν μικρό σχετικά κόστος
- ii. Επιτυγχάνεται η **μαζικότητα**, καθώς η περιοχή κάλυψης είναι μεγάλη
- iii. Επιτυγχάνεται η **ακρίβεια**, καθώς τα δεδομένα καλύπτουν τις χωρικές απαιτήσεις της εφαρμογής
- iv. Επιτυγχάνεται η **ταχύτητα**, αφού είναι σε ψηφιακή μορφή και οι διαδικασίες είναι αυτοματοποιημένες ή μπορούν να αυτοματοποιηθούν
- v. Δίνεται η **δυνατότητα ελέγχου** των αποτελεσμάτων και **γενίκευσης** της **μεθόδου** για τις ανάγκες της διπλωματικής, καθώς η περιοχή μελέτης

παρουσιάζει ποικιλία στην πυκνότητα και την μορφή των υπάρχοντων κτισμάτων

5.2.2 Δεδομένα Σύγκρισης

Καθώς σκοπός της διπλωματικής είναι η ανίχνευση όλων των κτισμάτων, ώστε το αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιείται ως δεδομένο και σε άλλες διαδικασίες πλην της ανίχνευσης αλλαγών και καθώς δεν υπήρχαν άμεσα διαθέσιμα στοιχεία και πληροφορίες για το πρώτο, επιλέχθηκε η σύγκριση των λήψεων να γίνει με το έδαφος.

Ακόμη με αυτό τον τρόπο έγινε δυνατός ο έλεγχος του αποτελέσματος και η ακρίβεια της μεθόδου για την περίπτωση που τα αφετηριακά δεδομένα προέρχονταν από υπάρχοντα διαγράμματα.

Στην περίπτωση που γίνεται σύγκριση ανάμεσα σε δύο διαφορετικές χρονικές καταστάσεις μίας περιοχής το αποτέλεσμα ανίχνευσης κτισμάτων που περιμένουμε να έχουμε είναι η ανάπτυξη των κτισμάτων στο χρόνο από την εποχή της παλαιότερης λήψης μέχρι την εποχή της νεότερης. Μόνο τα νέα κτίσματα θα εμφανίζονται στο αποτέλεσμα της διαδικασίας. Αντίθετα στην περίπτωση που επιλέξουμε να συγκρίνουμε μία λήψη με το έδαφος τότε όλα τα κτίσματα, ασχέτου χρονολογίας κατασκευής, θα εμφανίζονται στο αποτέλεσμα.

Σε αυτή την περίπτωση δύο (2) ήταν οι άμεσες λύσεις με τις οποίες μπορούμε να παράγουμε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DSM):

- i. Η παρέμβαση στο ψηφιακό μοντέλο (DTM) και η αφαίρεση οπτικά των σημείων που ανήκουν σε κτίσματα
- ii. Η χρήση διαγραμμάτων κλίμακας 1:5000 της ΓΥΣ, που υπάρχουν για την περιοχή

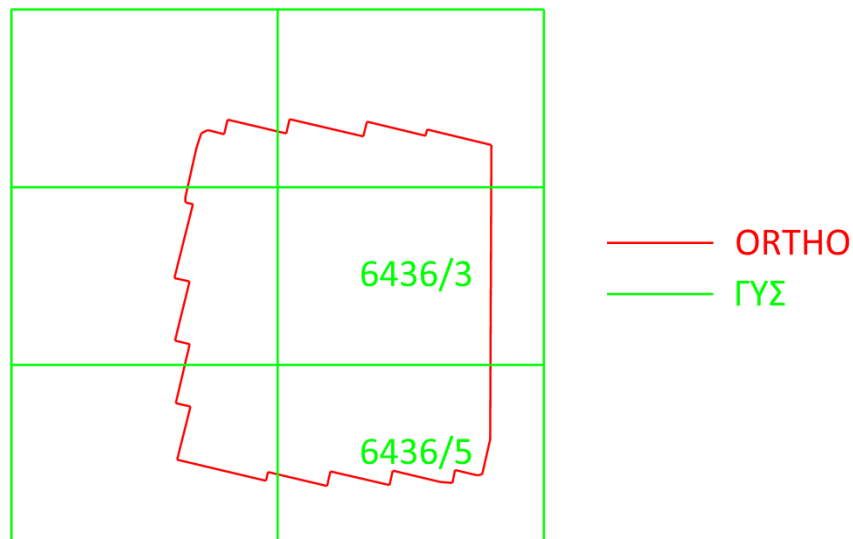
Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η δεύτερη λύση ώστε:

- i. Να μην χρειαστεί να παρέμβουμε σε μία πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία
- ii. Να ελέγξουμε κατά πόσο η εισαγωγή ενός τόσο διαφορετικού δεδομένου μπορεί να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα
- iii. Να περιορίσουμε, όπως αρχικά είχε εκτιμηθεί, τον χρόνο εργασίας

Αξίζει να αναφέρουμε ότι για την κάλυψη της περιοχής που απεικονίζεται σε μία σκηνή του δέκτη IKONOS, χρειάζονται έξι (6) φύλλα χάρτη της ΓΥΣ. Το παραπάνω προκύπτει από τον υπολογισμό της έκτασης που καλύπτουν τα φύλλα χάρτη της ΓΥΣ σε σχέση με την επιφάνεια λήψης του IKONOS.

Κάθε φύλλο χάρτη της ΓΥΣ καλύπτει μία περιοχή 4500x3000 m, ενώ κάθε σκηνή από τον δορυφόρο IKONOS 11.3x11.3 km (περίπου 125 km²). Η ορθοφωτογραφία όμως από τον IKONOS δεν είναι ορθογώνια και μέρος της επιφάνειά της δεν μπορεί να αξιοποιηθεί. Το ωφέλιμο κομμάτι της ορθοφωτογραφίας είναι 30.1 km², το οποίο εγγράφεται σε τετράπλευρο 33.6 km². Επομένως όπως προκύπτει από τις πράξεις

για να καλυφθεί η περιοχή χρειάζονται από έξι (6) φύλλα χάρτη, τρεις σειρές από δύο στήλες.



Εικόνα 61 - Επιφάνεια κάλυψης ορθοφωτογραφίας & χαρτών ΓΥΣ

Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν μόνο δύο (2) από τα φύλλα χάρτη και συγκεκριμένα τα υπ' αριθμό 6436/3 και 6436/5 που καλύπτουν το 60% του στερεοζεύγους IKONOS και είναι επαρκή για τις ανάγκες της μελέτης. Για την περιοχή μελέτης θα αρκούσε ένα (1) φύλλο χάρτη, καθώς η επιφάνειά της είναι 1682.5x1442.5 m.

Η ακρίβεια που δίνουν οι χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας στην κλίμακα του 1 : 5000 είναι της τάξης του 1.25 m οριζοντιογραφικά και περί τα 2 με 2.5 m υψομετρικά (η ισοδιάσταση σε αυτούς τους χάρτες είναι ανά 4 m και σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν βοηθητικές υψομετρικές καμπύλες ανά 2 m).

Η μορφή με την οποία μας παρέχονται τα δεδομένα δεν είναι ικανοποιητική, καθώς είναι σε αναλογική μορφή. Επομένως ακολουθήθηκε διαδικασία σάρωσης και ψηφιοποίησης των χαρτών καθώς και μετατροπής της υψομετρικής πληροφορίας από την μορφή των ισοϋψών σε μορφή κάρναβου.

Ακόμη θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το σύστημα στο οποίο αναφέρονται οι περιμετρικές συντεταγμένες των χαρτών της ΓΥΣ είναι το σύστημα HATT, ενώ τα αποτελέσματα από τον δέκτη IKONOS είναι σε ΕΓΣΑ87. Επομένως θα πρέπει, πέραν των άλλων μετατροπών, να μετατρέψουμε τις συντεταγμένες από το ένα σύστημα στο άλλο.

5.2.3 Ψηφιοποίηση & Μετατροπή των Δεδομένων Σύγκρισης

Η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε προκειμένου να επιτευχθεί το ανωτέρω ακολουθεί στις επόμενες γραμμές.

- Σάρωση των χαρτών
- Εισαγωγή της εικόνας στο περιβάλλον του AutoCAD

- Πρόχειρη γεωαναφορά της εικόνας με απλές διαδικασίες μετακίνησης, στροφής και κλίμακας προκειμένου να είναι ευκολότερη η μετατροπή τους στο σύστημα αναφοράς και η ψηφιοποίηση στα σημεία τομής των εικόνων
- Ψηφιοποίηση των ισοϋψών και των υψομετρικών σημείων στην οθόνη του Η/Υ με την μέθοδο point-to-point
- Εισαγωγή της υψομετρικής πληροφορίας σε κάθε γραμμή ή σημείο
- Εύρεση των κορυφών του κάμναβου όπως αυτός εμφανίζεται στην εικόνα
- Εισαγωγή των συντεταγμένων των κορυφών των κάμναβων όπως αυτοί αναφέρονται στα στοιχεία του χάρτη και αντιστοιχούν στην πραγματικότητα
- Εφαρμογή γεωμετρικού αφινικού μετασχηματισμού με την χρήση εσωτερικής διαδικασίας του προγράμματος AutoCAD
- Υπολογισμός των συντεταγμένων των κορυφών του κάμναβου στο σύστημα ΕΓΣΑ87
- Εισαγωγή των υπολογισμένων συντεταγμένων σε ΕΓΣΑ87 στο AutoCAD
- Γεωμετρικός μετασχηματισμός από το HATT στο ΕΓΣΑ87
- Εξαγωγή DXF
- Μετατροπή του DXF σε ASCII

Η σάρωση της εικόνας έγινε με την μεγαλύτερη δυνατή ανάλυση που θα επέτρεπε την διαχείριση του αρχείου, λόγω όγκου, και την διατήρηση της ακρίβειας. Συγκεκριμένα τα φύλλα χάρτη σαρώθηκαν με ανάλυση 300dpi και βάθος χρώματος 8bit. Επιλέχθηκε να αποθηκευθούν σε μορφή TIFF ώστε να μην χαθεί πληροφορία λόγω απολεστικού αλγόριθμου και να διατηρηθεί η καλή ποιότητα του αποτελέσματος της σάρωσης. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι να δημιουργηθεί ένα αρχείο 12594x7561 pixel και όγκου 90.8 Mb.

Η επιλογή του προγράμματος AutoCAD έγινε ως το κατεξοχήν χρησιμοποιούμενο σχεδιαστικό πρόγραμμα με μεγάλες δυνατότητες.

Πριν από την διαδικασία μετατροπής από το ένα σύστημα στο άλλο προηγήθηκαν δύο (2) άλλες διαδικασίες.

- i. Η κατά προσέγγιση γεωαναφορά της εικόνας
- ii. Η ψηφιοποίηση της υψομετρικής πληροφορίας

Η πρώτη διαδικασία είναι απαραίτητη για να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα της μετατροπής, καθώς το σύστημα εισάγει με αυτό τον τρόπο αρχικές τιμές. Ακόμη η διαδικασία αυτή διευκολύνει τη ψηφιοποίηση στα όρια των χαρτών, όπου δύο (2) γειτονικά φύλλα χάρτη ενώνονται. Λόγω σφαλμάτων η τομή δεν εξασφαλίζει την απρόσκοπτη συνέχεια των ισοϋψών.

Η δεύτερη είναι μία διαδικασία την οποία μπορούμε να κάνουμε στο τέλος της επεξεργασίας και της μετατροπής. Σε γενικές γραμμές ο ορθός τρόπος σκέψης

επιβάλλει να γίνει στο τέλος της διαδικασίας. Οι λόγοι που μας επέβαλαν η ψηφιοποίηση να γίνει σε αυτό το στάδιο είναι οι εξής:

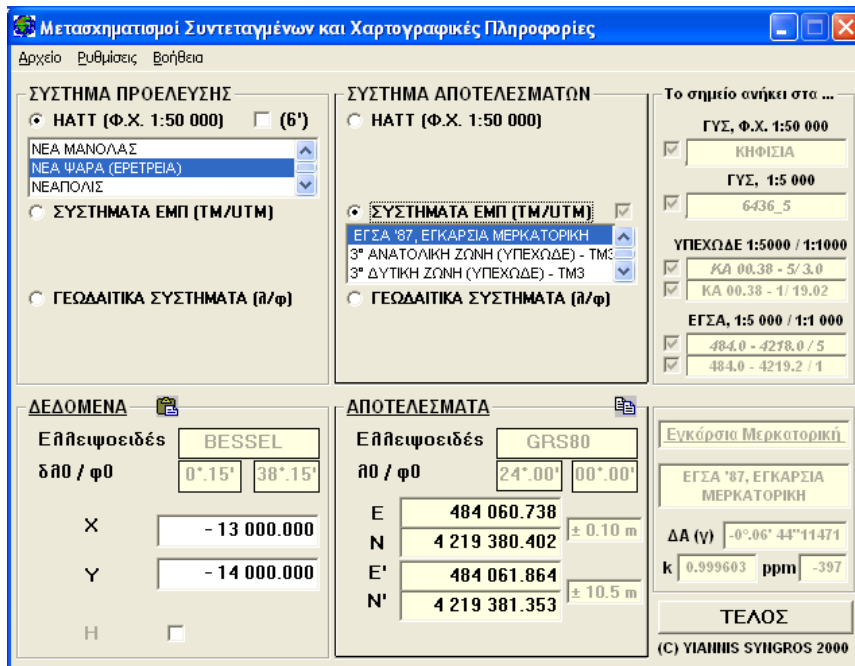
- i. Η ψηφιοποίηση εξαρτάται από το αποτέλεσμα της μετατροπής
- ii. Τυχόν αλλαγή ή βελτίωση της μετατροπής επιβάλλει εκ νέου ψηφιοποίηση
- iii. Η διαδικασίες της μετατροπής από ένα σύστημα στο άλλο, μέσω AutoCAD, λειτουργούν καλύτερα για διανυσματικά δεδομένα (ψηφιοποιημένες ισοϋψείς καμπύλες), παρά για κανονικοποιημένα (raster) δεδομένα (εικόνα-χάρτης)
- iv. Στο στάδιο της εφαρμογής, προκειμένου να γίνει ο έλεγχος των αποτελεσμάτων, η διαδικασία της μετατροπής επαναλήφθηκε πολλές φορές
- v. Η διαδικασία της ψηφιοποίησης είναι χρονοβόρα

Προκειμένου, λοιπόν, να μην επαναλαμβάνεται η ψηφιοποίηση και να κερδηθεί χρόνος, επιλέχθηκε η διαδικασία της ψηφιοποίησης να γίνει πριν τις μετατροπές.

Οι χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας απεικονίζουν σημεία κάρναβου τα οποία μεταφέρουν τα σφάλματα των λοιπών σημείων κατά την εκτύπωσή τους στο χαρτί και αποθήκευση σε αυτό το ευάλωτο μέσον. Ενώνοντας γραφικά τις άκρες του κάρναβου στο πλαίσιο του χάρτη μπορούμε να εντοπίσουμε στα σημεία τομής αυτών των γραμμών της κορυφής του κάρναβου.

Η σύγκριση των στοχευμένων αυτών σημείων με τα τοποθετημένα, βάση συντεταγμένων, πραγματικά σημεία του κάρναβου του χάρτη επιτρέπει να εφαρμόσουμε αφινικό μετασχηματισμό συνδέοντας τα αντίστοιχα σημεία και κάνοντας χρήση του εργαλείου του προγράμματος AutoCAD (Rubber). Ο χάρτης μας σε αυτό το στάδιο είναι σε συντεταγμένες HATT διορθωμένες από τα σφάλματα λόγω μέσου. Ακόμη θα πρέπει να τονίσουμε ότι πλέον ως χάρτη αναφέρουμε μόνο την διανυσματική μορφή του καθώς τα κανονικοποιημένα (raster) δεδομένα δεν λειτουργούν το ίδιο καλά στο περιβάλλον του προγράμματος και δεν χρειάζεται να τα μεταφέρουμε σε κάποιο νέο σύστημα συντεταγμένων εφόσον δεν θα χρησιμοποιηθούν πλέον.

Στην συνέχεια υπολογίζουμε τις συντεταγμένες των κορυφών του κάρναβου σε ΕΓΣΑ87. Ο υπολογισμός γίνεται με την βοήθεια του ελεύθερα διακινούμενου λογισμικού COORD_GR του οποίου τα αποτελέσματα δίδονται με σφάλμα μετατροπής $\pm 0.2-0.3$ m, το οποίο είναι αμελητέο για τα σημεία ελέγχου, όμως πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι πολλαπλασιάζεται όσο απομακρυνόμαστε από τις κορυφές του κάρναβου. Η αύξηση του σφάλματος σε σχέση με την απόσταση από τα υπολογισμένα σημεία κάρναβου οφείλεται στον αλγόριθμο μετατροπής με τον οποίο υπολογίζονται τα ενδιάμεσα σημεία και δεν είναι άλλος από την εφαρμογή του αφινικού μετασχηματισμού.



Εικόνα 62 - Περιβάλλον εργασίας COORD_GR

Το περιβάλλον του προγράμματος COORD_GR είναι απλό σε χρήση, ενώ μέρος των αποτελεσμάτων που μας παρείχε διασταυρώθηκαν με άλλα εμπορικά προγράμματα και χειροκίνητη επίλυση.

Παρουσιάζεται μέρος του πίνακα αποτελεσμάτων της μετατροπής των κορυφών των κάρναβων των φύλλων χάρτη της ΓΥΣ από HATT σε ΕΓΣΑ87.

Πίνακας 19 - Αποτελέσματα μετατροπής από HATT σε ΕΓΣΑ87

No	HATT		ΕΓΣΑ 87	
	X	Y	X (E)	Y (N)
1	-13000,00	-14000,00	484060,557	4219380,596
2	-13000,00	-13500,00	484060,738	4219880,412
3	-13000,00	-13000,00	484060,918	4220380,227
4	-13000,00	-12500,00	484061,097	4220880,042
5	-13000,00	-12000,00	484061,276	4221379,857
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
93	-9000,00	-9000,00	488060,889	4224377,330

Στην συνέχεια επαναλαμβάνουμε εκ νέου τον αφινικό μετασχηματισμό, ώστε να μεταφέρουμε τις συντεταγμένες από το σύστημα HATT στο ΕΓΣΑ87, συνδέοντας τα αντίστοιχα σημεία και κάνοντας χρήση του εργαλείου Rubber εκ νέου.

Να σημειωθεί ότι το ραπορτάρισμα των σημείων κάρναβου σε HATT και ΕΓΣΑ87 έγινε με χρήση εξωτερικού αρχείου RXF με ονομασία ανά σημείο προκειμένου να διευκολυνθεί η αντιστοίχιση του σημείου από το ένα σύστημα στο άλλο.

Ακόμη να προσθέσουμε ότι για την εφαρμογή του αφινικού μετασχηματισμού δεν χρησιμοποιήθηκαν όλα τα διαθέσιμα σημεία αντιστοίχισης (κορυφές κάρναβου), αλλά μέρος αυτών.

Τα κριτήρια με τα οποία επιλέχθηκε ποια από τα σημεία θα χρησιμοποιηθούν είναι:

- i. Ομοιόμορφα κατανεμημένα
- ii. Ένας λογικός αριθμός (9-11 σε κάθε φύλλο χάρτη)
- iii. Περισσότερα σημεία για καλύτερο αποτέλεσμα, αρκεί τα σημεία να μην είναι τόσο πολλά ώστε να αλλάζει ο βαθμός του πολωνύμου μετατροπής και οδηγηθούμε σε «τραγελαφικά» αποτελέσματα
- iv. Περισσότερα σημεία, μεγαλύτερος φόρτος εργασίας (χρήστη και Η/Υ)

Σε αυτή την φάση θα ήταν καλό να προσθέσουμε το γεγονός ότι η διαδικασία των δύο μετασχηματισμών θα μπορούσε να γίνει και με ένα μετασχηματισμό απευθείας από τα σαρωμένα δεδομένα στις συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ87. Αποφασίστηκε ότι αυτό δεν είναι το ενδεδειγμένο καθώς, λόγω του ερευνητικού σκοπού της εργασίας, τα ενδιάμεσα δεδομένα είναι απαραίτητα για ελέγχους.

Σε πιθανή πρακτική εφαρμογή της μεθόδου θα αρκούσε η απευθείας μετατροπή σε ΕΓΣΑ87, χωρίς να περάσουμε από το βήμα μετατροπής σε HATT. Ο χρόνος μετατροπής, τόσο λόγω χρόνου επεξεργασίας δεδομένων, όσο και λόγω χρόνου διαχείρισης και παρέμβασης από τον χρήστη, είναι ο μισός. Τα, δε, αποτελέσματα, απαλλαγμένα από μία επιπλέον συνόρθωση, έχουν μικρότερο σφάλμα.

5.2.4 Εναρμόνιση Υψομετρικής Πληροφορίας

Βασική προϋπόθεση για την σύγκριση των δύο (2) ψηφιακών μοντέλων υψομέτρου:

- i. του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας (DSM), που παράχθηκε από το στερεοσκοπικό ζεύγος του IKONOS, μέσω της επεξεργασίας του στο LPS
- ii. του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM), που προέκυψε από την ψηφιοποίηση των χαρτών της ΓΥΣ και την μετατροπή στο σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ87

είναι η ταυτοποίησή τους ως προς την θέση για την οποία παρέχουν πληροφορία.

Η δομή των δεδομένων στις δύο περιπτώσεις είναι διαφορετική, ως προς:

- i. το μέγεθος της εδαφοψηφίδας
Στο DSM του IKONOS είναι 0.5 m, ενώ στο DTM από τον χάρτη είναι 3m.
- ii. τα όρια, που είναι διαφορετικά
- iii. την μορφή των υψομετρικών δεδομένων

Από τον IKONOS είναι σε κάνναβο, ενώ από τον χάρτη είναι σε ισοΰψεις και μεμονωμένα σημεία.

Όπως γίνεται κατανοητό, μία άμεση σύγκριση των ανωτέρω δεν είναι δυνατή. Επιλέχθηκε, λοιπόν, η μετατροπή των μοντέλων υψομέτρου (DEM) σε μία κοινή μορφή, προκειμένου να μπορούν να συγκριθούν, η οποία έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- i. Εδαφοψηφίδα (βήμα) 3 m

Εδαφοψηφίδα με μικρότερο βήμα θα ήταν ουσιαστικά εικονική λόγω του είδους των δεδομένων

- ii. Όρια περιοχής μελέτης ($X^A=484300, Y^A=4222070$ & $X^A=485980, Y^A=4220630$)

*Τα όρια περιοχής μελέτης αναφέρονται στο **κέντρο** του άνω-αριστερά και κάτω-δεξιά εικονοστοιχείου (pixel) της εικόνας*

*Το αντίστοιχο όριο της εικόνας στα **άκρα** είναι $X^A=484298.50, Y^A=4222071.50$ & $X^A=485981.50, Y^A=4220628.50$*

- iii. Μορφή κάνναβου

Η μορφή κάνναβου είναι η πλέον ενδεδειγμένη για την ψηφιακή επεξεργασία μέσω H/Y

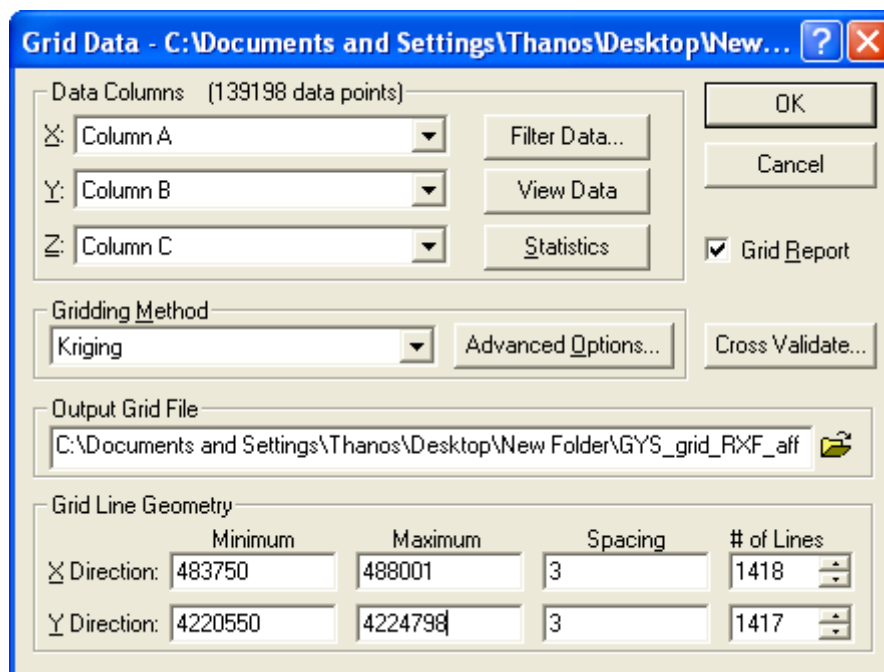
Η μετατροπή της υψομετρικής πληροφορίας στην επιθυμητή μορφή έγινε με την χρήση του προγράμματος Surfer και η διαδικασία που ακολουθήθηκε σε βήματα είναι η εξής:

1. Εισαγωγή στο Surfer
2. Απαλοιφή μηδενικών (0) υψομέτρων στα άκρα της εικόνας
3. Επιλογή περιοχής μελέτης και βήματος
4. Επιλογή μεθόδου παρεμβολής
5. Οπτικός έλεγχος αποτελέσματος
6. Διόρθωση των δεδομένων και επανάληψη της διαδικασίας εφόσον κρίνεται απαραίτητο
7. Εξαγωγή σε ASCII

Δεδομένο εισόδου στο πρόγραμμα Surfer είναι ένας πίνακας τριών (3) στηλών όπου σε κάθε γραμμή αναφέρονται οι συντεταγμένες του σημείου (X,Y,Z). Ουσιαστικά αποτελεί ένα DEM σε μορφή ASCII.

Τα δεδομένα εισόδου καθαρίζονται από μηδενικές (0) τιμές και στην φόρμα ρυθμίσεων του προγράμματος επιλέγουμε:

- i. Τα επιλεγμένα όρια
- ii. Το βήμα του κάνναβου, και
- iii. Την μέθοδο παρεμβολής



Εικόνα 63 - Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων και μεθόδου παρεμβολής στο Surfer

Μέθοδος παρεμβολής είναι ο τρόπος επαναυπολογισμού των υψομέτρων προκειμένου να υπολογιστούν τα υψόμετρα στις νέες θέσεις. Στην εφαρμογή μας χρησιμοποιήθηκε η **μέθοδος Kriging**.

Η τεχνική **Kriging** είναι αξιολογική διότι εκτελεί προκαταρκτική ανάλυση των δεδομένων για να προσδιορίσει τη φύση του συσχετισμού μεταξύ τους. Το προϊόν της προκαταρκτικής ανάλυσης των δεδομένων είναι ένα γράφημα (semi-variogram) το οποίο εκφράζει το ήμισυ του μέσου των διαφορών μεταξύ των δεδομένων – στο τετράγωνο – ως συνάρτηση της απόστασης μεταξύ τους:

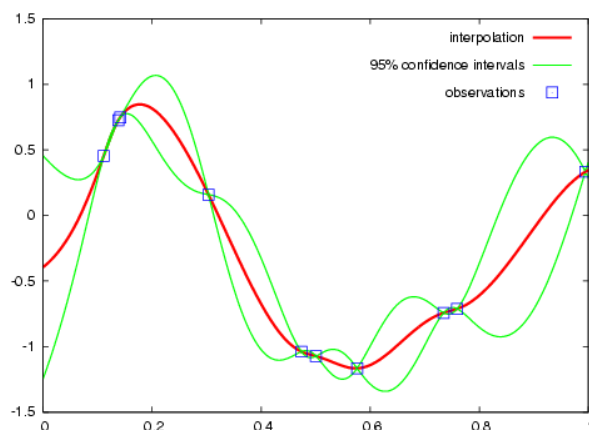
$$\gamma(h) = \frac{1}{2} n \sum_{i=0}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

όπου: $z(x_i)$ η τιμή των δεδομένων στο σημείο x

h η απόσταση μεταξύ δύο σημείων

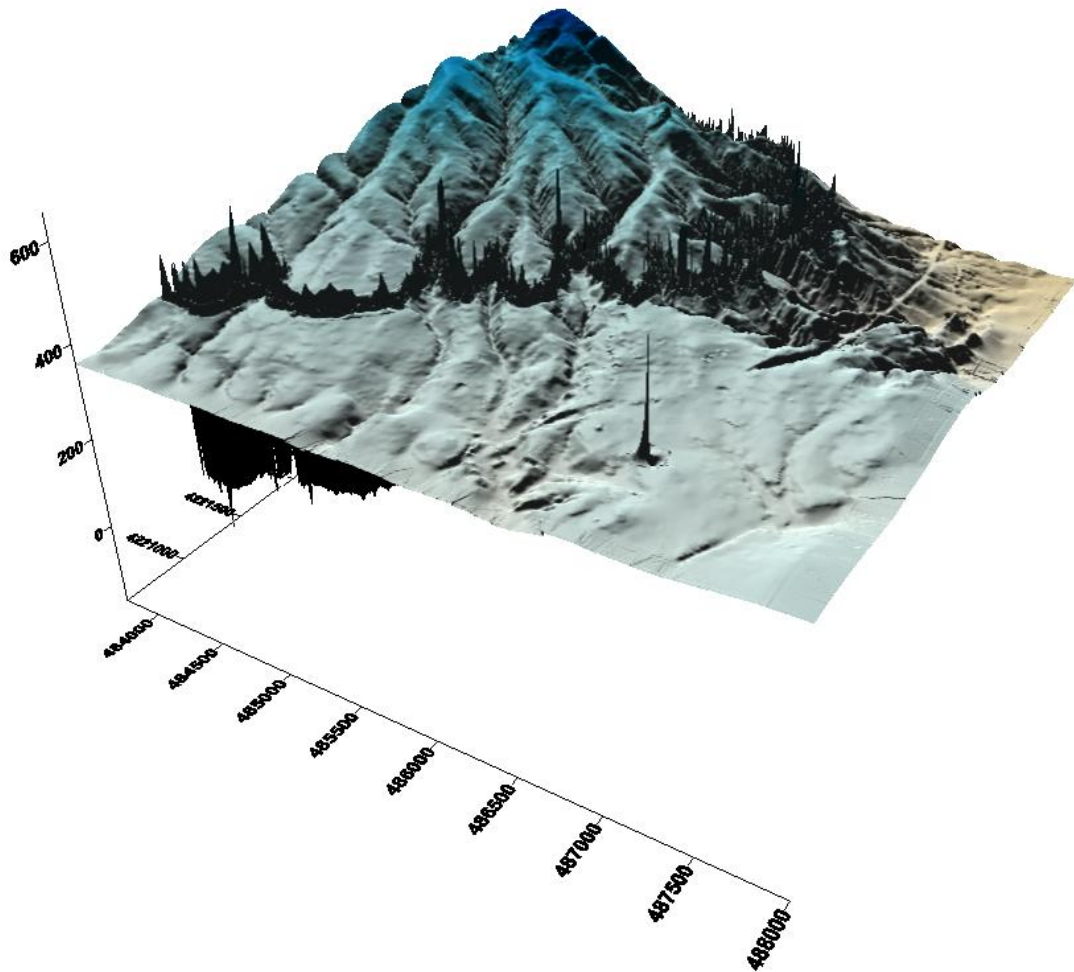
Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ότι:

- Η τιμή του h στην οποία η καμπύλη πλησιάζει την οριζόντια, αντιστοιχεί στη μέγιστη απόσταση (range) κατά την οποία μια τιμή επηρεάζει μια άλλη.



Εικόνα 64 - Γραφική απεικόνιση λειτουργίας μεθόδου Kriging (<http://en.wikipedia.org/wiki/Kriging>)

- b) Το γράφημα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των αυτοσυσχετιζόμενων τμημάτων των δεδομένων και για την εκχώρηση τιμών βάρους σε αυτά για την εκτίμηση των τιμών του φαινομένου στις άγνωστες θέσεις
- c) Τα βάρη υπολογίζονται με τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η μεταβλητότητα των εκτιμωμένων τιμών (Τσούλος, 2006)

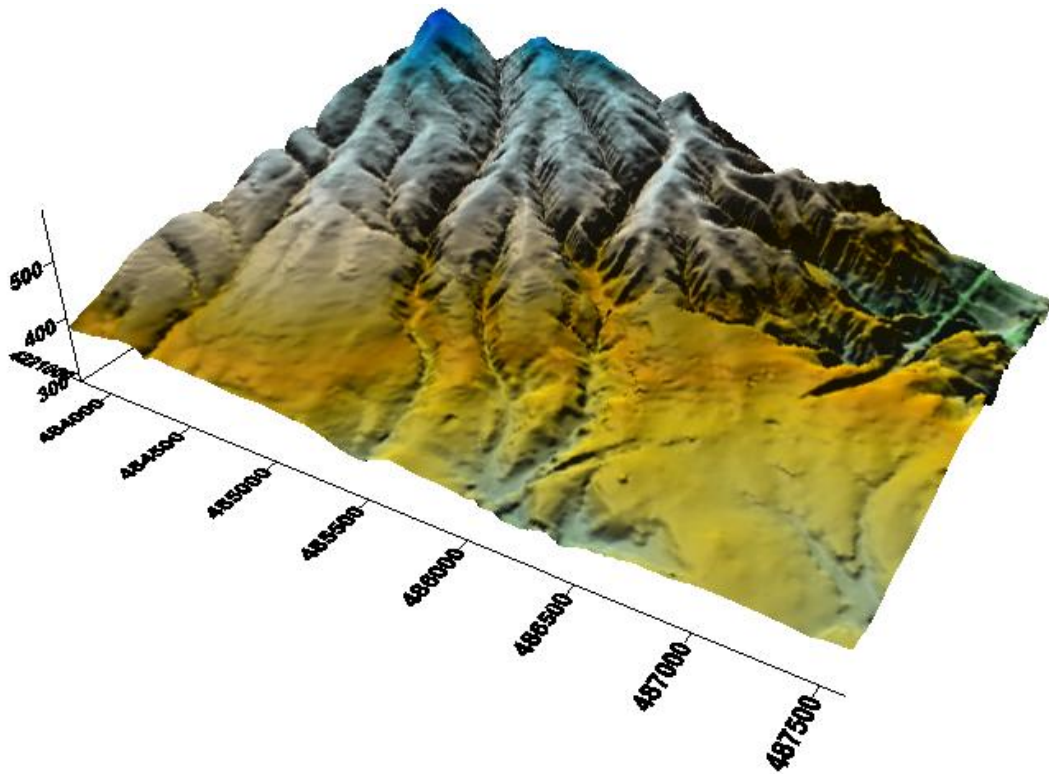


Εικόνα 65 - Μοντελοποίηση Ανάγλυφου χάρτη για οπτικό έλεγχο (Στάδιο πρώτης εφαρμογής για έλεγχο εντοπισμού σφαλμάτων)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση της εφαρμογής, είναι εμφανές ότι από λάθος κατά την διάρκεια της ψηφιοποίησης και εισαγωγής δεδομένων υψομέτρου στο AutoCAD

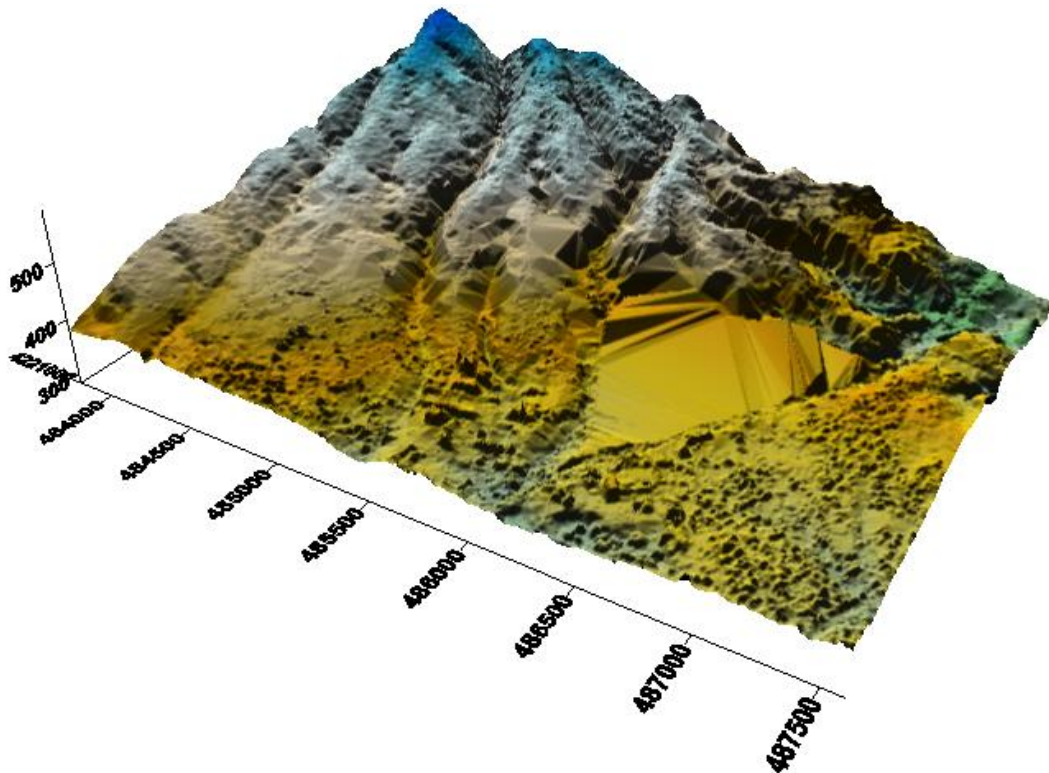
- i. Ξεχάστηκε σε μία εκ των ισοϋψών καμπυλών να δοθεί υψόμετρο
- ii. Σε ένα σημείο ενδιαφέροντος πληκτρολογήθηκε λανθασμένο υψόμετρο

Δεδομένα όπως τα παραπάνω επανελέγχονται, διορθώνονται και η διαδικασία στο πρόγραμμα Surfer επαναλαμβάνεται, όσες φορές χρειαστεί προκειμένου το αποτέλεσμα να μην έχει χονδροειδή σφάλματα, τα οποία είναι και τα μοναδικά που μπορούν να εντοπιστούν με αυτή την μεθοδολογία. Αποτέλεσμα των διορθώσεων είναι η παραγωγή πιο ομαλής επιφάνειας.



Εικόνα 66 - Μοντελοποίηση Ανάγλυφου χάρτη μετά την διόρθωση χονδροειδών σφαλμάτων

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και για μετασχηματισμό κατά τα προαναφερόμενα του DSM από τον δορυφορικό δέκτη IKONOS.



Εικόνα 67 - Μοντελοποίηση Ανάγλυφου DSM

Στο παραπάνω μοντέλο μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε:

- i. Την αστοχία του μοντέλου στην περιοχή που δεν υπάρχουν δεδομένα
- ii. Την εμφάνιση υψομετρικών ανωμαλιών στις περιοχές εμφάνισης οικισμών και βλάστησης

Τέλος, από το πρόγραμμα Surfer εξάγεται ένα αρχείο ASCII με τα δεδομένα υψομέτρου των επιλεγμένων κορυφών του κάρναβου.

5.2.5 Προβλήματα κατά την Συλλογή & Επεξεργασία Δεδομένων

Το κομμάτι με την μεγαλύτερη δυσκολία στην όλη διαδικασία της συλλογής και προεπεξεργασίας δεδομένων είναι αυτό της ψηφιοποίησης της υψομετρικής πληροφορίας από τους χάρτες της ΓΥΣ.

Συνοπτικά τα σημαντικότερα προβλήματα που παρουσιάστηκαν είναι:

- i. Ο μεγάλος χρόνος ψηφιοποίησης
- ii. Πολλά λάθη λόγω ψηφιοποίησης (η ακρίβεια αυξάνεται αν παραμείνει σε υψηλό επίπεδο η προσοχή του χειριστή)
- iii. Λάθη από την καταχώρηση των υψομέτρων
- iv. Κακή ποιότητα χαρτών με αποτέλεσμα να μην μπορεί να γίνει σωστή ψηφιοποίηση σε συγκεκριμένα σημεία

5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Επειδή η υψομετρική πληροφορία συλλέχτηκε από διαφορετικές πηγές και με διαφορετικές διαδικασίες, διαφορετικού είδους σφάλματα εισήχθησαν στα δύο μοντέλα μας. Αποτέλεσμα είναι η ύπαρξη σχετικής μετατόπισης μεταξύ των δύο μοντέλων.

Προκειμένου να διορθώσουμε τα παραπάνω σφάλματα και να εξασφαλίσουμε ότι αυτά δεν θα επηρεάσουν την διαδικασία εξαγωγής αποτελεσμάτων, θα πρέπει να βρούμε πια σχέση συνδέει τα δύο μοντέλα μεταξύ τους.

Για τον υπολογισμό αυτής της σχέσης ακολουθήθηκαν δύο (2) διαδικασίες:

- i. Μία ημι-αυτόματη διαδικασία, και
- ii. Μία χειροκίνητη

Παρακάτω θα περιγράψουμε τον τρόπο υπολογισμού του σφάλματος με τις δύο (2) αυτές διαδικασίες, καθώς και τα αποτελέσματα που θα χρησιμοποιηθούν ως διόρθωση στο κομμάτι της επεξεργασίας της εφαρμογής που εκτελέσαμε.

Και στις δύο περιπτώσεις ο υπολογισμός του σφάλματος στηρίζεται στο γεγονός ότι στα σημεία οπτικής εμφάνισης εδάφους η υψομετρική διαφορά των DTM και DSM θα είναι θεωρητικά μηδενική (0).

5.3.1 Ημι-αυτόματος Υπολογισμός

Ο ημι-αυτόματος τρόπος υπολογισμού του σφάλματος μπορεί να αναλυθεί στα εξής βήματα:

1. Τοποθετείται η ορθοφωτογραφία της περιοχής μελέτης (ή της συνολικής περιοχής που έχουμε στην διάθεσή μας) στο AutoCAD διατηρώντας την γεωαναφορά της
2. Σκοπεύετε πλήθος σημείων ελέγχου, τα οποία οπτικά ερμηνεύονται, από τον χρήστη, ως έδαφος
3. Δημιουργείται ένα DXF αρχείο των σημείων σκόπευσης
4. Το DXF αρχείο μετατρέπεται σε ASCII
5. Υπολογίζεται με παρεμβολή στα αρχικά DSM και DTM το υψόμετρο σε κάθε σημείο σκόπευσης
6. Υπολογίζεται η διαφορά τους
7. Υπολογίζονται τα στατιστικά μεγέθη των τιμών

Θεωρώντας, λοιπόν, ότι θα πρέπει στις θέσεις τις οποίες φωτοερμηνευτικά αναγνωρίζουμε ως έδαφος, να μην υπάρχει υψομετρική διαφορά ασχέτως του τρόπου που θα επιλέξουμε να υπολογίσουμε την υψομετρική πληροφορία, επιλέγουμε σημεία εδάφους.

Η επιλογή γίνεται τόσο σε ολόκληρη την εικόνα (101 σημεία ελέγχου) όσο και στην περιοχή μελέτης (68 σημεία ελέγχου) με την σημαντική προϋπόθεση να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα στον χώρο.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι θέσεις (X,Y) των σημείων ελέγχου στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 20 - Σημεία ελέγχου

ID	X	Y
1	484724.497	4222149.083
2	484712.532	4222034.538
3	484708.125	4221891.671
4	484828.394	4221882.859
:	:	:
68	485107.649	4221008.785

Για τα σημεία αυτά υπολογίζεται η υψομετρική πληροφορία με παρεμβολή στο DSM που δημιουργήθηκε από το στερεοσκοπικό ζεύγος και το DTM που προέκυψε από την ψηφιοποίηση των χαρτών της ΓΥΣ.

Τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών αφαιρούνται μεταξύ τους και προκύπτει το αποτέλεσμα της απόκλισης της υψομετρικής πληροφορίας από DSM σε DTM. Η υψομετρική διαφορά προκύπτει από την πράξη που εκφράζει ο τύπος:

$$\Delta Z = DSM - DTM$$

Ακολουθεί μέρος του πίνακα υπολογισμού των διαφορών του υψομέτρου για την περιοχή μελέτης (πλήρης πίνακες στο παράρτημα Β).

Πίνακας 21 - Υψομετρικές διαφορές σημείων ελέγχου

ID	X	Y	ΔZ (m)
1	484724.497	4222149.083	-0.49
2	484712.532	4222034.538	3.33
3	484708.125	4221891.671	1.46
4	484828.394	4221882.859	3.08
5	484833.432	4222037.685	10.04
6	484975.742	4222032.650	0.43
7	484985.817	4221877.825	3.19
⋮	⋮	⋮	⋮
68	485107.649	4221008.785	-0.16

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στον παραπάνω πίνακα, αν και δεν είναι ολοκληρωμένος, το σημείο No 5 παρουσιάζει μεγάλη υψομετρική διαφορά σε αντίθεση με τα υπόλοιπα σημεία, των οποίων οι διαφορές κυμαίνονται σε κοντινές σχετικά τιμές.

Υπάρχει η περίπτωση μερικά από τα σημεία που επιλέξαμε να έχουν σημαντική υψομετρική διαφορά που δεν δικαιολογεί μία συστηματικότητα του σφάλματος. Οι λόγοι που μπορεί να συμβαίνει αυτό ποικίλουν, με σημαντικότερους τους:

- i. Λάθος στην φωτοερμηνεία της περιοχής

Ο χρήστης από λάθος ή αδυναμία σωστής φωτοερμηνείας θεωρεί σημείο της ορθοφωτογραφίας ως έδαφος ενώ στην πραγματικότητα δεν είναι

- ii. Αλλαγή στο υψόμετρο της περιοχής χωρίς την εμφάνιση κτίσματος

Μία γεωργική περιοχή, για παράδειγμα, μπορεί να αλλάξει υψόμετρο από εκσκαφή χωρίς να γίνει αντιληπτή η διαφορά DSM και DTM από τον χρήστη

- iii. Αστοχία του DSM ή του DTM στη δεδομένη περιοχή

Είναι πιθανό τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν είτε από αυτοματοποιημένη διαδικασία είτε από ψηφιοποίηση να έχουν σφάλματα που, και μάλιστα σε όλη την εικόνα να είναι ανεκτά, στο συγκεκριμένο σημείο όμως να είναι αρκετά μεγάλα για να δημιουργούν πρόβλημα

Οι παραπάνω λόγοι εισάγουν ένα χονδροειδές σφάλμα στον υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς του δείγματος που συλλέξαμε και συνεπώς θα πρέπει να εξαιρεθεί από τους υπολογισμούς.

Επομένως υπολογίζονται τα στατιστικά στοιχεία όλων των τιμών, αλλά και μέρους των τιμών. Το κριτήριο με το οποίο αποφασίζεται ποιες από τις τιμές θα απαλειφθούν είναι η **τυπική απόκλιση** και η μορφή της **καμπύλης συχνότητας**.

Διακύμανση ή **διασπορά** (variance or rms) ονομάζεται ο μέσος όρος των τετραγωνικών αποκλίσεων των x_i από την μέση τιμή τους \bar{x} .

$$s^2 = \frac{1}{v} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι αν η καμπύλη συχνοτήτων για το χαρακτηριστικό που εξετάζουμε είναι κανονική ή περίπου κανονική, τότε η τυπική απόκλιση s έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

1. το 68% περίπου των παρατηρήσεων βρίσκεται στο διάστημα

$$(\bar{x} - s, \bar{x} + s)$$

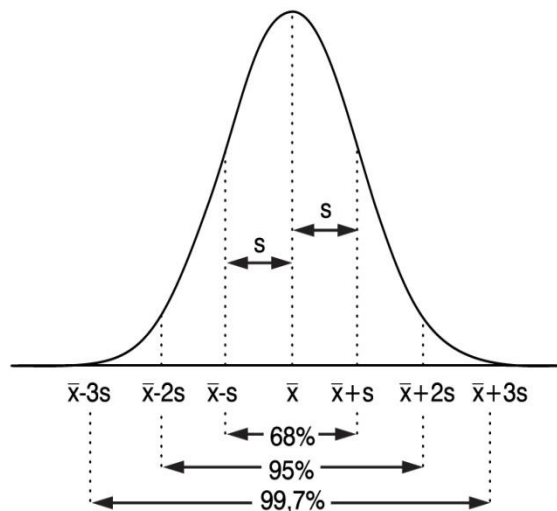
2. το 95% περίπου των παρατηρήσεων βρίσκεται στο διάστημα

$$(\bar{x} - 2s, \bar{x} + 2s)$$

3. το 99.7% περίπου των παρατηρήσεων βρίσκεται στο διάστημα

$$(\bar{x} - 3s, \bar{x} + 3s)$$

4. το εύρος ισούται σχεδόν με έξι τυπικές αποκλίσεις, δηλαδή $R \approx 6s$



Εικόνα 68 - Καμπύλη Συχνοτήτων

Κάνοντας χρήση της παραπάνω ιδιότητας θα κρατήσουμε ως τιμές υπολογισμού το $2s$ των μετρήσεων, ώστε να απαλειφθούν τα χονδροειδή σφάλματα και να μείνουν μόνο τα συστηματικά.

Επομένως προκύπτει ένας νέος πίνακας με λιγότερα στοιχεία, τμήμα του οποίου παρουσιάζεται παρακάτω.

Πίνακας 22 - Υψομετρικές διαφορές σημείων ελέγχου 2σ

ID	No	X	Y	ΔZ (m)
1	1	484724.497	4222149.083	-0.49
2	2	484712.532	4222034.538	3.33
3	3	484708.125	4221891.671	1.46
4	4	484828.394	4221882.859	3.08
6	5	484975.742	4222032.650	0.43
7	6	484985.817	4221877.825	3.19
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
68	64	485107.649	4221008.785	-0.16

Όπως είναι εμφανές 4 σημεία από τα 68 έχουν αφαιρεθεί καθώς ήταν έξω από τα όρια που δικαιολογούσε το κριτήριο που χρησιμοποιήσαμε μέσω της τυπικής απόκλισης.

Τα στατιστικά και των δύο (2) περιπτώσεων είναι:

Πίνακας 23 - Στατιστικά στοιχεία σημείων ελέγχου

	Για ολόκληρη την εικόνα		Για την περιοχή μελέτης	
	Για όλα τα σημεία	Για το 2s των σημείων	Για όλα τα σημεία	Για το 2s των σημείων
Ελάχιστο	-8.55	-3.87	-8.55	-3.87
Μέγιστο	19.08	8.05	19.08	6.74
Διάμεσος	1.41	1.4	1.44	1.44
Μέσος Όρος	1.81	1.65	1.74	1.64
Τυπική Απόκλιση (ως προς ν)	3.27	2.11	3.52	2.09
Τυπική Απόκλιση (ως προς ν-1)	3.25	2.1	3.5	2.07
Διακύμανση (RMS)	10.69	4.41	12.39	4.29

Να σημειωθεί ότι από το σύνολο της εικόνας απαλείφθηκαν 6 από τα 101 σημεία έλεγχου, επειδή ήταν έξω από το 2σ των τιμών, και από την εικόνα της περιοχής μελέτης 4 από τα 68 σημεία ελέγχου.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα δεδομένα στην περιοχή μελέτης έχουν συστηματικό σφάλμα 1.64 m, που εκφράζεται από τον μέσο όρο των διαφορών των σημείων ελέγχου απαλλαγμένα τα χονδροειδή σφάλματα.

5.3.2 Χειροκίνητος Υπολογισμός

Εκτός από τον ημιαυτόματο τρόπο υπολογισμού του συστηματικού σφάλματος, μπορούμε να εφαρμόσουμε και ένα χειροκίνητο.

Η διαδικασία η οποία ακολουθείται είναι:

1. Επιλέγουμε ένα χαρακτηριστικό σημείο στον χάρτη (πριν αυτός υποστεί οποιαδήποτε μετατροπή από σύστημα σε σύστημα ή αφινικό μετασχηματισμό)
2. Εντοπίζουμε το αντίστοιχο στην ορθοφωτογραφία από τον δορυφορικό δέκτη (την οποία την έχουμε γεωαναφέρει)
3. Εφαρμόζουμε τοπικό αφινικό μετασχηματισμό στον χάρτη από τα 4 ή 6 κοντινότερα σημεία του κάρναβου
4. Σημειώνουμε τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες σε HATT για τον χάρτη όπως δίνονται τώρα από το AutoCAD
5. Υπολογίζουμε το υψόμετρο του σημείου με γραφική παρεμβολή των ισοψών καμπύλων

6. Μετατρέπουμε τις συντεταγμένες του χάρτη από HATT σε ΕΓΣΑ87 με την χρήση του προγράμματος COORD_GR
7. Σημειώνουμε τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ87 για την ορθοφωτογραφία από τον δορυφορικό δέκτη όπως δίνονται τώρα από το AutoCAD
8. Υπολογίζουμε το υψόμετρο της περιοχής με παρεμβολή στο DSM, όπως στην προηγούμενη διαδικασία
9. Εισάγουμε τα αποτελέσματα κάθε σημείου στο Excel και υπολογίζουμε τις διαφορές τους

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή αυτής της διαδικασίας για 10 σημεία σε όλη την εικόνα που είχαμε στην διάθεσή μας (όχι μόνο την περιοχή μελέτης) έχουν ως εξής:

Πίνακας 24 - Συντεταγμένες Σημείων Ελέγχου στον Χάρτη (HATT)

No	X	Y	Z
1	-11176.708	-12243.226	351.67
2	-11969.661	-12344.840	376.67
3	-12926.586	-12494.785	380.84
4	-10089.005	-12273.131	361.58
5	-9868.802	-11440.715	370.00
6	-11394.117	-11137.197	414.00
7	-12091.036	-9448.427	553.74
8	-10139.867	-9888.075	334.60
9	-12065.223	-10477.037	490.00
10	-12955.734	-10716.332	450.45

Πίνακας 25 - Συντεταγμένες Σημείων Ελέγχου στον Χάρτη (ΕΓΣΑ87)

No	X	Y	Z
1	485883.964	4221135.912	351.67
2	485091.269	4221034.619	376.67
3	484134.647	4220885.074	380.84
4	486971.256	4221105.628	361.58
5	487191.663	4221937.682	370.00
6	485667.014	4222241.639	414.00
7	484970.928	4223930.066	553.74
8	486921.224	4223489.883	334.60
9	484996.382	4222901.809	490.00
10	484106.121	4222662.918	450.45

Πίνακας 26 - Συντεταγμένες Σημείων Ελέγχου στην Ορθοφωτογραφία (ΕΓΣΑ87)

No	X	Y	Z
1	485882.419	4221135.210	349.58
2	485084.209	4221026.821	377.20
3	484123.008	4220886.369	0.00
4	486971.626	4221100.960	362.46
5	487190.681	4221935.342	370.35
6	485664.680	4222249.794	413.21
7	484970.810	4223934.458	553.70
8	486922.336	4223499.143	334.89
9	484994.822	4222914.185	490.21
10	484100.311	4222671.134	486.69

Πίνακας 27 - Διαφορές Συντεταγμένων Σημείων Ελέγχου Χάρτη-Ορθοφωτογραφίας (ΕΓΣΑ87)

No	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
1	-1.545	-0.702	-2.091
2	-7.060	-7.798	0.522
3	-11.639	1.295	-380.839
4	0.370	-4.668	0.879
5	-0.982	-2.340	0.348
6	-2.334	8.155	-0.790
7	-0.118	4.392	-0.039
8	1.112	9.260	0.285
9	-1.560	12.376	0.213
10	-5.810	8.216	36.245

Στον τελικό πίνακα που μας παρουσιάζεται μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το υψομετρικό σφάλμα, εκτός τριών (3) περιπτώσεων, κινείται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Προβλήματα παρατηρούνται σε τρία (3) σημεία όπου:

1. Σε ένα εξ αυτών (σημείο No. 3) δεν υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού του υψομέτρου στην δορυφορική λήψη, καθώς οι συντεταγμένες του είναι εκτός ορίων του παρεχόμενου DSM, άρα δεν λαμβάνεται υπόψη
2. Στο σημείο No. 10 παρατηρείται μία τεράστια υψομετρική διαφορά (λάθος που πιθανότατα συνδέεται με κακή επιλογή σημείου ελέγχου ή αστοχία του DSM στην περιοχή) και απαλείφεται ως χονδροειδές σφάλμα, και
3. Στο τελευταίο (σημείο No. 1) το σφάλμα είναι μεγαλύτερο από το $3s$ των υπολοίπων, στα οποία είναι σχεδόν μηδενικό (0)

Από αυτή την διαδικασία προκύπτει ότι το υψομετρικό συστηματικό σφάλμα είναι σχεδόν μηδενικό (0) ή απλά αμελητέο.

5.3.3 Συμπεράσματα από τον Υπολογισμό του Συστηματικού Σφάλματος

Από τις δύο (2) παραπάνω διαδικασίες υπολογισμού του σφάλματος θα πρέπει να επιλέξουμε ποιās διαδικασίας αποτελέσματα θα χρησιμοποιήσουμε, καθώς το υπολογισμένο συστηματικό σφάλμα είναι διαφορετικό σε κάθε περίπτωση.

Προφανώς η ημι-αυτόματη διαδικασία μας παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς:

- i. Είναι γρηγορότερη
- ii. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε περισσότερα σημεία ελέγχου
- iii. Δεν υπάρχουν σφάλματα σκόπευσης και αντιστοίχισης
- iv. Περιγράφει τα πραγματικά δεδομένα

Στον αντίποδα, η χειροκίνητη διαδικασία:

- i. Παρακάμπτει την σφαλματογόνο μετατροπή των ισοϋψών από HATT σε ΕΓΣΑ87
- ii. Δίνει εκτός από υψομετρικό, και οριζοντιογραφικό έλεγχο της διαδικασίας

Ακόμη θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η σκόπευση των ορίων ενός δρόμου, ως χαρακτηριστικού σημείου, για παράδειγμα, αντιστοιχεί στην σκόπευση μίας γραμμής το πάχος της οποίας αν αναχθεί στην πραγματικότητα είναι σχεδόν 5 m. Επομένως μία τέτοια σκόπευση δεν είναι ασφαλής.

Παρατηρούμε, λοιπόν, από τα δύο προηγούμενα υποκεφάλαια ότι τα αποτελέσματα της ημιαυτόματης μεθόδου, τα οποία χρησιμοποιούν την υψομετρική πληροφορία που έχει μετατραπεί στο σύστημα ΕΓΣΑ87, έχουν μεγαλύτερο σφάλμα από την χειροκίνητη μέθοδο κατά την οποία γίνεται τοπικός μετασχηματισμός τα αποτελέσματα του οποίου εισάγουν οριζοντιογραφικό σφάλμα.

Το συμπέρασμα είναι ότι η μετατροπή της υψομετρικής πληροφορίας του χάρτη από το σύστημα HATT στο ΕΓΣΑ87, επιφέρει ένα οριζοντιογραφικό σφάλμα που μεταφράζεται σε υψομετρικό λόγω μετάθεσης του μοντέλου.

Με την χειροκίνητη διαδικασία τα αποτελέσματα θα ήταν καλύτερα αν υπήρχε η δυνατότητα τοπικών μετασχηματισμών ανά σημείο για όλα τα κελιά του υψομετρικού κανάβου.

Επειδή το παραπάνω είναι ουσιαστικά αδύνατο και το μοντέλο υψομέτρου που χρησιμοποιείται στην διαδικασία προκύπτει από τον αφινικό μετασχηματισμό (επομένως φέρει τα σφάλματα μετάθεσης), κρίνεται ορθότερη η επιλογή της ημι-αυτοματοποιημένης μεθόδου ως μέθοδος υπολογισμού του συστηματικού.

5.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

5.4.1 Εντοπισμός Κτισμάτων

Ο εντοπισμός των κτισμάτων στηρίζεται στην υψομετρική διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στο DSM και το DTM της περιοχής μελέτης.

Επειδή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η διαδικασία που ακολουθείται δεν είναι απαλλαγμένη σφαλμάτων, στον υπολογισμό της διαφοράς θα πρέπει να συνυπολογίσουμε την επίδραση του συστηματικού σφάλματος.

Από το προηγούμενο υποκεφάλαιο καταλήξαμε ότι το συστηματικό σφάλμα που υπολογίζεται από τον μέσο όρο των διαφορών των σημείων ελέγχου είναι 1.64 m.

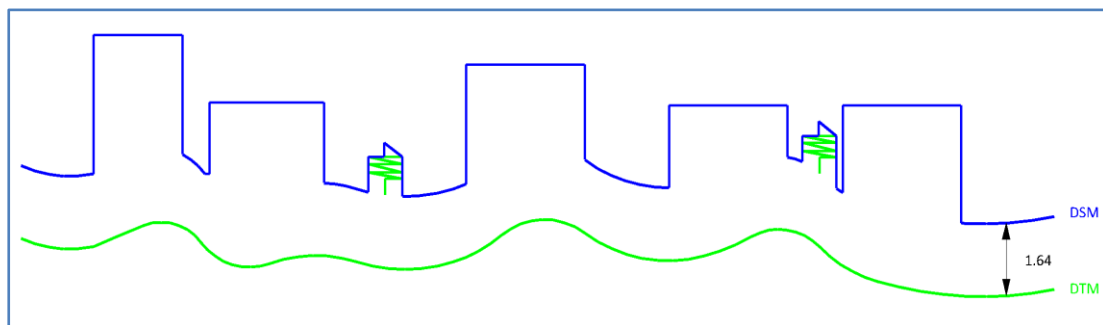
Θεωρητικά η διαφορά που υπολογίστηκε θα έπρεπε να είναι:

$$DSM^{\text{εδαφος}} - DTM^{\text{εδαφος}} = 0 \text{ m}$$

Από τους υπολογισμούς, όμως, στα σημεία ελέγχου, προκύπτει:

$$DSM^{\text{εδαφος}} - DTM^{\text{εδαφος}} = 1.64 \text{ m}$$

Δηλαδή το μοντέλο που παρήχθη από την ψηφιοποίηση των χαρτών της ΓΥΣ (DTM), σε σχέση με το DSM, έχει συστηματική μετατόπιση 1.64 m προς τα κάτω.



Εικόνα 69 - Θέση DTM σε σχέση με το DSM

Η διαφορά που υπολογίζουμε προκειμένου να γίνει ο εντοπισμός των κτισμάτων προκύπτει από τον απλό τύπο της αφαίρεσης των δύο (2) κλάσεων υψομετρικής πληροφορίας.

$$\Delta h = DSM - DTM$$

Επειδή όμως στα δεδομένα εμπεριέχεται και το συστηματικό σφάλμα ο τύπος διαμορφώνεται σε:

$$\Delta h = DSM - (DTM - 1.64) \Rightarrow$$

$$\Delta h = DSM - DTM + 1.64$$

Τα αποτελέσματα της αφαίρεσης είναι ένας πίνακας με τιμές, των οποίων η ερμηνεία απαιτεί κατηγοριοποίηση.

5.4.1.1 Κατωφλίωση

Τα αποτελέσματα της κατωφλίωσης είναι δύο (2) κατηγορίες. Μία η οποία αντιστοιχεί σε υψομετρική διαφορά μεγαλύτερη του κατωφλίου και μία άλλη η οποία αντιστοιχεί σε μικρότερη. Το οπτικό αποτέλεσμα είναι μία εικόνα δύο (2) χρωμάτων που κάθε χρώμα αντιπροσωπεύει μία κατηγορία.

Το βασικό ερώτημα που τέθηκε κατά την εφαρμογή της κατωφλίωσης είναι το σημείο (υψόμετρο) κατωφλίωσης. Βάσει των λογικών υποθέσεων που κάναμε στο κεφάλαιο της διαδικασίας:

- i. Το έδαφος αντιστοιχεί σε μηδενική (0) υψομετρική διαφορά
- ii. Κτίσματα θεωρούνται κατασκευές με υψομετρική διαφορά τουλάχιστον 2-3 m
- iii. Η διαδικασία εξαγωγής υψομετρικής πληροφορίας δίνει σφάλμα τουλάχιστον ± 2 m

Άρα υπάρχει λόγω σφαλμάτων η πιθανότητα επικάλυψης των κατηγοριών, η οποία δεν μας επιτρέπει τον σαφή διαχωρισμό τους.

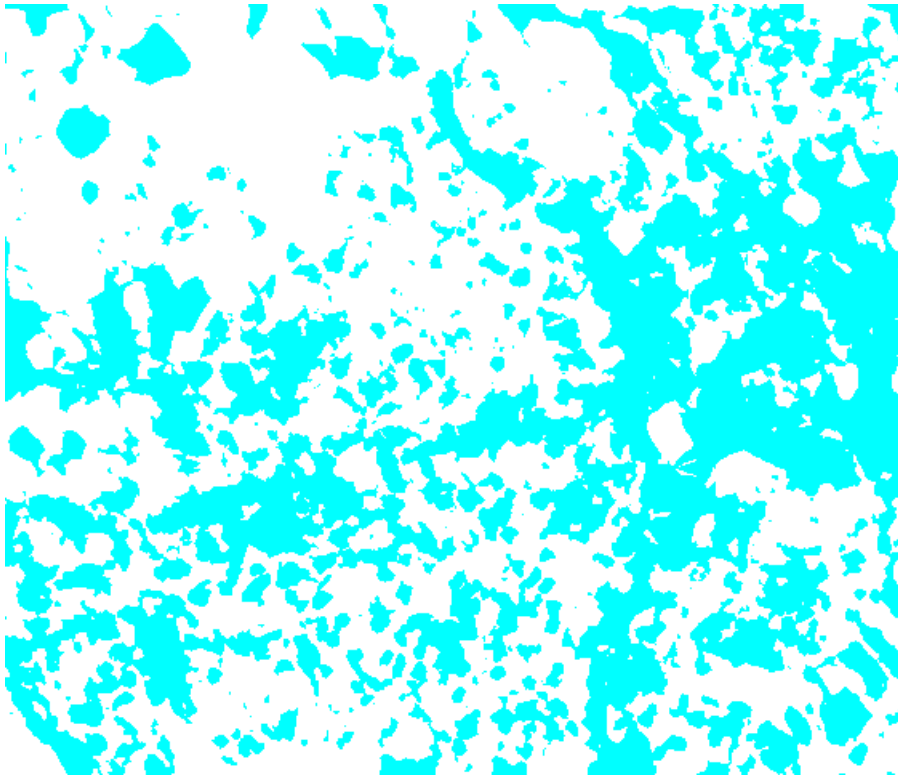
Συνεπώς, έδαφος πρέπει να θεωρηθεί ο υψομετρικός χώρος που περιέχεται στην σχέση $-2\text{ m} < G < 2\text{ m}$, όπου G είναι το έδαφος και κτίσματα θεωρείται ο υψομετρικός χώρος που περιγράφεται από τη σχέση $1\text{ m} < B < 23\text{ m}$, όπου B είναι τα κτίσματα.

Τα 23 m είναι ένα άνω όριο χαρακτηριστικό της περιοχής (7όροφα κτίσματα + σφάλμα), που μπορεί να διαφέρει από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με τους ορόφους που αναμένουμε να έχουν τα προς εντοπισμό κτίσματα. Σε κάθε περίπτωση αυτός ο αριθμός δεν μπορεί αν είναι ιδιαίτερα μεγάλος.

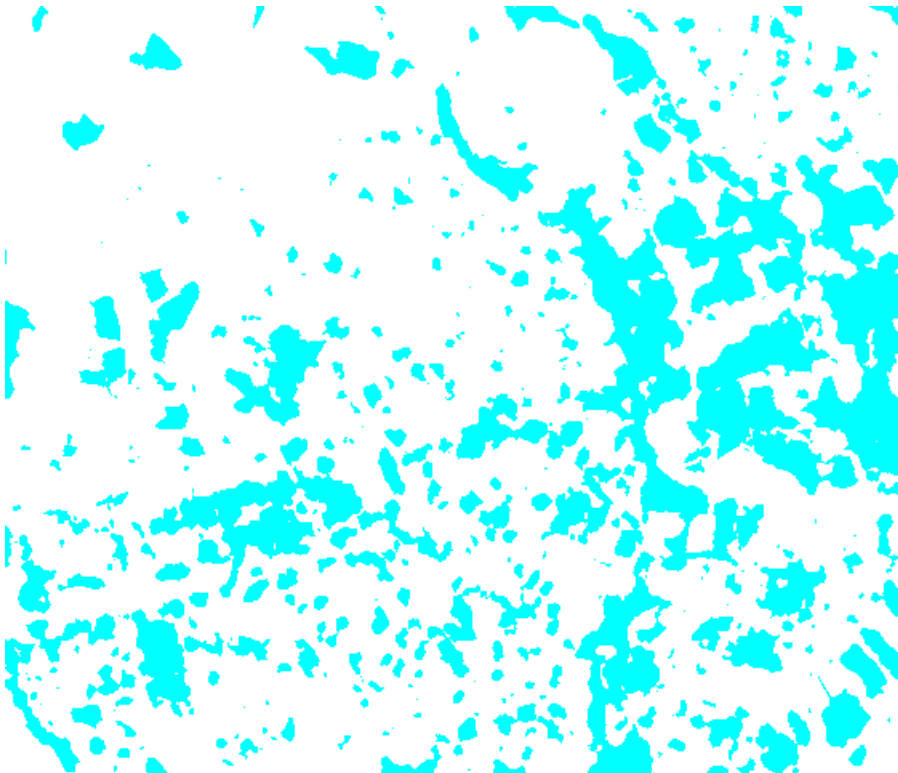
Όπως γίνεται αντιληπτό από την παραπάνω ερμηνεία, υπάρχει μία περιοχή ανάμεσα στο υψόμετρο 1 m και 2 m στην οποία δεν είναι σαφές, ούτε θεωρητικά, το περιεχόμενο αυτής της ζώνης.

Σε κάθε περίπτωση επιλέχθηκε ως σημείο κατωφλίωσης τα 3 m, ενώ αποτελέσματα εξήχθησαν και για διαφορετικά σημεία κατωφλίωσης.

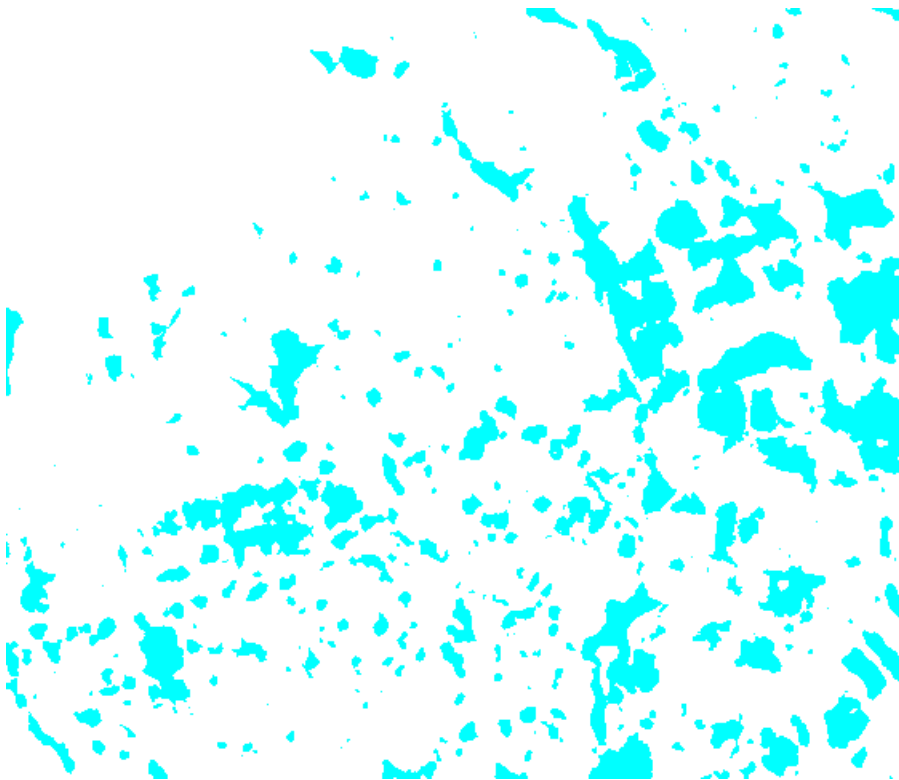
Μερικές από τις εικόνες κατωφλίωσης παρουσιάζονται παρακάτω, τα κτίσματα κατηγοριοποιούνται με κυανό και το έδαφος με λευκό.



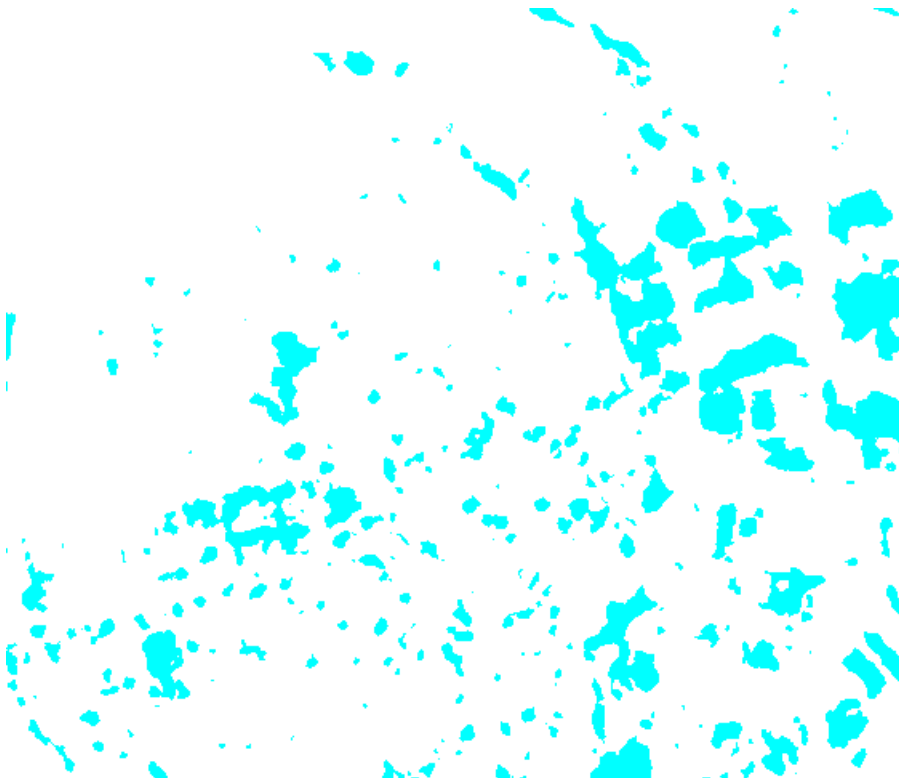
Εικόνα 70 - Ομαδοποίηση Κτισμάτων με Κατωφλίωση στα 2 m



Εικόνα 71 - Ομαδοποίηση Κτισμάτων με Κατωφλίωση στα 3 m



Εικόνα 72 - Ομαδοποίηση Κτισμάτων με Κατωφλίωση στα 4 m



Εικόνα 73 - Ομαδοποίηση Κτισμάτων με Κατωφλίωση στα 5 m

Τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία για τις ανωτέρω εικόνες κατά σειρά παρουσίασης είναι:

Πίνακας 28 - Κατωφλίωση στα 2 m

	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος
Έδαφος	-114.32	2.00	1.02	0.61	2.81	156312
Κτίσματα	2.00	40.06	3.37	4.41	2.83	113529

Πίνακας 29 - Κατωφλίωση στα 3 m

	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος
Έδαφος	-114.32	3.00	1.30	1.03	2.59	202480
Κτίσματα	3.00	40.06	4.73	5.76	2.99	67361

Πίνακας 30 - Κατωφλίωση στα 4 m

	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος
Έδαφος	-114.32	4.00	1.44	1.29	2.56	226438
Κτίσματα	4.00	40.06	6.12	7.04	3.04	43403

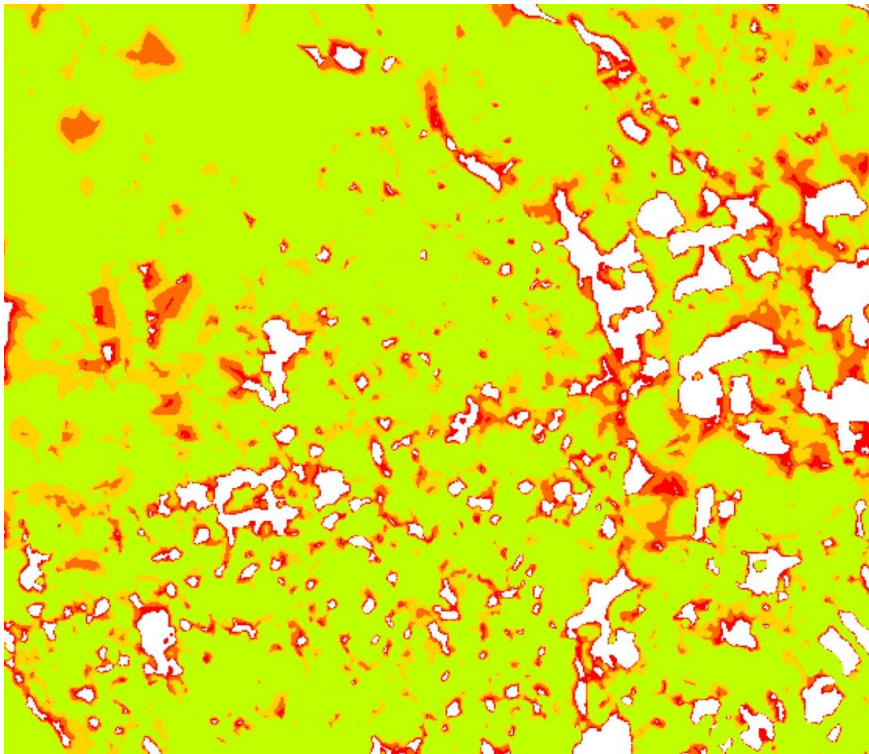
Πίνακας 31 - Κατωφλίωση στα 5 m

	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος
Έδαφος	-114.32	5.00	1.51	1.45	2.59	239007
Κτίσματα	5.00	40.06	7.21	8.09	3.03	30834

Από τα στατιστικά μπορούμε να παρατηρήσουμε κυρίως:

- a) Ασυνήθιστα μεγάλη υψομετρική διαφορά ελάχιστου
- b) Σχετικά μεγάλη υψομετρική διαφορά μέγιστου

Σημαντικά συμπεράσματα μπορούμε να βγάλουμε από την Εικόνα 74 που δείχνει πως μεταβάλλονται τα σημεία που ανιχνεύονται ως έδαφος ανάλογα με την μεταβολή του σημείου κατωφλίωσης. Μπορούμε να διακρίνουμε οπτικά ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο κατωφλίωσης, τόσο μειώνεται το εμβαδό των νησίδων εντοπισμού, ενώ ταυτόχρονα εξαφανίζονται και οι νησίδες μικρού εμβαδού.



Εικόνα 74 - Μεταβολή εντοπισμού κατηγορίας εδάφους σε σχέση με το σημείο κατωφλίωσης

5.4.1.2 Στοχευμένη ομαδοποίηση

Από την παρατήρηση των προηγούμενων αποτελεσμάτων φτάσαμε στο συμπέρασμα ότι εκτός από τις ομάδες Έδαφος και Κτίσματα, υπήρχαν και δύο (2) ομάδες σφαλμάτων στις οποίες η υψομετρική διαφορά του σημείου ελέγχου ήταν πολύ μεγάλη (με θετικό ή αρνητικό πρόσημο).

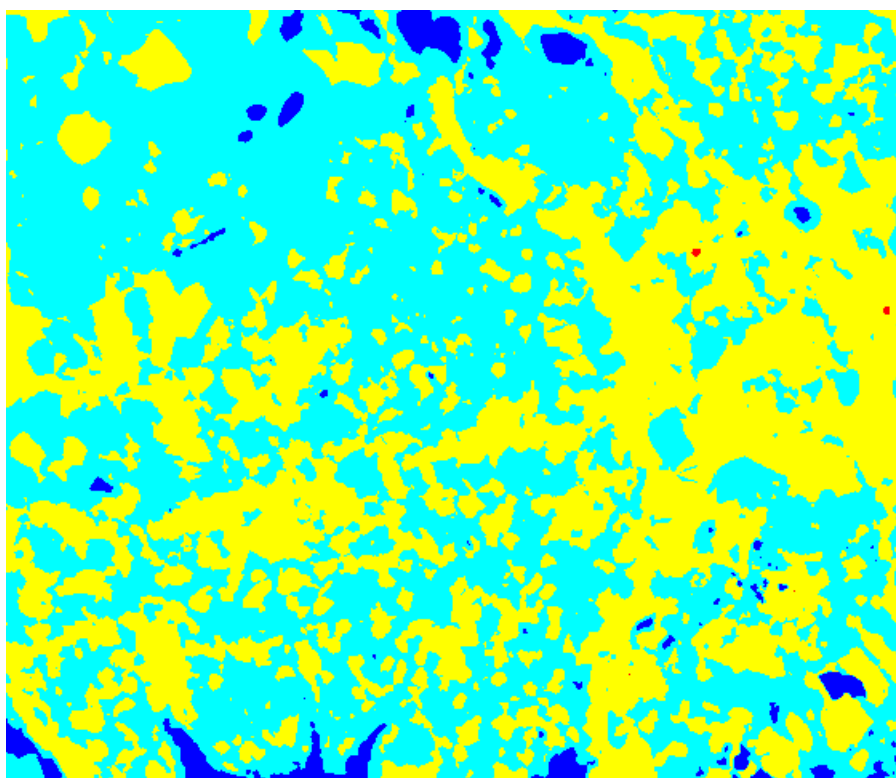
Επιλέχτηκε, λοιπόν, η ομαδοποίηση των δεδομένων μας να γίνει, με τρόπο πιο διευρυμένο από τον προηγούμενο, θέτοντας στενά τα όρια των ομάδων με άνω και κάτω φράγμα.

Στον προηγούμενο τρόπο εφαρμογής της ομαδοποίησης ως «έδαφος» θεωρούνται τα σημεία με υψόμετρο μικρότερο του κατωφλίου, ενώ ως «κτίσμα» τα σημεία με υψόμετρο μεγαλύτερο.

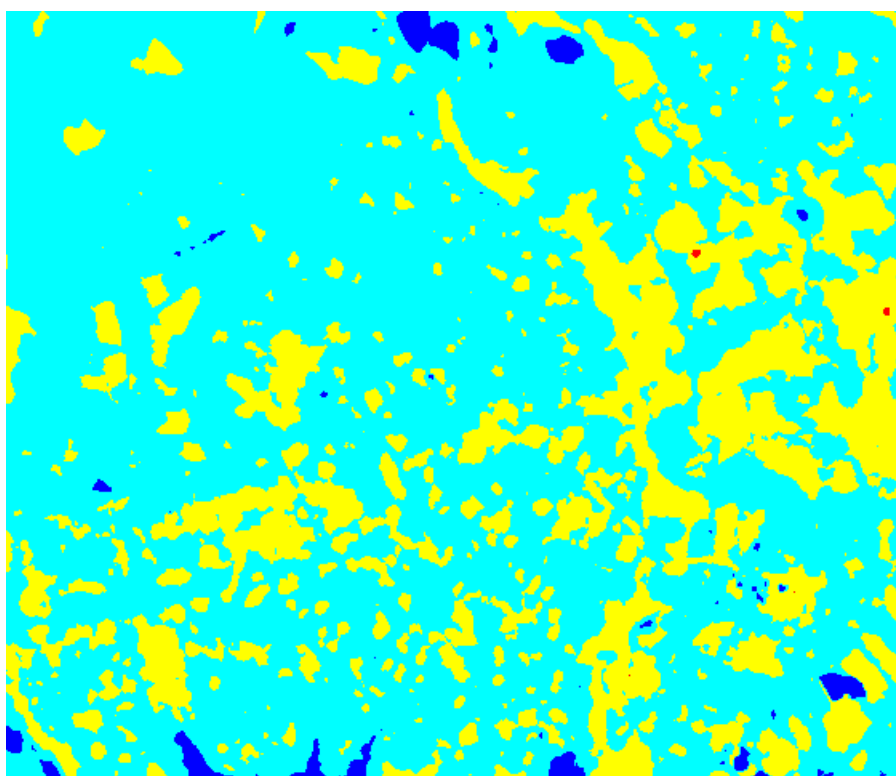
Σε αυτόν τον τρόπο επιλέγουμε στενότερα όρια:

- i. Ως κτίσμα θεωρούμε την περιοχή $2 m < B < 23 m$
- ii. Ως έδαφος την περιοχή $-2 m < G < 2 m$
- iii. Το υπόλοιπο τμήμα των δεδομένων θεωρείται ότι περιέχει χονδροειδή σφάλματα

Ο αλγόριθμος προγραμματίστηκε σε περιβάλλον Matlab και για τέσσερις (4) ομάδες υψομετρικών διαφορών (τα χονδροειδή σφάλματα χωρίζονται σε άνω και κάτω σφάλματα). Προκύπτουν τα οπτικά αποτελέσματα (Εικόνα 75 και Εικόνα 76).



Εικόνα 75 - Στοχευμένη Ομαδοποίηση στις υψομετρικές διαφορές -2,2,23



Εικόνα 76 - Στοχευμένη Ομαδοποίηση στις υψομετρικές διαφορές -3,3,23

Στις παραπάνω εικόνες οι κατηγορίες αντιστοιχούν στα εξής χρώματα:

- i. Άνω σφάλμα (Κόκκινο)
- ii. Κτίσματα (Κίτρινο)
- iii. Έδαφος (Κυανό)
- iv. Κάτω σφάλμα (Μπλε)

Πίνακας 32 - Στοιχειωμένη Ομαδοποίηση στις υψομετρικές διαφορές -2 m / 2 m / 23 m

	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος
Κάτω Σφάλμα	-114.32	-2.00	-3.46	-6.46	11.65	6043
Έδαφος	-2.00	2.00	1.05	0.90	0.80	150269
Κτίσματα	2.00	22.93	3.37	4.40	2.79	113487
Άνω Σφάλμα	23.08	40.06	28.00	29.25	4.82	42

Πίνακας 33 - Στοιχειωμένη Ομαδοποίηση στις υψομετρικές διαφορές -3 m / 3 m / 23 m

	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος
Κάτω Σφάλμα	-114.32	-3.00	-5.16	-9.17	14.46	3608
Έδαφος	-3.00	3.00	1.32	1.22	1.05	198872
Κτίσματα	3.00	22.93	4.73	5.75	2.93	67319
Άνω Σφάλμα	23.08	40.06	28.00	29.25	4.82	42

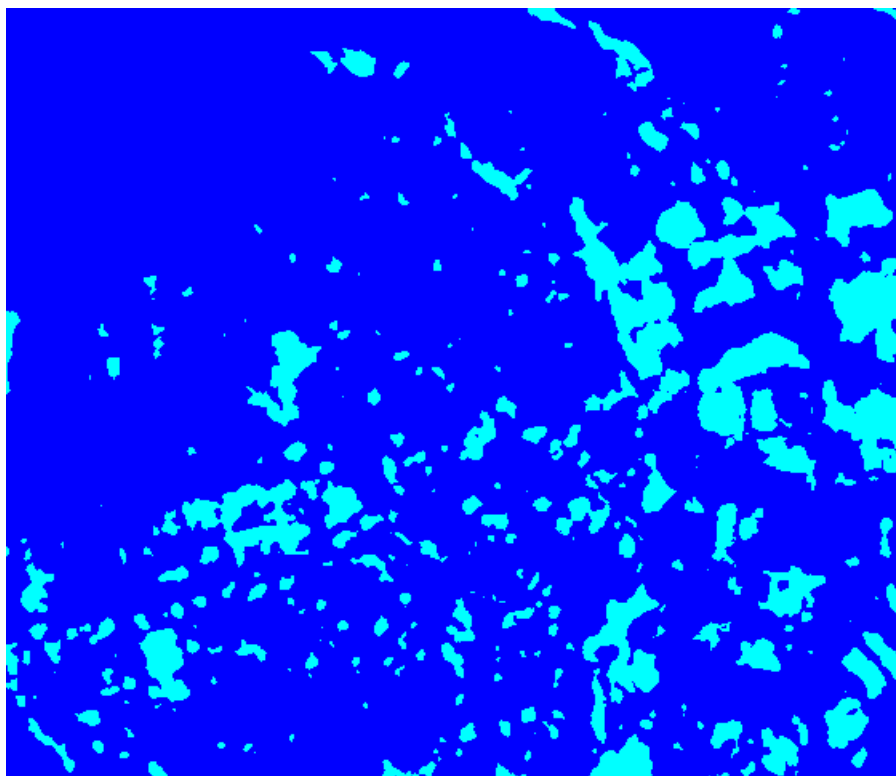
Οπτικά, και στην περίπτωση που συγκρίνουμε τις παραπάνω εικόνες με την ορθοφωτογραφία της περιοχής, θα παρατηρήσουμε ότι οι περισσότερες περιοχές που χαρακτηρίζονται ως κάτω σφάλμα είναι βλάστηση στην οποία προφανώς έχει αστοχήσει το DSM που παράχθηκε από τις δορυφορικές εικόνες (περισσότερα βλ. παρακάτω).

Με την συγκεκριμένη ομαδοποίηση διαπιστώνουμε ότι η προς ανίχνευση κατηγορία των κτισμάτων δεν επηρεάζεται από το σφάλμα καθώς αυτό εκφράζεται κυρίως ως κάτω σφάλμα. Το κάτω σφάλμα στην διαδικασία της κατωφλίωσης εμπεριέχεται στο έδαφος, κατηγορία η οποία εκ των πραγμάτων απαλείφεται (όπως πρέπει να γίνει και με το σφάλμα).

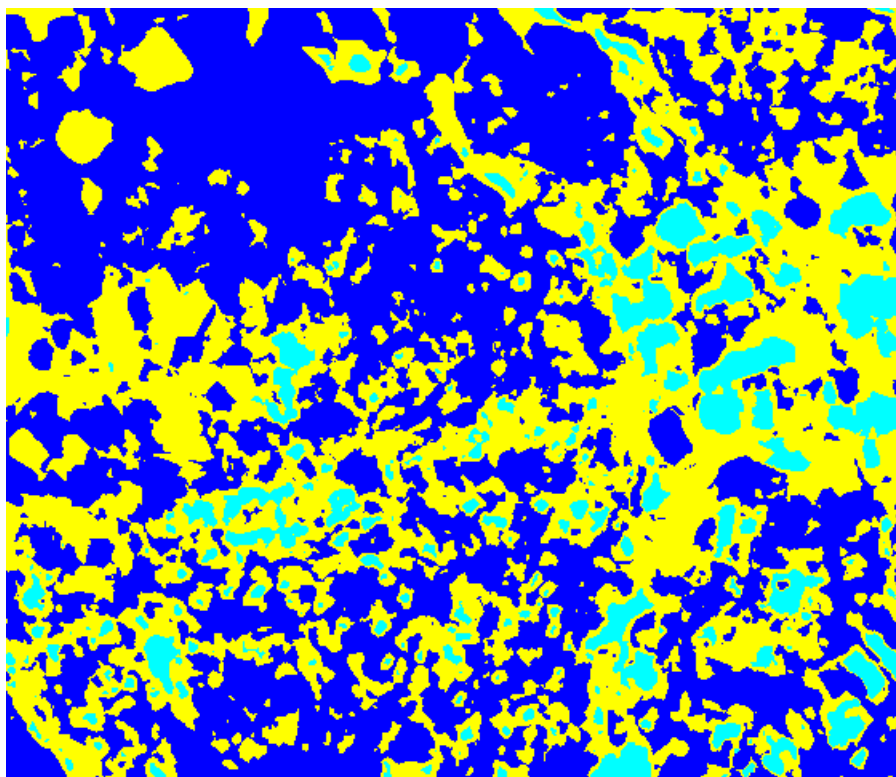
Να υπενθυμίσουμε ότι με αυτό το κριτήριο θέλουμε να απαντήσουμε στην ερώτηση αν «Υπάρχει υψομετρική διαφορά που να δικαιολογεί την ύπαρξη κτισμάτων;». Θετική απάντηση έχουμε μόνο στην περίπτωση που το εικονοστοιχείο ανήκει στην κατηγορία κτίσματα. Επομένως είτε το εικονοστοιχείο είναι σφάλμα είτε έδαφος η απάντηση στο ερώτημα είναι αρνητική.

5.4.1.3 Ταξινόμηση (Classification)

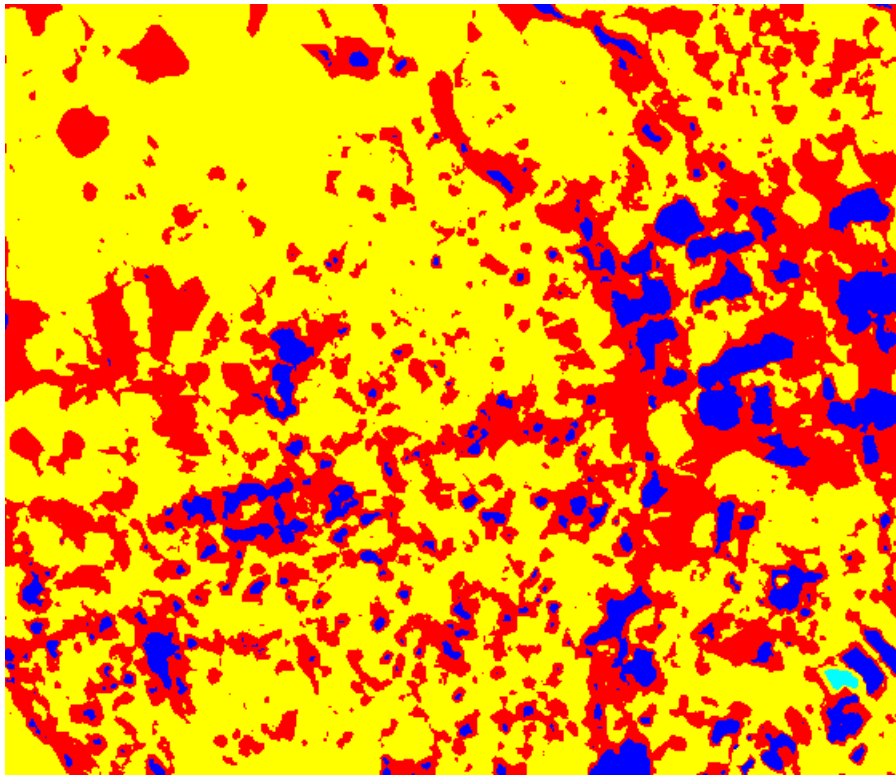
Εφαρμόζεται η διαδικασία της ταξινόμησης για 2, 3, 4, 5 και 6 κατηγορίες. Τα αποτελέσματα κάθε περίπτωσης παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 77 έως Εικόνα 81).



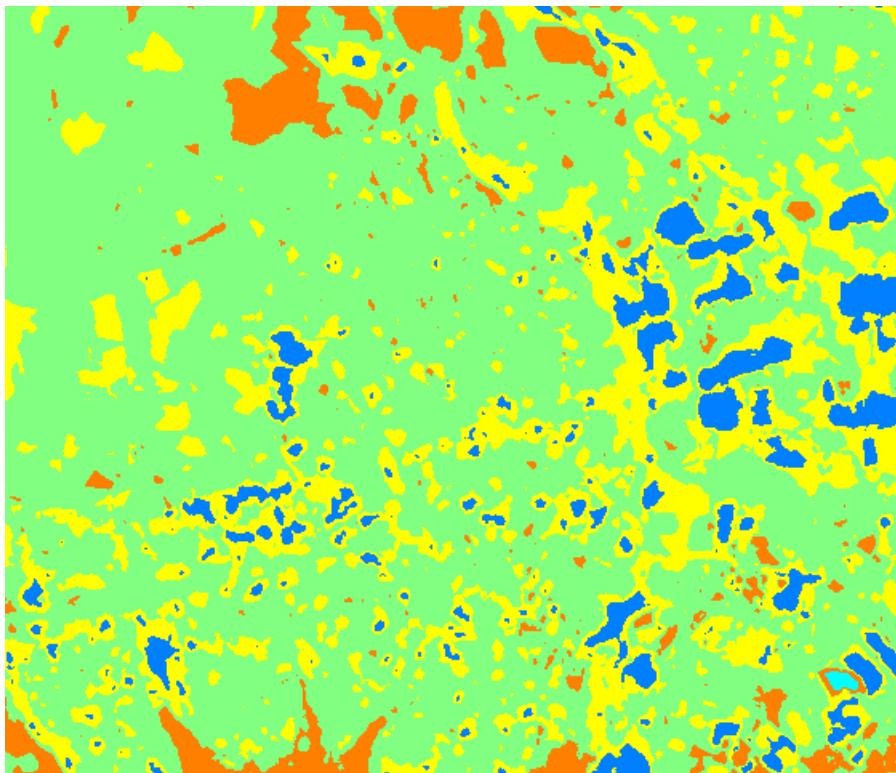
Εικόνα 77 - Ταξινόμηση 2 κατηγοριών



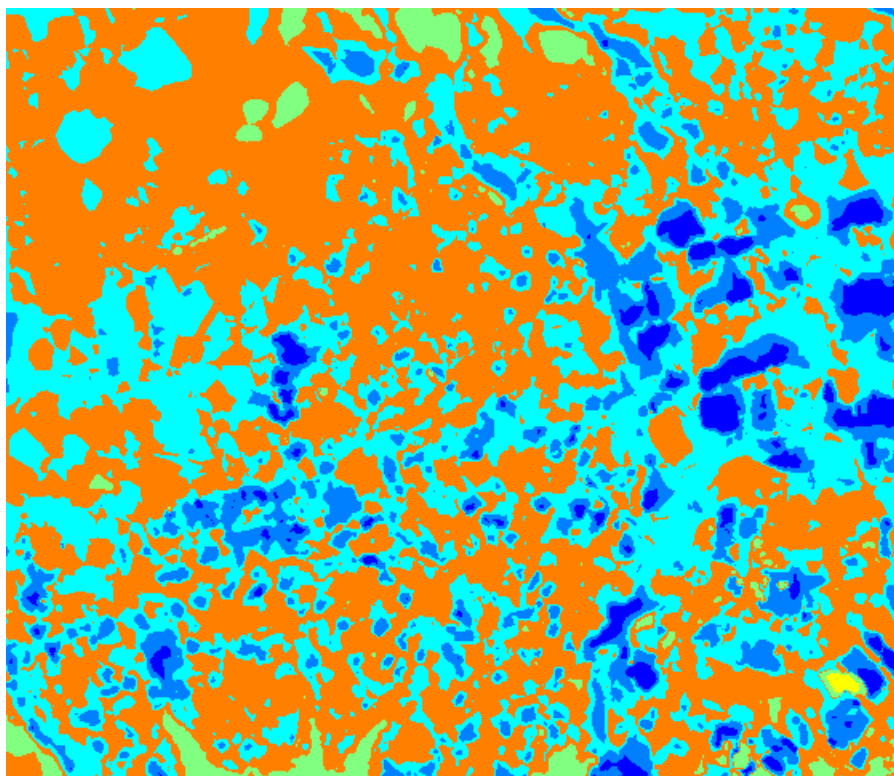
Εικόνα 78 - Ταξινόμηση 3 κατηγοριών



Εικόνα 79 - Ταξινόμηση 4 κατηγοριών



Εικόνα 80 - Ταξινόμηση 5 κατηγοριών



Εικόνα 81 - Ταξινόμηση 6 κατηγοριών

Αντίστοιχα τα στατιστικά κάθε κατηγορίας έχουν ως εξής:

Πίνακας 34 - Ταξινόμηση 2 κατηγοριών

	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος
Κατηγορία 1	-114.32	4.45	1.47	1.37	2.57	232880
Κατηγορία 2	4.45	40.06	6.64	7.53	3.04	36961

Πίνακας 35 - Ταξινόμηση 3 κατηγοριών

	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος
Κατηγορία 1	-114.32	1.79	0.92	0.48	2.92	141456
Κατηγορία 2	6.16	40.06	8.32	9.21	3.00	21443
Κατηγορία 3	1.79	6.16	2.78	3.10	1.11	106942

Πίνακας 36 - Ταξινόμηση 4 κατηγοριών

	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος
Κατηγορία 1	6.49	40.06	8.61	9.52	2.99	19365
Κατηγορία 2	-114.32	-32.32	-60.83	-65.09	22.58	184
Κατηγορία 3	-31.90	2.09	1.06	0.74	1.48	162011
Κατηγορία 4	2.09	6.49	3.13	3.45	1.14	88281

Πίνακας 37 - Ταξινόμηση 5 κατηγοριών

	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος
Κατηγορία 1	7.27	40.06	9.36	10.27	2.99	15134
Κατηγορία 2	-114.32	-35.28	-63.05	-66.72	21.95	175
Κατηγορία 3	-0.63	2.79	1.34	1.32	0.78	180580
Κατηγορία 4	2.79	7.27	3.92	4.27	1.21	59359
Κατηγορία 5	-34.36	-0.63	-1.64	-2.58	2.94	14593

Πίνακας 38 - Ταξινόμηση 6 κατηγοριών

	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος
Κατηγορία 1	9.49	40.06	11.46	12.47	2.99	7231
Κατηγορία 2	4.67	9.49	6.26	6.51	1.33	27042
Κατηγορία 3	1.84	4.67	2.67	2.84	0.75	90029
Κατηγορία 4	-35.28	-1.59	-2.81	-4.03	3.53	7525
Κατηγορία 5	-114.32	-36.02	-63.40	-66.90	21.88	174
Κατηγορία 6	-1.59	1.84	1.00	0.85	0.73	137840

Από τα στατιστικά στοιχεία των ταξινομήσεων και τις εικόνες ομαδοποίησης που προκύπτουν, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι:

1. Οι κατηγορίες θέλουν αναγνώριση
2. Δεν είναι αντιπροσωπευτικές της λογικής που ακολουθεί τον εντοπισμό κτισμάτων
3. Σε πολλές περιπτώσεις τα κτίσματα ανήκουν σε περισσότερες από μία κατηγορίες
4. Εμφανίζεται μία νέα κατηγορία χονδροειδούς σφάλματος (κατηγορία 2 στις ταξινομήσεις 4 & 5 κατηγοριών και κατηγορία 5 στην ταξινόμηση 6 κατηγοριών) με μικρό πλήθος εικονοστοιχείων

Η ταξινόμηση της διαφοράς των υψομέτρων μας δίνει, λοιπόν, ως αποτέλεσμα μία δομή δεδομένων μη άμεσα επεξεργάσιμη. Ακόμη δεν υπάρχει ένα κανόνας βάσει

του οποίου μπορούμε να ορίσουμε ποιο είναι το βέλτιστο πλήθος κατηγοριών, ενώ είναι απαραίτητες οι συνενώσεις ακόμα και στην περίπτωση που έχουμε λίγες κατηγορίες.

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι σημαντικό για την αντίληψη του τύπου και της διασποράς των δεδομένων μας, όμως δεν μπορεί να αξιοποιηθεί πέραν την ερευνητικής διαδικασίας, καθώς τα αποτελέσματά του δεν διασφαλίζουν τον εντοπισμό του ζητούμενου σε κάθε εφαρμογή.

5.4.2 Εντοπισμός Βλάστησης

Το αποτέλεσμα του προηγούμενου κριτηρίου έχει όλες τις εμφανίσεις υψομετρικών διαφορών αδιαφορώντας αν αυτή δικαιολογεί την εμφάνιση κτισμάτων ή κάτι διαφορετικού που να έχει υψομετρική διαφορά από το έδαφος.

Σχεδόν στο σύνολο των περιπτώσεων υψομετρική διαφορά από το έδαφος έχουν οι κατασκευές (κτίσματα) και η βλάστηση. Επομένως το αποτέλεσμα του παραπάνω κριτηρίου θα πρέπει να «καθαριστεί» από την βλάστηση.

Όπως έχουμε περιγράψει εκτενώς στα προηγούμενα κεφάλαια η βλάστηση μπορεί να εντοπιστεί βάσει του λόγου της φασματική πληροφορίας των καναλιών του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου, και εκφράζεται καλύτερα από τον τύπο:

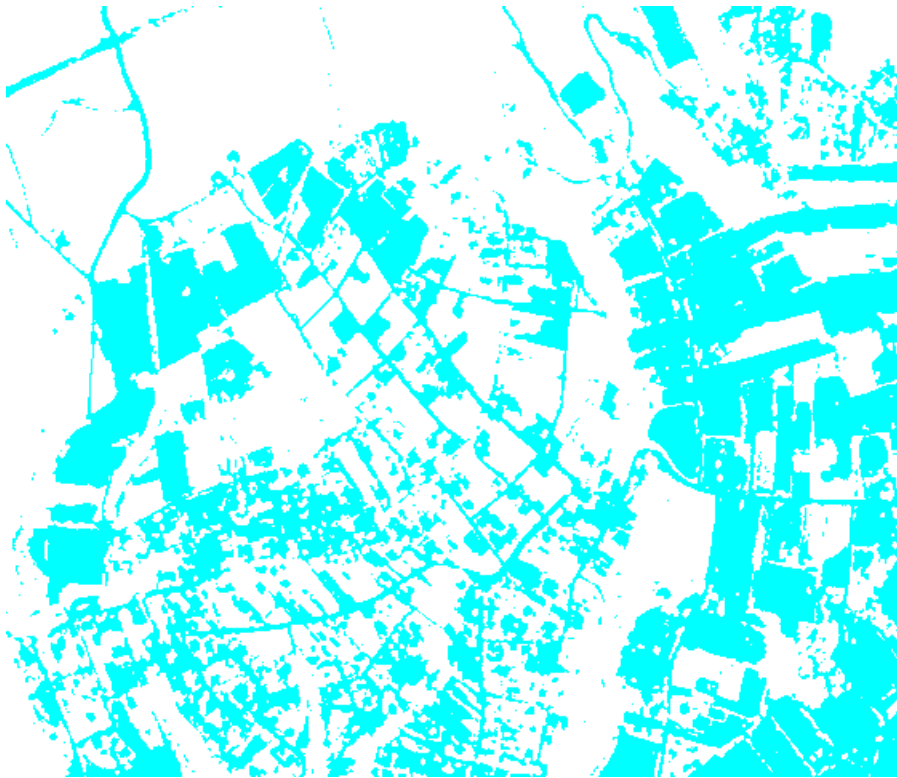
$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Η εφαρμογή του παραπάνω τύπου υπολογίζει μία τιμή από -1 έως 1. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τιμή τόσο πιο πιθανό είναι το εικονοστοιχείο που αντιστοιχεί σε αυτή την τιμή να είναι στην πραγματικότητα βλάστηση.

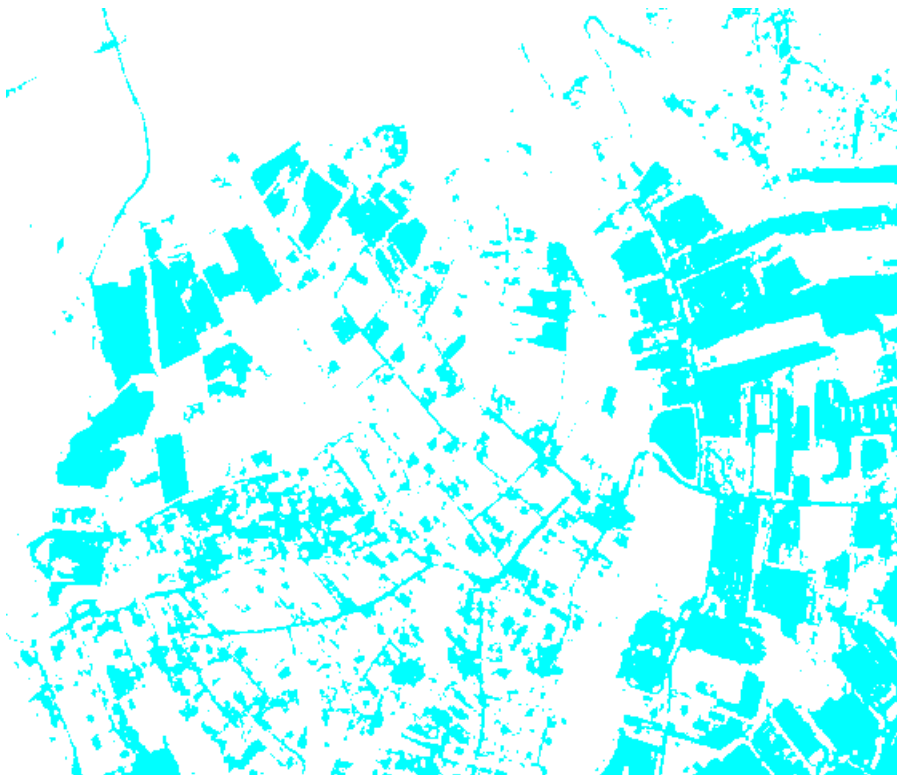
Η εύρεση μίας τιμής κατωφλίσωσης όπου ορίζει τα εικονοστοιχεία (pixel), τα οποία ανήκουν στην κατηγορία βλάστησης και αυτά που δεν ανήκουν, είναι επιβεβλημένη. Η συνήθης τιμή αυτής της διαδικασίας είναι 0.2. Ωστόσο για τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε (δορυφορικός δέκτης IKONOS) η τιμή που εκφράζει καλύτερα αυτό το όριο είναι 0.1, καθώς ο δέκτης έχει σχετικά υψηλή ευαισθησία στο κόκκινο κανάλι και χαμηλή στο κανάλι του εγγύς υπέρυθρου.

Επιπλέον μπορούμε να θέσουμε ως όριο μία τιμή ακόμη μικρότερη από το 0.1. Σε αυτή την περίπτωση το κριτήριο γίνεται πιο αυστηρό. Ο κίνδυνος να αφαιρέσουμε με αυτόν τον τρόπο εκτός από την βλάστηση και την προς αναζήτηση κατηγορία (κτίσματα), είναι μικρός καθώς τα κτίσματα έχουν φασματική υπογραφή του δεδομένου λόγου κοντά στο κάτω όριο του αποτελέσματος της πράξης.

Στις παρακάτω γραμμές παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του κριτηρίου NDVI για τιμές κατωφλίου 0.1 και 0. Με λευκό χρώμα απεικονίζεται η εντοπισμένη βλάστηση.



Εικόνα 82 - Εφαρμογή NDVI με κατώφλι στη τιμή 0.1 (62% βλάστηση)



Εικόνα 83 - Εφαρμογή NDVI με κατώφλι στη τιμή 0 (73% βλάστηση)

5.4.3 Μορφολογικό Φίλτρο

Η εφαρμογή του μορφολογικού φίλτρου είχε ως σκοπό να βελτιώσει τα παραπάνω αποτελέσματα. Οπτικά η εφαρμογή του είναι μία εικόνα με κουκκίδες στα σημεία που το φίλτρο δεν εκπληρώνει τα κριτήρια και τα οποία θα αφαιρεθούν από την κατηγορία κτίσματα.

Το μορφολογικό φίλτρο δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον οπτικά. Βελτιώνει όμως την ακρίβεια της μεθόδου, καθώς περιορίζει την έκταση κηλίδων εντοπισμού και αφαιρεί τον θόρυβο από τις πολύ μικρές κηλίδες, μεγέθους ενός ή δύο εικονοστοιχείων (pixel). Υπό προϋποθέσεις, που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 4.5.3 Μορφολογικό Φίλτρο (σελ.97), το στοιχείο που απορρίπτεται μπορεί να είναι και μεγαλύτερο των δύο εικονοστοιχείων. Τα αποτελέσματα του μορφολογικού φίλτρου εμφανίζονται καλύτερα από τα στατιστικά ακρίβεια της μεθόδου με ή χωρίς την χρήση του (Πίνακας 41, Πίνακας 42 και Γράφημα 5).

5.5 ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η πολυκριτηριακή λογική της εφαρμογής μας επιβάλλει την σύνθεση των κριτηρίων. Πρώτο ερώτημα στο οποίο θα πρέπει να δώσουμε απάντηση είναι η επιλογή των ρυθμίσεων των επιμέρους αποτελεσμάτων των κριτηρίων.

Το παραπάνω ισχύει κυρίως για την επιλογή:

- i. Του σημείου κατωφλίωση εδάφους – κτισμάτων
- ii. Της μεθόδου ομαδοποίησης των αποτελεσμάτων
- iii. Του σημείου κατωφλίωσης του NDVI
- iv. Της εφαρμογής ή μη του μορφολογικού φίλτρου

Ως σημείο κατωφλίωσης επιλέγουμε τα 3 m. Ένα υψόμετρο αρκετά υψηλό ώστε να έχουμε ακριβή αποτελέσματα, αλλά ταυτόχρονα να χάνουμε όσο το δυνατόν λιγότερα αντικείμενα προς εντοπισμό.

Από την στιγμή που απορρίψαμε τη μέθοδο της ταξινόμησης ως διαδικασία ομαδοποίησης των υψομετρικών διαφορών, θα πρέπει να επιλέξουμε ανάμεσα στην στοχευμένη ομαδοποίηση και την κατωφλίωση.

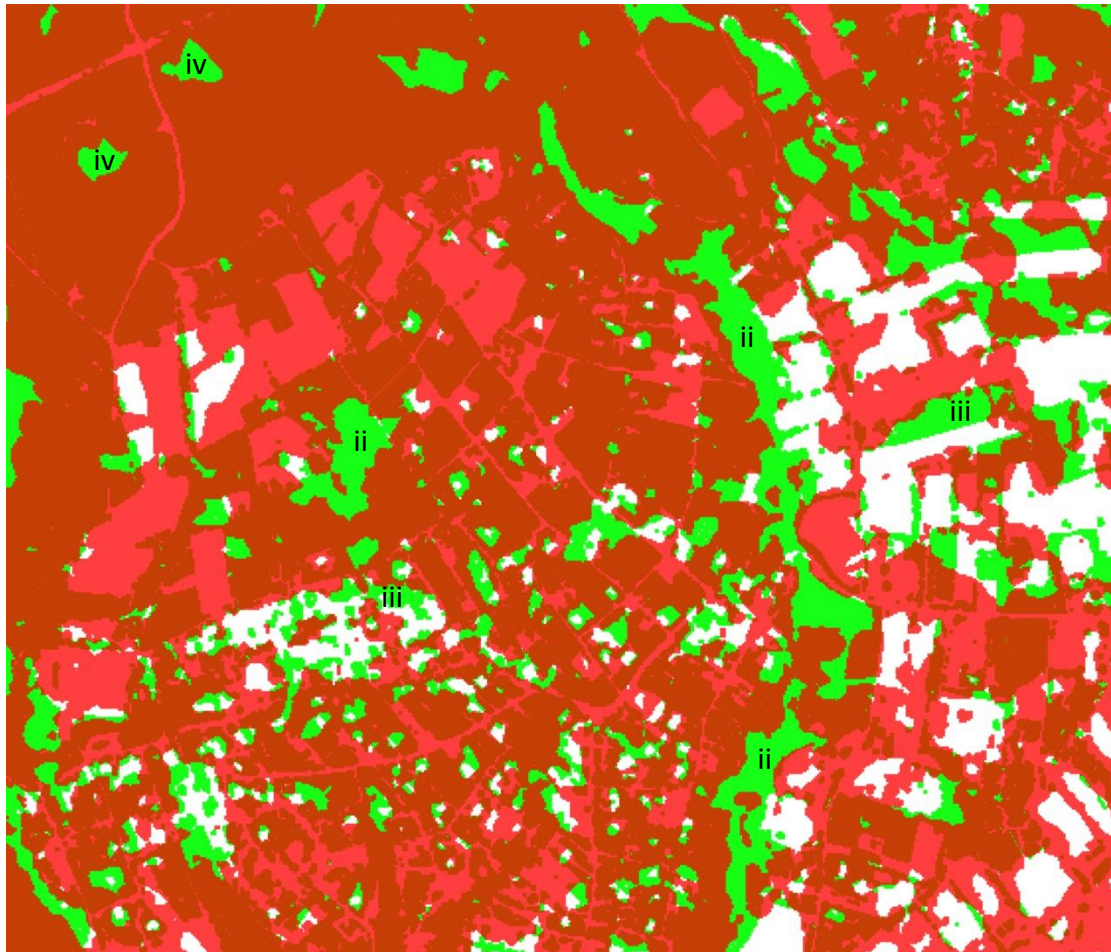
Στην ουσία η μέθοδος της στοχευμένης ομαδοποίησης εκφυλίζεται σε μέθοδο κατωφλίωσης ενώνοντας ανά δύο τις κατηγορίες. Επειδή το άνω σφάλμα είναι αμελητέο και τόσο το κάτω σφάλμα όσο και το έδαφος είναι κατηγορίες που θέλουμε να απαλείψουμε, επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο της κατωφλίωσης ως επιλογή ομαδοποίησης.

Εναλλακτικά, και με παρεμφερή αποτελέσματα, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο της στοχευμένης ομαδοποίησης ως μέθοδο ομαδοποίησης, ενώνοντας σε μία όσες κατηγορίες δεν αναφέρονται σε κτίσματα.

Σημείο κατωφλίωσης του NDVI επιλέγουμε το ασφαλές μέγεθος 0.1.

Τέλος η εφαρμογή του μορφολογικού φίλτρου θα γίνει στην σύνθεση των δύο παραπάνω κριτηρίων.

Οπτικά η σύνθεση των δύο πρώτων κριτηρίων, της διαφοράς υψομέτρου και του δείκτη NDVI, δίνει το αποτέλεσμα που απεικονίζεται στην Εικόνα 84.



Εικόνα 84 - Σύνθεση κριτηρίων υψομετρικής διαφοράς (ΔZ) και NDVI

Στην παραπάνω εικόνα τα στοιχεία που απαλείφθηκαν λόγω μη ικανοποιητικής υψομετρικής διαφοράς παρουσιάζονται με κόκκινο χρώμα ενώ η βλάστηση με πράσινο.

Ενώ, λοιπόν, η ανίχνευση των κτισμάτων ήταν πολύ γενική με την εφαρμογή κάθε κριτηρίου ξεχωριστά, με την σύνθεσή τους αρχίζει να αποκτά νόημα, καθώς:

η υψομετρική διαφορά

- i. επιτρέπει την κυρίως ανίχνευση κτισμάτων,

ενώ η εφαρμογή του NDVI

- ii. αφαιρεί τα σημεία με εμφάνιση δάσους
- iii. ξεχωρίζει τα κτίσματα που μεταξύ τους έχουν κήπους ή δέντρα
- iv. περιορίζει την αβεβαιότητα του προηγούμενου κριτηρίου

Μέρος της περιοχής σφάλματος από το πρώτο (1^ο) κριτήριο χαρακτηρίζεται βλάστηση στο δεύτερο (2^ο). Είναι σημαντικό να προσθέσουμε ότι η παραγωγή

DSM είναι επισφαλής στα σημεία επαναλαμβανόμενης υφής. Το στοιχείο, όμως, που είναι υπεύθυνο για την αστοχία του πρώτου (1^{ου}) κριτηρίου είναι υπεύθυνο για την εφαρμογή του δεύτερου (2^{ου}).

Οι περιπτώσεις παρουσιάζονται στην Εικόνα 84.

5.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ

Η οπτική απεικόνιση του αποτελέσματος της σύνθεσης της εικόνας, δίνει την εντύπωση ότι εντοπίζεται το μεγαλύτερο μέρος των κτισμάτων που υπάρχουν στην εικόνα.

Το οπτικό, όμως, κριτήριο δεν αρκεί σε μία επιστημονική διερεύνηση. Δίνει σημαντικά αποτελέσματα και πληροφορίες που χρησιμεύουν στην διεξαγωγή συμπερασμάτων, τα οποία λαμβάνονται υπόψη στις παρακάτω διαδικασίες. Μοιραία, το αποτέλεσμα θα πρέπει να συγκριθεί με την πραγματικότητα. Η σύγκριση μπορεί να είναι:

- i. είτε σε επίπεδο εικονοστοιχείων
- ii. είτε σε επίπεδο αντικειμένων

Προκειμένου να γίνει η σύγκριση θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα μοντέλο της πραγματικότητας με το οποίο θα συγκριθεί το αποτέλεσμα της εφαρμογής μας.

5.6.1 Δημιουργία Εικόνας Αναφοράς

Δεδομένου ότι έχουμε την ορθοφωτογραφία της περιοχής μελέτης η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη παρούσα εφαρμογή, θεωρείται αναγκαίο η δια χειρός αναγνώριση και επισήμανση των κτισμάτων της περιοχής μελέτης.

Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόζεται ως εξής:

1. Εισάγεται η ορθοφωτογραφία στο AutoCAD και γεωαναφέρεται
2. Ψηφιοποιούνται τα κτίσματα που αναγνωρίζονται κατά την φωτοερμηνευτική διαδικασία
3. Εξάγεται ένα κανονικοποιημένο (raster) αρχείο σύγκρισης

Το αρχείο αυτό περιέχει τα κτίσματα που αναμένεται να εντοπισθούν με την προτεινόμενη αυτόματη διαδικασία και θα χρησιμοποιηθεί ως μάσκα σύγκρισης.



Εικόνα 85 - Μάσκα σύγκρισης (κτίσματα περιοχής μελέτης)

Στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία της εικόνας αναφοράς έχει ένα βαθμό ανασφάλειας του αποτελέσματος της, καθώς η ορθότητά της εξαρτάται από:

- i. την προσοχή και την εκπαίδευση του χρήστη στην ψηφιοποίηση
- ii. την ικανότητα του χρήστη στην μονοεικονική φωτοερμηνεία
- iii. την ποιότητα και την ανάλυση της ορθοφωτογραφίας
- iv. την ακρίβεια δημιουργίας της ορθοφωτογραφίας

Επειδή η ανάλυση και ο τρόπος εμφάνισης της ψηφιακής εικόνας στο περιβάλλον του AutoCAD δεν είναι ο ενδεδειγμένος για μία τέτοια διαδικασία, χρησιμοποιήθηκε για βοήθεια η αντιπαράθεση εικόνων της περιοχής μελέτης από το Google Earth, οι οποίες είναι έγχρωμες, γεγονός που διευκολύνει την διαδικασία φωτοερμηνείας.

Βέλτιστα αποτελέσματα θα είχαν προκύψει αν η εξαγωγή των κτισμάτων γινόταν μέσω διαδικασίας στερεοαπόδοσης, λόγω της στερεοσκοπικής παρατήρησης που οδηγεί σε καλύτερο εντοπισμό και οριζοντιογραφική απόδοση των κτισμάτων.

Παρόλα αυτά δεν χρησιμοποιήθηκε η στερεοαπόδοση, καθώς:

- i. Χρειάζεται εξειδικευμένο εξοπλισμό
- ii. Το σύστημα LPS του Εργαστηρίου δεν την υποστηρίζει (προσωρινά)
- iii. Απαιτεί μεγάλο χρόνο εργασίας
- iv. Το αποτέλεσμα είναι καλύτερο, όμως δεν δικαιολογεί τον κόπο και το κόστος

5.6.2 Σύγκριση σε Επίπεδο Εικονοστοιχείου

Η εικόνα αναφοράς, στην ιδεατή περίπτωση, θα πρέπει να είναι ίδια με το αποτέλεσμα της σύνθεσης των κριτηρίων.

Η εφαρμογή μίας ρουτίνας με την χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος του Matlab μπορεί να υπολογίζει τις τέσσερις (4) δυνατές περιπτώσεις:

1. Το εικονοστοιχείο (pixel) να αντιστοιχεί στην πραγματικότητα σε κτίσμα και να έχει εντοπιστεί ως κτίσμα (ΣΩΣΤΟ)
2. Το εικονοστοιχείο (pixel) να αντιστοιχεί στην πραγματικότητα σε κτίσμα και να **μην** έχει εντοπιστεί ως κτίσμα (ΛΑΘΟΣ)
3. Το εικονοστοιχείο (pixel) να **μην** αντιστοιχεί στην πραγματικότητα σε κτίσμα και να έχει εντοπιστεί ως κτίσμα (ΛΑΘΟΣ)
4. Το εικονοστοιχείο (pixel) να **μην** αντιστοιχεί στην πραγματικότητα σε κτίσμα και να **μην** έχει εντοπιστεί ως κτίσμα (ΣΩΣΤΟ)

Από τις παραπάνω περιπτώσεις μας ενδιαφέρουν κυρίως η πρώτη (1^η) που αντιστοιχεί στην σωστή λειτουργία της εφαρμογής μας, και οι δύο (2) λανθασμένες (η 2^η και η 3^η περίπτωση) που αντιστοιχούν στο σφάλμα.

Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας μας επιτρέπει εκτός από τα αποτελέσματα των βασικών ρυθμίσεων, να διεξάγουμε την ρουτίνα και σε αποτελέσματα διαφορετικών ρυθμίσεων.

Επομένως, αρχικώς έγινε ο έλεγχος των αποτελεσμάτων στην περίπτωση που χρησιμοποιούσαμε το πρώτο (1^ο) κριτήριο μόνο, αυτό της υψομετρικής διαφοράς, με δυνατότητα μεταβολής του υψομέτρου κατωφλίωσης.

Πίνακας 39 - Διακύμανση Ποσοστών Επιτυχίας κατά την αλλαγή υψομέτρου βάσης

Κριτήριο 1 (ΔΖ)	Περίπτωση 1	Περίπτωση 2	Περίπτωση 3	Περίπτωση 4	Σ/(Σ+Λ)
2 m	87.95%	12.05%	38.08%	61.92%	16.34%
3 m	78.68%	21.32%	20.29%	79.71%	23.59%
4 m	69.24%	30.76%	11.46%	88.54%	29.86%
5 m	59.45%	40.55%	7.25%	92.75%	32.41%
6 m	49.97%	50.03%	4.71%	95.29%	32.40%
7 m	41.41%	58.59%	3.04%	96.96%	30.66%

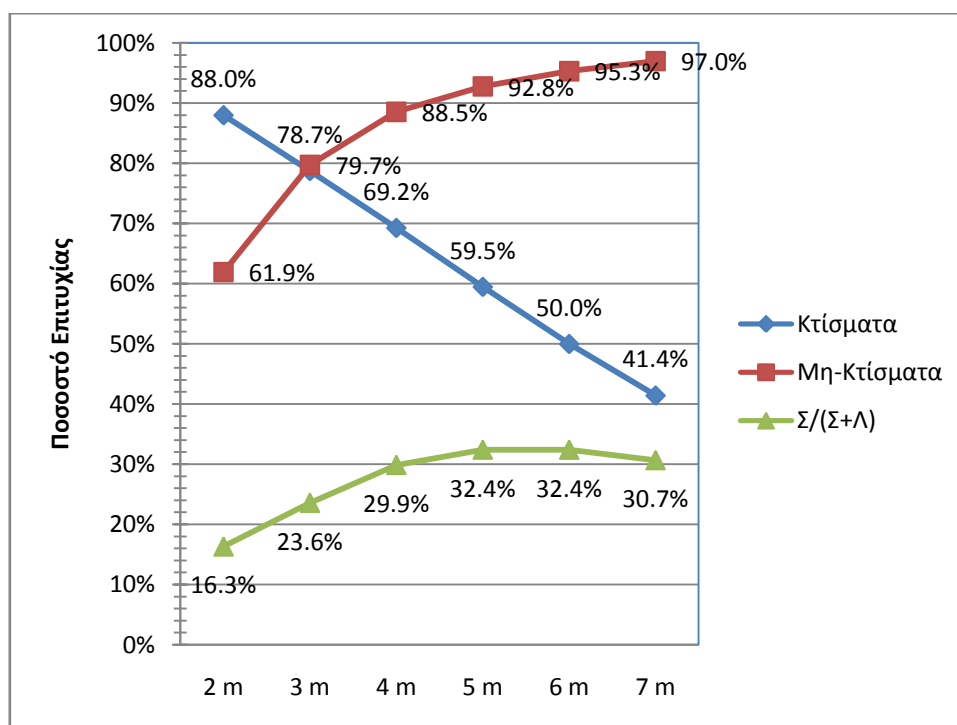
Από τον παραπάνω πίνακα είναι εύκολο να συμπεράνουμε ότι όσο πιο αυστηρό είναι το κριτήριο για την κατωφλίωση της διαφοράς υψομέτρων, τόσο πιο μικρό είναι και το ποσοστό των κτισμάτων που εντοπίζονται. Γεγονός που συμπεράναμε και από τον οπτικό έλεγχο. Ταυτόχρονα όμως όσο πιο χαλαρό είναι αυτό το κριτήριο τόσο περισσότερες περιοχές που δεν είναι κτίσματα αναγνωρίζονται, λανθασμένα, ως κτίσματα.

Απαιτείται, λοιπόν, μία χρυσή τομή των δύο (2) ποσοστών. Το σημείο τομής που επιλέγουμε θα πρέπει να διατηρεί την δυνατότητα να εντοπίζει το μεγαλύτερο ποσοστό από τα κτίσματα (ποσοστά 70-80% θεωρούνται αποδεκτά) αλλά ταυτόχρονα να έχει όσο το δυνατόν λιγότερους λανθασμένους εντοπισμούς.

Για τον παραπάνω λόγο δημιουργήθηκε ένα στατιστικό μέγεθος, το $\Sigma/(\Sigma+\Lambda)$. Όπως είναι εύκολα αντιληπτό από τις τέσσερις (4) περιπτώσεις, οι τρεις (3) αφορούν τα κτίσματα και από αυτές η μία (1) είναι σωστή και οι άλλες δύο (2) λανθασμένες. Αυτό το στατιστικό μέγεθος εκφράζει την αρμονία των αποτελεσμάτων, καθώς μεγαλώνει όσο οι σωστές εντοπίσεις γίνονται περισσότερες από τις λανθασμένες.

Για την καλύτερη αντίληψη των παραπάνω σχεδιάστηκε γράφημα που απεικονίζει τα ποσοστά σωστού εντοπισμού ανά κατηγορία. Με κυανό απεικονίζονται τα κτίσματα και κόκκινο τα μη κτίσματα.

Γράφημα 1- Διακύμανση ποσοστού επιτυχίας σε σχέση με το υψόμετρο κατωφλίωσης



Από το παραπάνω γράφημα παρατηρούμε ότι:

1. η πτώση του ποσοστού σωστού εντοπισμού των κτισμάτων είναι σταθερή με την αύξηση του κατωφλίου του κριτηρίου της υψομετρικής διαφοράς

2. αντίθετα ο ρυθμός αύξησης του ποσοστού σωστού εντοπισμού μη-κτισμάτων μειώνεται συνεχώς
3. όταν θέτουμε ως κατώφλι τα 3 m υπάρχει μία ισορροπία (τομή) στα ποσοστά σωστού εντοπισμού
4. μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης έχουμε από τα 2 στα 3 m και δεύτερο μεγαλύτερο από τα 3 στα 4 m
5. από τα 4 m και πάνω το ποσοστό σωστού εντοπισμού κτισμάτων είναι μικρότερο από το αποδεκτό 70%
6. ο δείκτης $\Sigma/(\Sigma+\Lambda)$ έχει καλύτερες τιμές στα 5 και 6 m

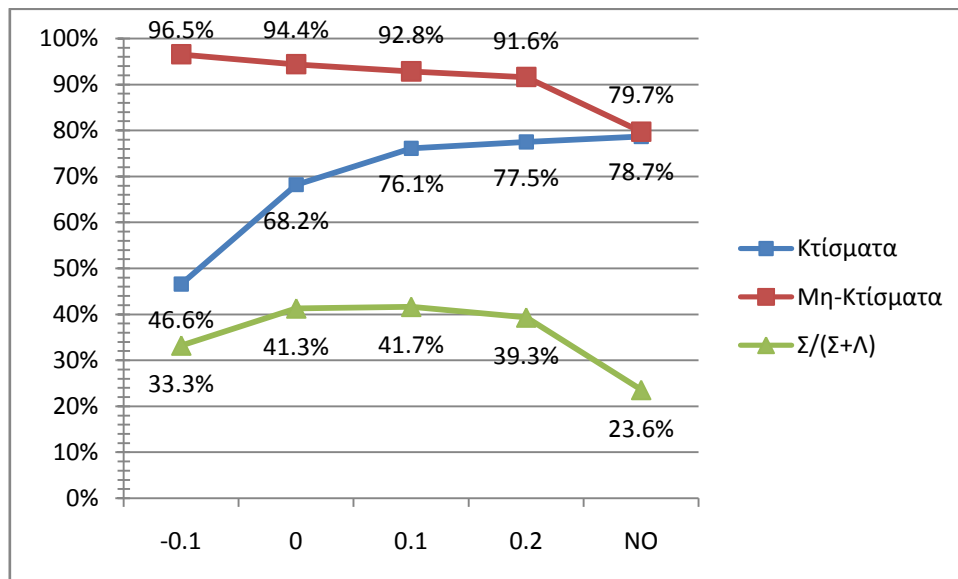
Από τα παραπάνω βγάζουμε ως αρχικό συμπέρασμα ότι το κατάλληλο σημείο κατωφλίωσης των υψομετρικών διαφορών είναι ανάμεσα στις τιμές 3 και 4 m. Οι τιμές 5 και 6 m αποκλείονται γιατί έχουν πολύ μικρό ποσοστό εντοπισμού κτισμάτων.

Ακολούθως θα χρησιμοποιηθεί και το δεύτερο κριτήριο (NDVI) για τον υπολογισμό του ποσοστού επιτυχίας της μεθόδου. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για διάφορες τιμές του NDVI, καθώς και αυτά χωρίς την χρήση του NDVI ώστε να γίνεται η σύγκριση.

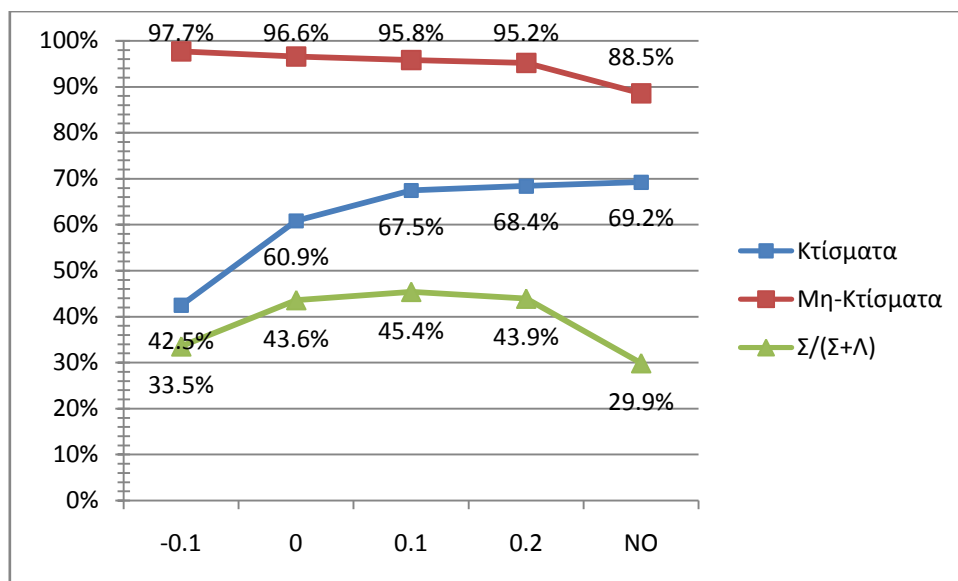
Πίνακας 40 - Διαφοροποίηση Ποσοστών Εντοπισμού σε σχέση με τις τιμές του NDVI

Κριτήριο 1 (ΔΖ)	Κριτήριο 2 (NDVI)	Περίπτωση 1	Περίπτωση 2	Περίπτωση 3	Περίπτωση 4	$\Sigma/(\Sigma+\Lambda)$
3 m	NO	78.68%	21.32%	20.29%	79.71%	23.59%
	-0.1	46.59%	53.41%	3.49%	96.51%	33.25%
	0	68.19%	31.81%	5.65%	94.35%	41.31%
	0.1	76.11%	23.89%	7.19%	92.81%	41.66%
	0.2	77.47%	22.53%	8.43%	91.57%	39.34%
4 m	NO	69.24%	30.76%	11.46%	88.54%	29.86%
	-0.1	42.49%	57.51%	2.33%	97.67%	33.52%
	0	60.85%	39.15%	3.44%	96.56%	43.60%
	0.1	67.46%	32.54%	4.22%	95.78%	45.40%
	0.2	68.41%	31.59%	4.85%	95.15%	43.92%
5 m	NO	59.45%	40.55%	7.25%	92.75%	32.41%
	-0.1	37.73%	62.27%	1.70%	98.30%	31.55%
	0	52.84%	47.16%	2.40%	97.60%	41.43%
	0.1	58.26%	41.74%	2.84%	97.16%	43.90%
	0.2	58.91%	41.09%	3.21%	96.79%	43.03%

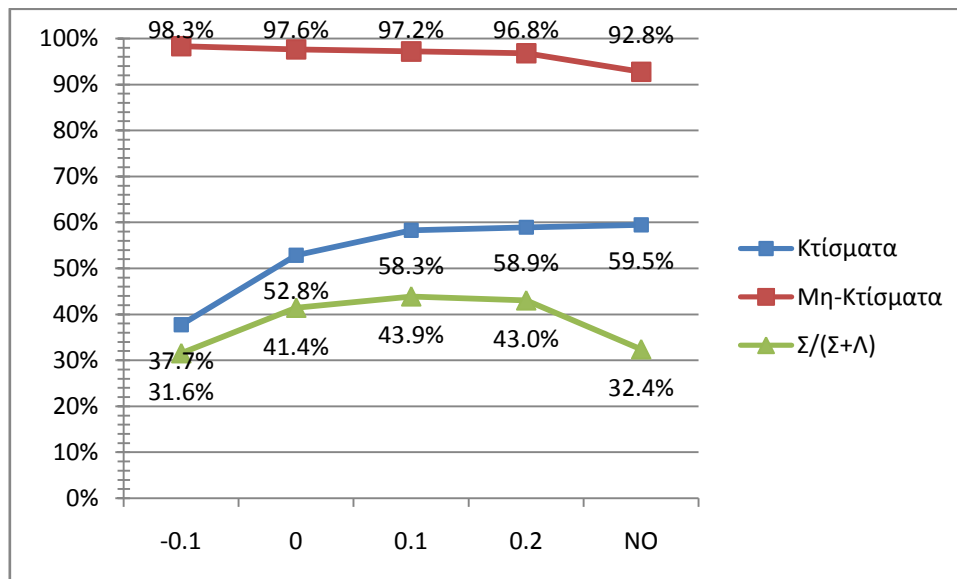
Γράφημα 2 - Διαφοροποίηση Ποσοτών Εντοπισμού σε σχέση με τις τιμές του NDVI (3 m)



Γράφημα 3 - Διαφοροποίηση Ποσοτών Εντοπισμού σε σχέση με τις τιμές του NDVI (4 m)



Γράφημα 4 - Διαφοροποίηση Ποσοτών Εντοπισμού σε σχέση με τις τιμές του NDVI (5 m)



Από τα παραπάνω γραφήματα γίνεται αντιληπτό ότι καλύτερα αποτελέσματα, ασχέτως του σημείου κατωφλίωσης των υψομετρικών διαφορών έχουμε όταν ο δείκτης NDVI τίθεται στο όριο 0.1.

Συνδυαστικά με το σημείο κατωφλίωσης των υψομετρικών διαφορών έχουμε πολύ καλύτερα αποτελέσματα δίνοντας τιμές 3 m ή 4 m για το πρώτο (1^ο) κριτήριο και 0.1 για το δεύτερο (2^ο).

Το γεγονός ότι στον πίνακα με ΔZ 5 m δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή στον εντοπισμό της κατηγορίας μη-κτισμάτων αποδεικνύει ότι το κατώφλι είναι ιδιαίτερα αυστηρό και κτίσματα που δεν θα έπρεπε να απαλειφθούν.

Σε αυτά τα αποτελέσματα θα γίνει και η χρήση του μορφολογικού κριτηρίου.

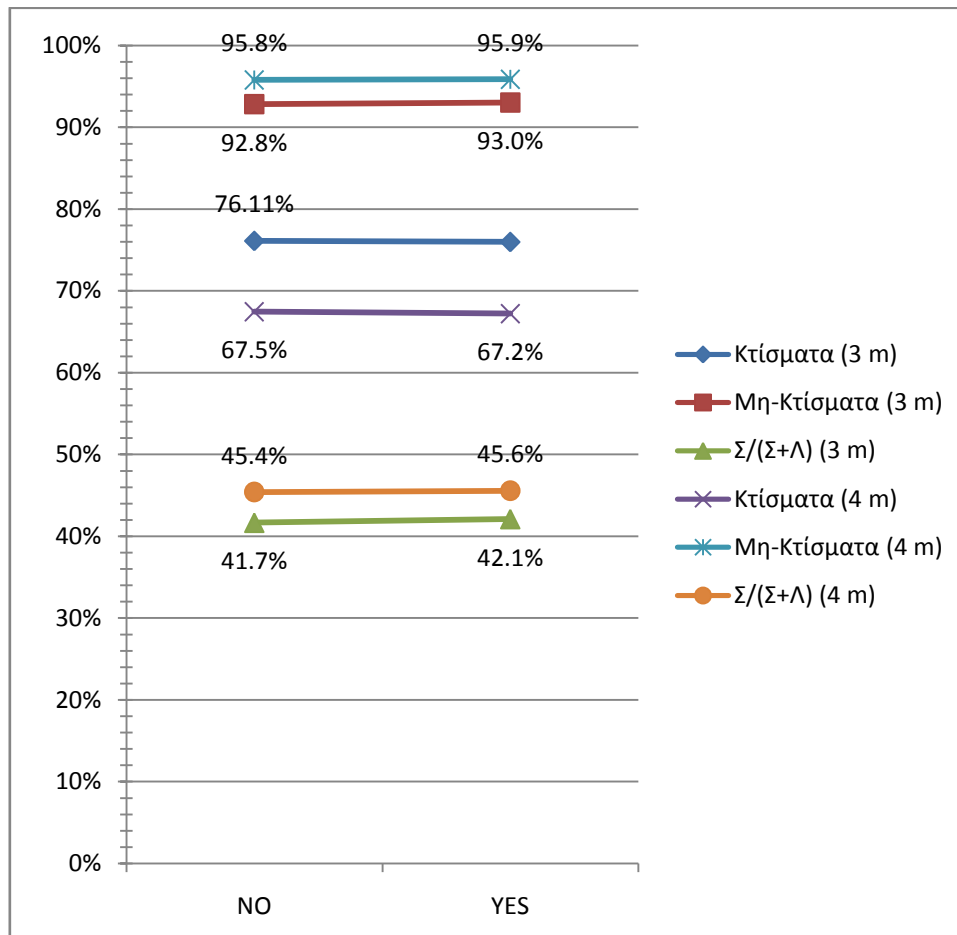
Πίνακας 41 - Στατιστικά Επιτυχίας με την χρήση ή όχι Μορφολογικού Φίλτρου (3 m)

Κριτήριο 1 (ΔZ)	Κριτήριο 2 (NDVI)	Κριτήριο 3 (Morf)	Περίπτωση 1	Περίπτωση 2	Περίπτωση 3	Περίπτωση 4	Σ/(Σ+Λ)
3 m	0.1	NO	76.11%	23.89%	7.19%	92.81%	41.66%
		YES	75.98%	24.02%	6.99%	93.01%	42.11%

Πίνακας 42 - Στατιστικά Επιτυχίας με την χρήση ή όχι Μορφολογικού Φίλτρου (4 m)

Κριτήριο 1 (ΔZ)	Κριτήριο 2 (NDVI)	Κριτήριο 3 (Morf)	Περίπτωση 1	Περίπτωση 2	Περίπτωση 3	Περίπτωση 4	Σ/(Σ+Λ)
4 m	0.1	NO	67.46%	32.54%	4.22%	95.78%	45.40%
		YES	67.21%	32.79%	4.13%	95.87%	45.57%

Γράφημα 5 - Διακύμανση Ποσοστού Επιτυχίας σε σχέση με το μορφολογικό κριτήριο



Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται τα στατιστικά μεγέθη με (YES) ή χωρίς (NO) την χρήση του μορφολογικού κριτηρίου. Συμπεράνουμε ότι η χρήση του μορφολογικού κριτηρίου διατηρεί σταθερή την ακρίβεια εντοπισμού κτισμάτων, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει ελαφρώς τα λοιπά στατιστικά.

Ο τρόπος λειτουργίας του κριτηρίου εξαφανίζει τα εικονοστοιχεία που έχουν την μορφή θορύβου (salt and pepper), δηλαδή τις πολύ μικρές κηλίδες εντοπισμού και τα αντικείμενα που δεν εκπληρώνουν τις προϋποθέσεις που έχουμε θέσει ώστε ένα εντοπισμένο αντικείμενο να είναι κτίσμα (βλ. σελίδα 94), και με αυτό τον τρόπο μειώνει το ποσοστό «εδάφους» που έχει χαρακτηριστεί λανθασμένα «κτίσμα». Επιπροσθέτως, αφαιρεί εικονοστοιχεία από τις κηλίδες που εντοπίζουν κτίσματα, αλλά με κηλίδα εντοπισμού μεγαλύτερη από την επιφάνεια του κτίσματος (ο αλγόριθμος έχει την τάση να ανιχνεύει κτίσματα με μεγαλύτερη κηλίδα εντοπισμού). Παράλληλα όμως, αφαιρεί εικονοστοιχεία από τα όρια των κηλίδων εντοπισμού, που σε αυτή την περίπτωση εντοπίζουν κτίσματα με επιφάνεια κηλίδας μικρότερη από το κτίσμα, γεγονός που χειροτερεύει την ακρίβεια της μεθόδου.

Επειδή ο αλγόριθμος έχει την τάση να εντοπίζει κτίσματα με κηλίδα εντοπισμού μεγαλύτερη από το μέγεθος του κτίσματος, το αποτέλεσμα της εφαρμογής του μορφολογικού φίλτρου είναι θετικό.

Στο παράρτημα Β επισυνάπτονται οι πίνακες μεγέθους των κηλίδων εντοπισμού πριν και μετά την εφαρμογή του μορφολογικού φίλτρου. Με την εφαρμογή του φίλτρου 161 κηλίδες εντοπισμού μεγέθους ενός και δύο εικονοστοιχείων απαλείφονται (111 κηλίδες ενός και 50 κηλίδες δύο εικονοστοιχείων).

Συμπερασματικά το μορφολογικό κριτήριο διορθώνει μεγαλύτερο σφάλμα από αυτό που δημιουργεί και επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί στην εφαρμογή μας.

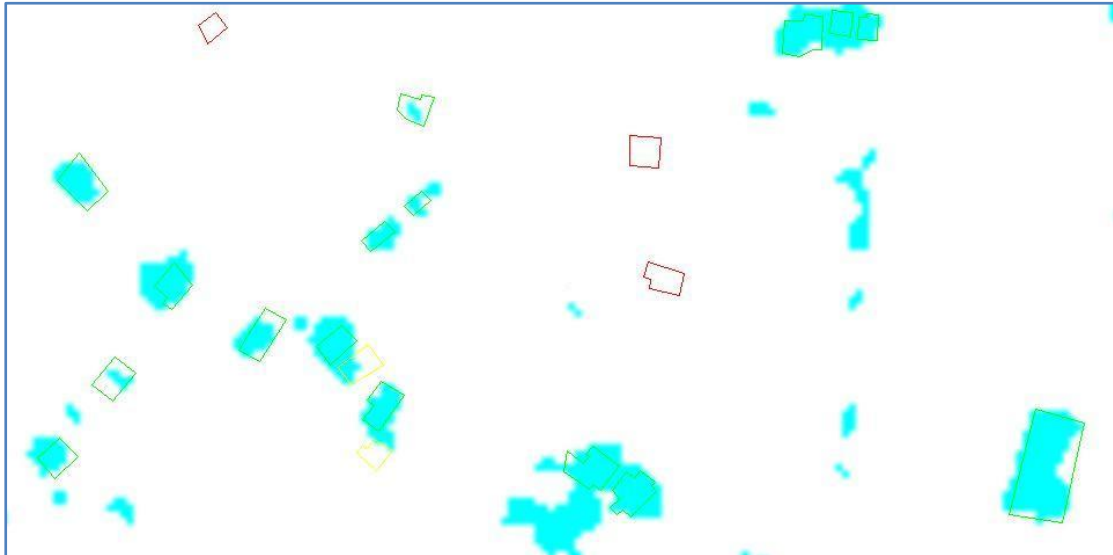
Ακόμη μπορούμε να δούμε ότι ενώ συνολικά κρίνεται καλύτερο να χρησιμοποιηθεί κατώφλι 4 m στο κριτήριο της υψομετρικής διαφοράς, επιλέγουμε ως κατώφλι τα 3 m καθώς διατηρεί τον εντοπισμό κτισμάτων (Περίπτωση 1) υψηλά, σε σχέση με την μικρή μείωση στα υπόλοιπα στατιστικά.

5.6.3 Σύγκριση σε Επίπεδο Αντικειμένου (Κτίσματος)

Τα στατιστικά μεγέθη σε επίπεδο εικονοστοιχείου, μπορούν να μας δώσουν ένα χρήσιμο αποτέλεσμα και πολύ καλή πληροφορία για τις ρυθμίσεις των κριτηρίων που χρησιμοποιούμε, αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να αποτυπώσουν την πραγματικότητα.

Ένα κτίσμα εντοπίζεται:

- i. αν εντοπιστούν σημεία του - μέρος των εικονοστοιχείων του
- ii. αν εντοπιστούν και σημεία του περιγράμματος του που δεν ανήκουν στο κτίσμα



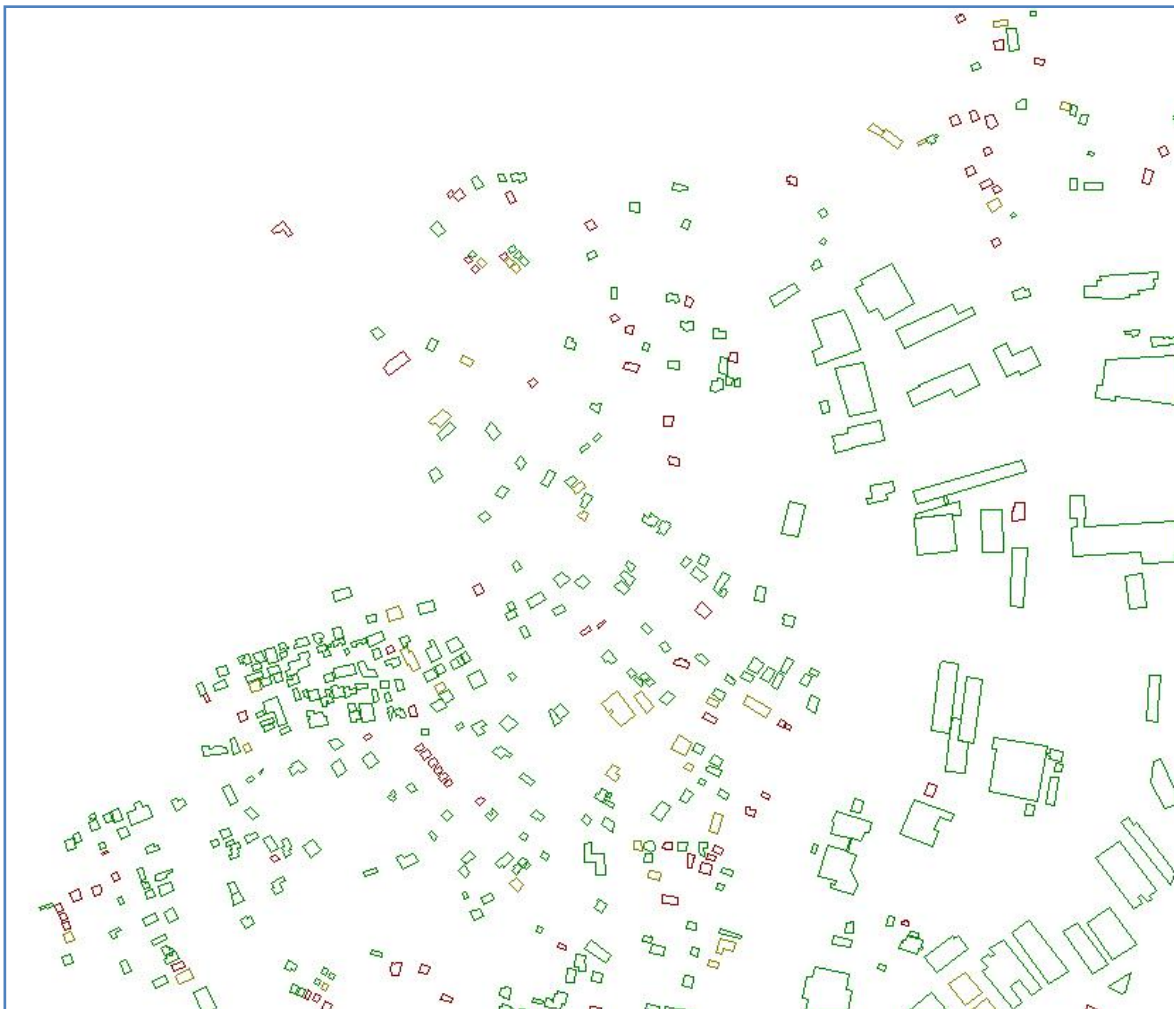
Εικόνα 86 - Επίθεση κτισμάτων - Αποτελέσματος διαδικασίας

Στην περίπτωση, λοιπόν, που ο εντοπισμός πρέπει να γίνει σε επίπεδο αντικειμένου θα πρέπει να ελέγχουμε και την ακρίβεια της μεθόδου. Η διαδικασία υπολογισμού της ακρίβειας της μεθόδου είχε ως εξής:

1. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας (αρχείο raster) εισήχθηκε στο AutoCAD
2. Το αρχείο AutoCAD περιείχε τα ψηφιοποιημένα κτίσματα (εικόνα αναφοράς από την προηγούμενη σύγκριση)

3. Δημιουργήθηκαν 3 επίπεδα (layer) διαφορετικής ποιότητας εντοπισμού
 - i. **Κακώς** (κόκκινο), στο οποίο ανήκουν τα κτίσματα που δεν εντοπίστηκαν
 - ii. **Μετρίως** (κίτρινο), στο οποίο ανήκουν τα κτίσματα που εντοπίστηκαν με κηλίδα μικρότερη του 50% το μεγέθους τους
 - iii. **Καλώς** (πράσινο), στο οποίο ανήκουν τα κτίσματα που εντοπίστηκαν ή ανήκουν σε κηλίδα εντοπισμού ομάδας κτισμάτων ή η κηλίδα καλύπτει μεγαλύτερο από το 50% του εμβαδού τους
4. Τα αντικείμενα (κτίσματα) κατηγοριοποιήθηκαν ένα-ένα στα νέα layer
5. Με τη βοήθεια εργαλείων του προγράμματος υπολογίστηκε το πλήθος των κτισμάτων και το εμβαδόν κάθε κτίσματος, καθώς και το επίπεδο (layer) στο οποίο κατηγοριοποιήθηκε
6. Υπολογίστηκαν στο Matlab τα επιθυμητά στατιστικά μεγέθη

Στην Εικόνα 87 εντοπίστηκαν συνολικά 450 κτίσματα με την μέθοδο της φωτοερμηνείας.



Εικόνα 87 - Εντοπισμός Κτισμάτων

Από την εφαρμογή της διαδικασίας εντοπίστηκαν, κατηγοριοποιήθηκαν και υπολογίστηκε η επιφάνεια τους.

Μέρος του πίνακα παρουσιάζεται παρακάτω και ολόκληρος επισυνάπτεται στο Παράρτημα Β.

Πίνακας 43 - Κατηγοριοποίηση και εμβαδά κτισμάτων περιοχής μελέτης

ID	LAYER	AREA
1	ΚΑΚΩΣ	335.01
2	ΚΑΚΩΣ	158.19
3	ΚΑΚΩΣ	75.06
4	ΚΑΚΩΣ	65.65
⋮	⋮	⋮
108	ΜΕΤΡΙΩΣ	100.59
109	ΜΕΤΡΙΩΣ	325.04
⋮	⋮	⋮
449	ΚΑΛΩΣ	169.05
450	ΚΑΛΩΣ	252.81

Από τα αποτελέσματα και την κατηγοριοποίηση προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 44 - Στατιστικά Αποτελεσμάτων ανά Κτίσμα

	ΚΑΚΩΣ	ΜΕΤΡΙΩΣ	ΚΑΛΩΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΑ
ΠΛΗΘΟΣ ΚΤΙΣΜΑΤΩΝ	80 (17.78%)	36 (8.00%)	334 (74.22%)	450
ΜΙΚΡΑ ΚΤΙΣΜΑΤΑ ¹	28 (29.17%)	3 (3.13%)	65 (67.71%)	96 (21.33%)
ΜΕΣΑΙΑ ΚΤΙΣΜΑΤΑ ²	51 (16.72%)	29 (9.51%)	225 (73.77%)	305 (67.78%)
ΜΕΓΑΛΑ ΚΤΙΣΜΑΤΑ ³	1 (2.04%)	4 (8.16%)	44 (89.80%)	49 (10.89%)
ΜΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	138.37	287.25	454.24	384.73
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	21.46	50.03	18.19	18.19
ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	570.87	1210.09	7872.05	7872.05

Τα συμπεράσματα από τον παραπάνω πίνακα μπορούν να συνοψισθούν στα εξής:

1. Τα 334 από τα 450 κτίσματα (ποσοστό περίπου 75%) εντοπίζονται στα επιθυμητά όρια
2. Ποσοστό περίπου 83% των κτισμάτων εντοπίζονται (καλώς ή μετρίως)
3. Μόνο 1 από τα μεγάλα κτίσματα **δεν** εντοπίστηκε
4. Η μέθοδος δίνει ποσοστά εντοπισμού μεγαλύτερα του 83% και 98% στα μεσαία και μεγάλα κτίσματα αντίστοιχα
5. Το μικρότερο σε εμβαδό κτίσμα που εντοπίστηκε είναι μικρότερο των 20 m² (εντοπίστηκε σε ομάδα κτισμάτων)

¹ Μικρό κτίσμα: εμβαδού μικρότερου των 100 m²

² Μεσαίο κτίσμα: εμβαδού μεταξύ 100 m² και 500 m²

³ Μεγάλο κτίσμα: εμβαδού μεγαλύτερου των 500 m²

6. Τα περισσότερα κτίσματα τόσο μικρού εμβαδού δεν εντοπίστηκαν
7. Η μέση επιφάνεια των κτισμάτων που **δεν** εντοπίστηκαν είναι 138 m^2
Το μέγεθος αυτό είναι τόσο μεγάλο, κυρίως λόγω του μη εντοπισμού ενός κτίσματος 570 m^2
8. Περίπου το $1/3$ των μικρών κτισμάτων (29%) **δεν** εντοπίστηκε

5.6.4 Κηλίδες Εντοπισμού

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής είναι ένα σύνολο, από κηλίδες οι οποίες αποτελούν πιθανές θέσεις κτισμάτων.

Η μορφή και το μέγεθός τους καθορίζεται από τον τρόπο λειτουργίας της προτεινόμενης διαδικασίας. Στην προηγούμενη ενότητα, υπολογίστηκε και τεκμηριώθηκε, η ακρίβεια εντοπισμού της μεθόδου, αλλά παραλήφθηκε να συσχετιστεί με την μορφή και το μέγεθος των κηλίδων.

Αναλύοντας τη σχέση ανάμεσα στις κηλίδες εντοπισμού και των κτισμάτων προκύπτουν οι εξής περιπτώσεις:

1. Μία κηλίδα εντοπισμού εντοπίζει ένα κτίσμα
2. Μία κηλίδα εντοπισμού εντοπίζει 2 ή περισσότερα κτίσματα
3. Ένα κτίσμα εντοπίζεται από 2 ή περισσότερες κηλίδες εντοπισμού
4. Μία κηλίδα εντοπισμού δεν περιλαμβάνει κανένα κτίσμα

Από το αποτέλεσμα της εφαρμογής μας προκύπτει ο Πίνακας 45.

Πίνακας 45 - Πλήθος κηλίδων εντοπισμού ανά περίπτωση

	Πλήθος Κηλίδων	Ποσοστό επί του συνόλου
Περίπτωση 1	173	42%
Περίπτωση 2	52	13%
Περίπτωση 3	8	2%
Περίπτωση 4	185	44%

Συμπερασματικά και σε σχέση με τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 5.6.3 καταλήγουμε ότι η μέθοδος:

- i. Τα 173 από τα 370 (47%) κτίσματα εντοπίστηκαν από μία κηλίδα εντοπισμού.

Τα κτίσματα αυτά είναι κατά κύριο λόγο μεμονωμένα από τα υπόλοιπα ή μεγάλα σε μέγεθος.

- ii. Τα υπόλοιπα κτίσματα (193) εντοπίζονται σε 52 κηλίδες που περιέχουν η κάθε μία 2 ή περισσότερα κτίσματα.

Σημαντικό είναι να επισημάνουμε ότι στην περιοχή μελέτης υπάρχει οικισμός, ο οποίος σχεδόν στο σύνολό του ανιχνεύεται με μία κηλίδα εντοπισμού. Η κηλίδα αυτή περιγράφει τα εξωτερικά του όρια. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μικρή απόσταση μεταξύ των κτισμάτων του οικισμού (σε πολλές περιπτώσεις η δόμηση είναι συνεχής).

- iii. Ελάχιστες (8) είναι οι περιπτώσεις που αντιστοιχούν 2 ή περισσότερες κηλίδες ανά κτίσμα

- iv. Μεγάλος είναι και ο αριθμός των κηλίδων που δεν εντοπίζουν κτίσματα και αποτελούν σφάλμα

Η έκτασή τους δεν είναι όμως αντίστοιχα μεγάλη, καθώς πολλές από αυτές είναι μικρού μεγέθους. Το πρόβλημα οφείλεται κυρίως στο ότι δεν χρησιμοποιήθηκε κριτήριο ελάχιστου μεγέθους κηλίδας, αλλά έγινε προσπάθεια να καλυφθεί αυτή η ανάγκη από το μορφολογικό φίλτρο.

Η μέθοδος τείνει να δημιουργεί μεγάλες κηλίδες εντοπισμού και να περιγράφει τα κτίσματα είτε κατά το μέγεθός τους είτε με κηλίδα μεγαλύτερη.

Αποτελεί επιλογή μας να έχουμε πολλές κηλίδες εντοπισμού με κίνδυνο, κάποιες από αυτές, να μην περιλαμβάνουν κτίσματα, παρά λιγότερες κηλίδες εντοπισμού αλλά λιγότερα, συνολικά, εντοπισμένα κτίσματα.

Συμπεράσματα

6.1 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η δόμηση τον περιαστικό χώρο της Αθήνα, αλλά και στον Ελλαδικό χώρο γενικότερα, παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία, που οφείλεται στην έλλειψη:

- i. Ενιαίας Νομοθεσίας
- ii. Κτηματολογίου, και
- iii. Σχεδιασμού

Το αποτέλεσμα με την πάροδο του χρόνου ήταν (α) ο **μη σαφής διαχωρισμός ανάμεσα στις ζώνες δόμησης** και (β) η **άναρχη δόμηση**.

Οι παραπάνω συνθήκες δυσκολεύουν το έργο του εντοπισμού κτισμάτων, καθώς δημιουργούν ένα ποικίλο και απαιτητικό περιβάλλον.

Η μέθοδος θα πρέπει να αντιμετωπίσει την ποικιλομορφία κτισμάτων σε συνδυασμό με το έντονο ανάγλυφο της χώρας μας.

6.2 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Με την ανάπτυξη της διαστημικής τεχνολογίας δεν υπάρχουν όρια και περιορισμοί στην τεχνολογία και στα εργαλεία εφαρμογής της, τόσο σε παγκόσμιο όσο και τοπικό επίπεδο. Ασφαλώς η παροχή δεδομένων και η ενημέρωση αυτών, δεν φτάνει το επίπεδο των Δυτικοευρωπαϊκών χωρών ή των Ηνωμένων Πολιτειών. Όμως τα παρεχόμενα δεδομένα είναι ικανά, σε πλήθος και ποιότητα, για την διεξαγωγή απλών και σύνθετων, δοκιμασμένων και καινοτόμων μεθόδων.

Η ορθολογιστική χρησιμοποίηση των δεδομένων θα μας δώσει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

Κατά την διαδικασία που ακολουθήθηκε επιλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν πλήθος δεδομένων, που περιγράφονται στα προηγούμενα κεφάλαια. Η επιλογή τους κρίνουν την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης μεθόδου.

Κρίσιμο σημείο για την έκβαση και την αποτελεσματικότητα της μεθόδου ήταν η επιλογή της εξαγωγής του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM) από χάρτες της ΓΥΣ. Η επιλογή αυτή προϋποθέτει ένα σύνολο διαδικασιών και μετατροπών προκειμένου να φτάσουμε από την αναλογική έντυπη και σε συντεταγμένες HATT μορφή των χαρτών, στον υψομετρικό κάρναβο (σε ΕΓΣΑ87) σημείων που επιθυμούμε. Όλες αυτές οι διαδικασίες εισάγουν σφάλματα, με την μορφή θορύβου στα παραγόμενα δεδομένα.

Η διαδικασία προϋποθέτει μεγάλη προσοχή και χρόνο από τον χρήστη, ενώ το αποτέλεσμα της, εμπεριέχει οριζοντιογραφικό κυρίως σφάλμα, το οποίο οφείλεται κατά κύριο λόγο στον αλγόριθμο μετατροπής από το ένα σύστημα συντεταγμένων στο άλλο. Η οριζοντιογραφική αυτή μετατόπιση μεταφράζεται σε υψομετρικό

σφάλμα, το οποίο επηρεάζει την ορθή χρήση των κριτηρίων επιλογής της θέσης των κτισμάτων.

Το μοντέλο επιφανείας (DSM) παράγεται με τις συνήθεις φωτογραμμετρικές διαδικασίες. Το μεγαλύτερο πρόβλημα εξαγωγής ενός αξιόπιστου DSM από μία δεικονική στερεοσκοπική δορυφορική λήψη, συναντάται στα σημεία όπου ο αλγόριθμος συνταύτισης ομόλογων σημείων αδυνατεί να δώσει ακριβές αποτέλεσμα, οπότε το παραγόμενο DSM αστοχεί στα συγκεκριμένα σημεία.

Τέτοια σημεία συνήθως συναντώνται:

- i. Σε περιοχές ομογενοποιημένης υφής (καλλιέργειες, λίμνες, δάση κοκ)
- ii. Στις σκιάσεις που δημιουργούν οι κατασκευές (οφείλεται επίσης και σε σκιάσεις από φυσικά χαρακτηριστικά, αλλά λόγω της μικρότερης κλίσης που δημιουργούν τα φυσικά χαρακτηριστικά – βουνά, δάση – τα φαινόμενα είναι λιγότερο έντονα και πιο σπάνια)

Ενώ, λοιπόν, στις περιοχές όπως τα δάση και τα νερά η αστοχία του μοντέλου μπορεί να καλυφθεί εύκολα από άλλες διαδικασίες, όπως ο εντοπισμός και απαλοιφή της βλάστησης, στα σημεία που η αστοχία βρίσκεται πολύ κοντά στο προς αναζήτηση αντικείμενο (σκιές κτισμάτων) το πρόβλημα είναι κρίσιμο για την διεξαγωγή σωστών συμπερασμάτων.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι μέρος της ακρίβειας της διαδικασίας οφείλεται στο κατά πόσο καλά προσανατολίζονται τα δύο μοντέλα υψομέτρων μεταξύ τους.

Είναι αξιοσημείωτο ότι το πλήθος των δεδομένων που ορίζουν τον κάρναβο των υψομετρικών σημείων είναι υπεύθυνο για την ποιότητα της απεικόνισης. Όσο πιο πυκνός είναι ο κάρναβος τόσο περισσότερη πληροφορία έχουμε για την περιοχή και τόσο πλησιέστερα είναι το μοντέλο στην πραγματικότητα.

6.3 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Προκειμένου τα δεδομένα να είναι σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς χρειάστηκε, σε μερικές περιπτώσεις, να γίνει ανασύσταση της υψομετρικής πληροφορίας, περισσότερο από μία φορά.

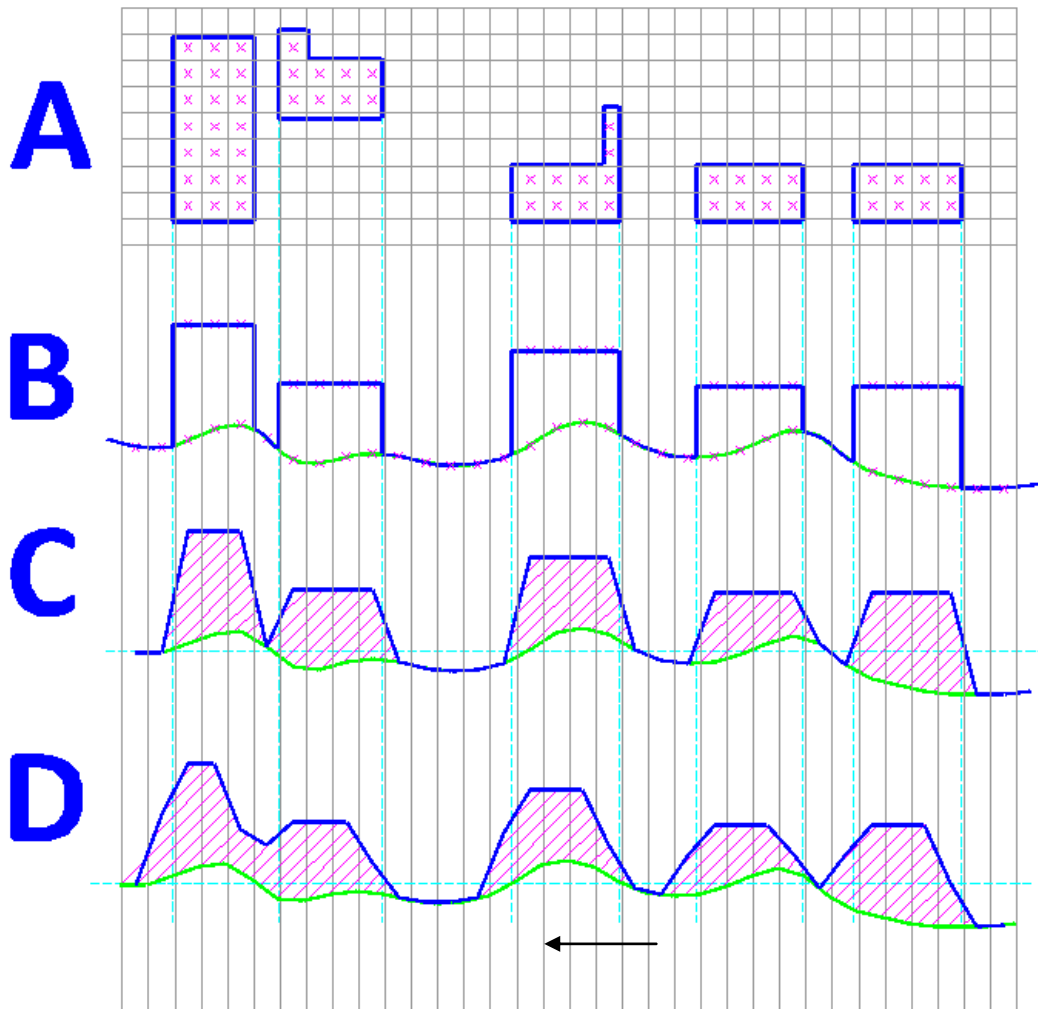
Ενώ, λοιπόν, μία τέτοια διαδικασία μπορεί να συμπεριληφθεί στις μετατροπές που γίνονται για την εξαγωγή της υψομετρικής πληροφορίας εδάφους από τους χάρτες της ΓΥΣ, στην περίπτωση της εξαγωγής του DSM από τα δορυφορικά δεδομένα (που περιέχει ουσιαστικά τα προς αναζήτηση αντικείμενα), η επεξεργασία της ανασύστασης της υψομετρικής πληροφορίας επηρεάζει το σχήμα των κτισμάτων (Εικόνα 88 - D).

Επίσης, σχεδόν το σύνολο των μεθόδων παρεμβολής υψομέτρων, είναι κατασκευασμένα με τρόπο τέτοιο ώστε το αποτέλεσμα τους να δίνει μία ομαλή μετάβαση από το ένα σημείο της επιφάνεια στο άλλο. Μία αξιόπιστη παρεμβολή προσπαθεί να προσομοιάσει το πιθανό φυσικό ανάγλυφο που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ή περισσότερα σημεία δοσμένου υψομέτρου. Είναι, λοιπόν, κατασκευασμένα για να λειτουργούν καλύτερα σε δεδομένα DTM και όχι DSM,

όπου η αιχμή και η υψομετρική ανωμαλία (διαφορά) είναι η υπεύθυνη για τον εντοπισμό πιθανών θέσεων κτισμάτων.

Γενικότερα, η εφαρμογή μίας ανασύστασης της υψομετρικής πληροφορίας σε ένα DSM, τείνει να το φέρνει πιο κοντά στην μορφή του DTM της περιοχής και να ελαχιστοποιεί το εμβαδόν της τομής τους.

Στην περίπτωση που η ανασύσταση του DTM είναι απαραίτητη θα πρέπει να προτιμάται η μέθοδος της δικυβικής παρεμβολής, που εκφράζει τις τάσεις.



Εικόνα 88 - Σχεδιαστική απεικόνιση της επίδρασης της ανασύστασης του DEM

Στο παραπάνω σχέδιο απεικονίζεται:

- A. Η κάτοψη μίας περιοχής
- B. Η τομή της περιοχής όπως είναι στην πραγματικότητα
- C. Η τομή της περιοχής όπως μετασχηματίζεται λόγω βήματος καννάβου
- D. Η τομή της περιοχής όπως μετασχηματίζεται από την επίδραση μίας μετατόπισης του καννάβου (πχ 1 m προς τα αριστερά)

Σημ.: Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το DSM και πράσινο το DTM.

Η ανασύσταση των DEM έχει σφάλματα λόγω της προσέγγισης της παραγόμενης υψομετρικής πληροφορίας στη νέα θέση με βάση την κλίση.

6.4 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η επεξεργασία που ακολουθείται χρησιμοποιεί τρία (3) κριτήρια η εφαρμογή των οποίων δεν χρειάζεται εξειδικευμένη εξοπλισμό. Είναι απλή και γρήγορη.

Το πρώτο κριτήριο της υψομετρικής διαφοράς φέρει το βάρος του εντοπισμού των κτισμάτων και είναι υπεύθυνο για το μεγαλύτερο ποσοστό της ακρίβειας της προτεινόμενης μεθόδου.

Τα υπόλοιπα κριτήρια επιδιώκουν να βελτιώσουν τα αρχικά αποτέλεσμα αφαιρώντας είτε την βλάστηση που ανιχνεύτηκε (Κριτήριο 2 – NDVI), είτε μικρού μεγέθους κηλίδες εντοπισμού και εικονοστοιχείων ασυσχέτιστων με τα γειτονικά τους (Κριτήριο 3 – Μορφολογικό φίλτρο).

Τα δύο πρώτα κριτήρια (ΔΗ και NDVI) είναι σχετικά ασυσχέτιστα μεταξύ τους, καθώς χρησιμοποιούν διαφορετικά δεδομένα, και η διαδοχική εφαρμογή τους επηρεάζει αισθητά τη ακρίβεια και την ορθότητα των αποτελεσμάτων. Αντίθετα η εφαρμογή του τρίτου κριτηρίου έχει μικρότερη επίδραση στα αποτελέσματα βελτιώνοντάς τα λιγότερο αισθητά.

Υποθέτουμε ότι όσο περισσότερο αυξάνονται τα κριτήρια τόσο μικρότερη βελτίωση της ακρίβειας θα παρατηρείται από την εφαρμογή ενός νέου κριτηρίου.

Κάνοντας έλεγχο του τελικού αποτελέσματος με διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενη αντίστοιχη εργασία καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η λειτουργία του μορφολογικού φίλτρου δεν αφαιρεί αυθαίρετα όλες τις κηλίδες μικρής επιφάνειας.

Από την εφαρμογή των δύο πρώτων κριτηρίων δημιουργούνται κηλίδες εντοπισμού με επιφάνεια μικρότερη των τεσσάρων εικονοστοιχείων. Συγκεκριμένα για την περιοχή μελέτης δημιουργούνται 111 κηλίδες μεγέθους ενός εικονοστοιχείου, 50 κηλίδες δύο εικονοστοιχείων και 34 κηλίδες τριών εικονοστοιχείων. Ο πίνακας κατανομής κηλίδων ανά μέγεθος για κηλίδες μέχρι 30 εικονοστοιχεία παρουσιάζεται στο παράρτημα Β. Συνολικά οι κηλίδες εντοπισμού που δημιουργούνται με την εφαρμογή των δύο πρώτων κριτηρίων είναι 597. Να υπενθυμίσουμε σε αυτό το σημείο ότι τα συνολικά κτίσματα της εικόνας είναι 450 από τα οποία εντοπίζονται τα 370.

Η εφαρμογή του μορφολογικού κριτηρίου, βάσει κατασκευής του, αφαίρεσε τις κηλίδες με μέγεθος ενός και δύο εικονοστοιχείων, και μέρος των κηλίδων με τρία εικονοστοιχεία. Ταυτόχρονα περιόρισε το μέγεθος όλων των κηλίδων αφαιρώντας εικονοστοιχεία από τα όριά τους.

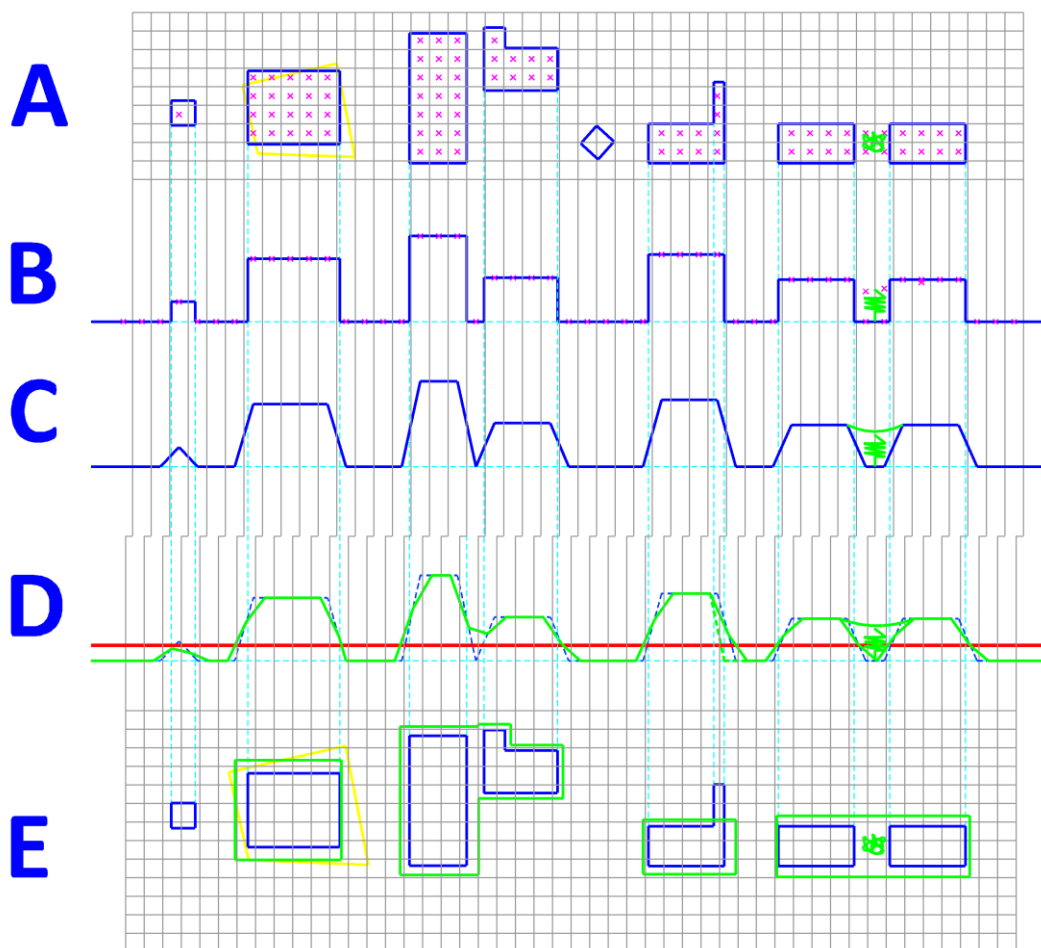
Το τελικό αποτέλεσμα, μετά την εφαρμογή του μορφολογικού φίλτρου, είναι μία εικόνα εντοπισμού κτισμάτων με 423 κηλίδες, μικρότερου κατά κανόνα μεγέθους από τις προηγούμενες, αντί του υποθετικού 402 κηλίδων (597 κηλίδες από την εφαρμογή των δύο πρώτων κριτηρίων – (111+50+34) κηλίδες με μέγεθος ενός έως τριών εικονοστοιχείων).

Η διαφορά αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι το μορφολογικό φίλτρο δεν αφαιρεί όλες τις κηλίδες μικρού μεγέθους αλλά ελέγχει το σχήμα τους πριν τις απορρίψει. Η ιδιότητα αυτή έχει ως αποτέλεσμα την αφαίρεση λιγότερων κηλίδων εντοπισμού με μικρή επιφάνεια.

Σε κάθε περίπτωση συνιστάτε η εφαρμογή μίας διαδικασίας αφαίρεσης των μικρών σε μέγεθος κηλίδων εντοπισμού πριν την εφαρμογή του μορφολογικού κριτηρίου.

6.5 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας οφείλεται κατά μεγαλύτερο ποσοστό στην εφαρμογή του κριτηρίου υπολογισμού της υψομετρικής διαφοράς (1^ο κριτήριο).



Εικόνα 89 - Διαδικασία εντοπισμού ενός κτίσματος βάση του ΔΗ

Στην Εικόνα 89 φαίνεται η διαδικασία μετατροπής και μετασχηματισμού της υψομετρικής πληροφορίας σε διαδοχικές φάσεις, καθώς και το τελικό αποτέλεσμα.

- A. Η κάτοψη μίας περιοχής
- B. Η τομή της περιοχής όπως είναι στην πραγματικότητα
- C. Η τομή της περιοχής όπως μετασχηματίζεται λόγω βήματος καννάβου

D. Η τομή της περιοχής όπως μετασχηματίζεται από την ανασύσταση του DSM/DTM

E. Το παρεχόμενο αποτέλεσμα

Σημ.: Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το DSM, πράσινο το DTM και κόκκινο το όριο κατωφλίωσης.

Σημαντικό είναι να προσθέσουμε μερικά ακόμη χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στο παραπάνω σχήμα.

- F. Το κτίσμα 1 (πρώτο από αριστερά) δεν είναι δυνατόν να εντοπιστεί καθώς το υψόμετρό του είναι κάτω από το όριο κατωφλίωσης.
- G. Το κτίσμα 2 (δεύτερο από αριστερά) εντοπίζεται κανονικά όμως η θέση και το σχήμα του λόγω ατέλειας στην μετατροπή των συντεταγμένων από το ένα σύστημα στο άλλο έχει αλλοιωθεί (κίτρινη γραμμή), με αποτέλεσμα να μην εντοπίζονται περιφερειακά στοιχεία του κτίσματος. Σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχει κίνδυνος, εφόσον το κτίσμα είναι μικρό και ο μετασχηματισμός κακός, το σημείο εντοπισμού του κτίσματος από την διαδικασία να μην έχει κανένα κοινό σημείο με το πραγματικό κτίσμα.
- H. Τα κτίσματα 3 και 4 (από αριστερά) ενώ είναι δύο διακριτά κτίσματα, μετά τις μετατροπές και κατωφλιώσεις της πληροφορίας, καθώς και εξαιτίας της μικρής μεταξύ τους απόστασης εντοπίζονται ως ένα ενιαίο.
- I. Στη κάτοψη του σχήματος (πεδίο A) υπάρχει το κτίσμα 5 (πέμπτο από αριστερά), το οποίο λόγω του μεγέθους και της στροφής του, δεν τέμνεται από κανένα σημείο του υψομετρικού καννάβου. Αποτέλεσμα αυτού είναι να μην μπορεί να εντοπιστεί.
- J. Το κτίσμα 6 (από αριστερά) εντοπίζεται, μεν, αλλά όχι ολόκληρο καθώς οι μετατροπές, μετακινήσεις και κατωφλιώσεις συνέβαλαν στην εξαφάνιση της στενόμακρης επέκτασής του.
- K. Τέλος, λόγω της ύπαρξης βλάστησης ανάμεσα στα κτίσματα 7 και 8, ο αλγόριθμος αναγνωρίζει διαφορά υψομέτρου και πιθανή θέση κτίσματος στην θέση της βλάστησης. Αποτέλεσμα ο εντοπισμός ενός ενιαίου κτίσματος.

Γενικότερα όσο μεγαλύτερο είναι ένα κτίσμα (σε έκταση και ύψος) τόσο είναι πιο εύκολα εντοπίσιμο από τον αλγόριθμο. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι στην περιοχή εφαρμογής, η μέθοδος είχε 98% επιτυχία στα κτίσματα άνω των 500 m² και μεγαλύτερη από 83% στα κτίσματα από 100 m² έως 500 m².

Επίσης ασφαλή εντοπισμό έχουμε όταν το κτίσμα καλύπτει τουλάχιστον 6 εικονοστοιχεία (pixel) ώστε να μπορεί να έχει τουλάχιστον 1 εικονοστοιχείο που προήλθε από τον μετασχηματισμό στοιχείων που στην πλειοψηφία άνηκαν στην οροφή του κτίσματος, επομένως είναι πιο κοντά στα πρωτογενή δεδομένα.

Αυτές είναι οι περισσότερες των περιπτώσεων που συναντάει πρόβλημα ο αλγόριθμος. Προφανώς υπάρχουν και άλλες ειδικές περιπτώσεις όπου ο προτεινόμενος αλγόριθμος έχει σημαντικές πιθανότητες αστοχίας ή μη ακριβούς

εντοπισμού κτίσματος. Τα περισσότερα από τα προβλήματα αυτά επιλύονται από την εφαρμογή του δεύτερου κριτηρίου, του δείκτη βλάστησης.

Τα δύο πρώτα κριτήρια (υψομετρικής διαφοράς και δείκτη βλάστησης) έχουν χαμηλή συσχέτιση μεταξύ τους, καθώς χρησιμοποιούν διαφορετικού είδους δεδομένα. Επομένως γενικά υπάρχει μεγάλη πιθανότητα εκεί που το ένα αποτυγχάνει να δώσει ασφαλές αποτέλεσμα, να πετυχαίνει το άλλο.

Ο αλγόριθμος της διαφοράς υψομέτρου όπως αναφέραμε και παραπάνω αστοχεί στα σημεία επαναλαμβανόμενης υψής και τις σκιές. Αντίστοιχα ο δείκτης βλάστησης σε οργανωμένα χωράφια ή καμένες εκτάσεις δεν ανιχνεύει (όπως είναι λογικό) βλάστηση.

Τα μεγαλύτερα προβλήματα εντοπίστηκαν σε δύο διαφορετικές περιοχές:

1. Σε κάποιες γεωργικές εκτάσεις όπου το DTM είχε αστοχήσει και ταυτόχρονα ο δείκτης βλάστησης δεν ήταν αρκετός ώστε να απαλειφθεί
2. Στις σκιές γύρω από τα εντοπισμένα κτίσματα

6.6 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Η μέθοδος, η οποία ακολουθήθηκε, δεν έχει την δυνατότητα αυστηρού ορισμού των ορίων ενός κτίσματος. Εντοπίζει την πιθανή θέση και όχι, πάντα την μορφή του κτίσματος.

Είναι χρήσιμη, όμως, ως διαδικασία εύρεσης θέσεων, οι οποίες με την σειρά τους αξιοποιούνται από πιο εξελιγμένους αλγόριθμους (π.χ. snakes). Περιορίζει, δηλαδή, τις θέσεις εφαρμογής άλλων διαδικασιών, δίνοντας αρχικές τιμές θέσης.

Η παραπάνω εφαρμογή δεν είναι η μοναδική χρησιμότητα της μεθόδου. Τα αποτελέσματά της, αν και πιο γενικευμένα από άλλες μεθόδους, μπορούν να χρησιμεύσουν για να διευκολύνουν τους χρήστες για ένα πιο γρήγορο χειροκίνητο εντοπισμό, καθώς περιορίζουν την έκταση της επιφάνειας έρευνας.

Μπορούν να αξιοποιηθούν σε έρευνες που επικεντρώνονται σε ομάδες κτισμάτων, όπως η παρακολούθηση τάσεων ανάπτυξης οικισμών.

Τέλος αποτελούν χρήσιμη πληροφορία για την αναζήτηση πιθανών θέσεων αυθαίρετων κτισμάτων.

Παράρτημα Α

ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΤΟ MATLAB

A.1.1 Κατηγοριοποίηση σε 4 λογικές ομάδες

```
function [diff_aim,stats] = aim(input,a,b,c)

% eg. [diff_aim,stats] = aim(raster_diff,-2,2,21);

temp = input(:);
output = zeros(size(temp));

for i = 1:size(temp)
    if temp(i) < a;
        output(i) = 1;
    elseif temp(i) < b;
        output(i) = 2;
    elseif temp(i) < c;
        output(i) = 3;
    else
        output(i) = 4;
    end
end

diff_aim = reshape(output,size(input));

RGB = label2rgb(diff_aim, @jet);
imshow(RGB)

X = input(:);
Y = diff_aim(:);
Z = zeros(size(Y),4);
for i = 1:size(Y);
    cat = Y(i);
    Z(i,cat) = X(i);
end

format bank
for i = 1:4
    clear R
    R = find(Z(:,i)|0);
    stats(i,1:6) = [ min(Z(R,i)), max(Z(R,i)), median(Z(R,i)),
mean(Z(R,i)), std(Z(R,i)), size(Z(R,i),1)];
end

name = ['results(aim)\aim_image_min_' num2str(a) '_' num2str(b)
 '_' num2str(c) '_max_classes.tif'];
imwrite(RGB,name);
name = ['results(aim)\aim_image_min_' num2str(a) '_' num2str(b)
 '_' num2str(c) '_max_classes.txt'];
save(name,'stats','-ASCII');
```

A.1.2 Κατηγοριοποίηση σε 2 λογικές ομάδες

```
function [diff_aim,stats] = aim_tresh(input,tr)

% eg. [diff_aim,stats] = aim_tresh(raster_diff,2);

temp = input(:);
output = zeros(size(temp));

for i = 1:size(temp)
    if temp(i) < tr;
        output(i) = 0;
    else
        output(i) = 1;
    end
end

diff_aim = reshape(output,size(input));

RGB = label2rgb(diff_aim, @jet);
imshow(RGB)

X = input(:);
Y = diff_aim(:);
Z = zeros(size(Y),2);
for i = 1:size(Y);
    cat = Y(i);
    Z(i,cat+1) = X(i);
end

format bank
for i = 1:2
    clear R
    R = find(Z(:,i)|0);
    stats(i,1:6) = [min(Z(R,i)), max(Z(R,i)), median(Z(R,i)),
mean(Z(R,i)), std(Z(R,i)), size(Z(R,i),1)];
end

name = ['results(aim_tresh)\aim_tresh_on_' num2str(tr)
'_image.tif'];
imwrite(RGB,name);

name = ['results(aim_tresh)\aim_tresh_on_' num2str(tr)
'_image.txt'];
save(name,'stats','-ASCII');
```


A.1.3 Παρεμβολή υψομέτρου

```

function [X,Y,Z] = alt_interj(input,from)

% [X_map,Y_map,Z_map] =
alt_interj('TestAreas_syst_error_points.xyz','map');
% [X_dsm,Y_dsm,Z_dsm] =
alt_interj('TestAreas_syst_error_points.xyz','dsm');

input = ['data\' input];
[X,Y] = textread(input,'%n%n%*[\n]', 'delimiter',' ','');

if from == 'map'
    from =
'data\GYS_grid_RXF_aff_EGSA87_correct_H_4_surfer_out.csv';
elseif from == 'dsm'
    from = 'data\3x3_dsm_of_all_out.csv';
end
[info,DEM] = ASCII2raster(from);

step = info(1,3);

minX = info(1,1) + step./2;
maxY = info(2,1) - step./2;
maxX = info(1,2) - step./2;
minY = info(2,2) + step./2;

for i = 1:size(X,1)

    row = fix(abs((X(i)-minX)./step(1))+1);
    col = fix(abs((maxY-Y(i))./step(1))+1);

    a = (X(i)-minX)./step(1);
    b = (maxY-Y(i))./step(1);

    a = a - fix(a);
    b = b - fix(b);

    if X(i) > info(1,2) | X(i) < info(1,1) | Y(i) > info(2,2) |
Y(i) < info(2,1)
        'out of DEM'
        Z(i) = 0;
    elseif a==0 & b==0
        Z(i) = DEM(col,row);
    else
        Z(i) = (DEM(col,row)./(a.^2+b.^2) + DEM(col+1,row)./((1-
a).^2+b.^2) + DEM(col,row+1)./(a.^2+(1-b).^2) +
DEM(col+1,row+1)./((1-a).^2+(1-b).^2)) ./ (1./(a.^2+b.^2) +
1./((1-a).^2+b.^2) + 1./(a.^2+(1-b).^2) + 1./((1-a).^2+(1-
b).^2));
    end
end

Z = Z(:);

```

A.1.4 Μετατροπή ASCII σε raster

```
function [info,raster] = ASCII2raster(name)

% Η παραπάνω συνάρτηση μετατρέπει τα αρχεία ASCII σε πίνακα και
% δημιουργεί ένα αρχείο info με τα minX, maxX, stepX, minY, maxY,
% stepY του εκαστοτε αρχείου.
% ex. [info_map,raster_map] =
ASCII2raster('GYS_grid_RXF_aff_EGSA87_correct_H_4_surfer_test_out
.csv');
% [info_dsm,raster_dsm] =
ASCII2raster('3x3_dsm_of_test_area_out.csv');

format long g

[x,y,z] = textread(name,'%n%n%n','delimiter',' ','');

a = 1;
while x(1) == x(a)
    a = a + 1;
    stepX = abs(x(1)-x(a));
end
clear a;

a = 1;
while y(1) == y(a)
    a = a + 1;
    stepY = abs(y(1)-y(a));
end
clear a;

minX = min(x);
maxX = max(x);
minY = min(y);
maxY = max(y);

info = [minX maxX stepX;
        minY maxY stepY];

a = (maxX - minX) / stepX + 1;
b = (maxY - minY) / stepY + 1;

raster = zeros(b,a);

k = (x - minX) ./ stepX + 1;
l = (maxY - y) ./ stepY + 1;

for m = 1:size(k)
    i = k(m);
    j = l(m);
    h = z(m);
    raster(j,i) = h;
end
```

A.1.5 Υπολογισμός Συστηματικού Σφάλματος

```

function [Z_diff,I,stats,syst_error] =
calc_syst_error(data_file,s)

% ex. [Z_diff,I,stats,syst_error] =
calc_syst_error('TestAreaA_syst_error_points.xyz',2);  data from
test area A
% or [Z_diff,I,stats,syst_error] =
calc_syst_error('TestAreas_syst_error_points.xyz',2);  data from
all test areas

[X_map,Y_map,Z_map] = alt_interj(data_file,'map');
[X_dsm,Y_dsm,Z_dsm] = alt_interj(data_file,'dsm');

Z = Z_dsm - Z_map;

Z_diff = [X_map,Y_map,Z];

sort_Z_diff = sortrows(Z_diff,[3]);

I = find((Z > (mean(Z) - s .* std(Z)) & (Z < (mean(Z) + s .*
std(Z)))));
Z_diff_part = Z_diff(I,:);
sort_Z_diff_part = sortrows(Z_diff_part,[3]);

stats = [min(Z) max(Z) median(Z) mean(Z) std(Z) std(Z,1);
         min(Z_diff_part(:,3)) max(Z_diff_part(:,3))
         median(Z_diff_part(:,3)) mean(Z_diff_part(:,3))
         std(Z_diff_part(:,3)) std(Z_diff_part(:,3),1)];

fprintf('\n\n          Z difference of data\n\n'); % display
data diff
fprintf('          X          Y          Z\n');
fprintf('      %8.3f      %8.3f      %3.2f\n',Z_diff');

fprintf('\n\n          sorted Z difference of data\n\n'); %
display sorted data diff
fprintf('          X          Y          Z\n');
fprintf('      %8.3f      %8.3f      %3.2f\n',sort_Z_diff');

fprintf('\n\n          Z difference of part\n\n'); % display part
diff
fprintf('          X          Y          Z\n');
fprintf('      %8.3f      %8.3f      %3.2f\n',Z_diff_part');

fprintf('\n\n          sorted Z difference of part\n\n'); %
display sorted part diff
fprintf('          X          Y          Z\n');
fprintf('      %8.3f      %8.3f      %3.2f\n',sort_Z_diff_part');

fprintf('\n\n          min          max          median          mean
std(n)          std(n-1)\n\n'); % display statistics

```

```
fprintf('raw      %6.2f      %6.2f      %6.2f      %6.2f
%6.2f      %6.2f\n', stats(1,:));
fprintf('part    %6.2f    %6.2f    %6.2f    %6.2f
%6.2f      %6.2f\n', stats(2,:));

fprintf('\n\n Operation keeps %5.0f points of %5.0f points (%5.0f
of points has been
discarded)\n', size(Z_diff_part,1), size(Z_diff,1), size(Z_diff,1) -
size(Z_diff_part,1));

name = ['results(syst_error)\statistics_for_' num2str(data_file)
'_line1-row_line2-' num2str(s) 's_row4-mean.txt'];
save(name, 'stats', '-ASCII');

syst_error = stats(2,4);
```

A.1.6 Ταξινόμηση Υψομετρικής Διαφοράς

```
function [diff_classified,stats] =  
classification(input,no_of_cat)  
  
% eg. [diff_classified,stats] = classification(raster_diff,5);  
  
IDX = kmeans(input(:),no_of_cat);  
diff_classified = reshape(IDX,size(input));  
  
RGB = label2rgb(diff_classified, @jet);  
imshow(RGB)  
  
X = input(:);  
Y = diff_classified(:);  
Z = zeros(size(Y),no_of_cat);  
for i = 1:size(Y);  
    cat = Y(i);  
    Z(i,cat) = X(i);  
end  
  
format bank  
for i = 1:no_of_cat  
    clear R  
    R = find(Z(:,i)|0);  
    stats(i,1:6) = [min(Z(R,i)), max(Z(R,i)), median(Z(R,i)),  
mean(Z(R,i)), std(Z(R,i)), size(Z(R,i),1)];  
end  
  
name = ['results(classification)\classified_image_on_'  
num2str(no_of_cat) '_classes.tif'];  
imwrite(RGB,name);  
  
name = ['results(classification)\classified_image_on_'  
num2str(no_of_cat) '_classes.txt'];  
save(name,'stats','-ASCII');
```

A.1.7 Σύνθεση Αποτελεσμάτων

```
function [output] = multi(input1,input2)

% eg. [both] = multi(diff_aim, vegetation);
% eg. [both] = multi(both, CR);

output = input1 .* input2;

RGB = label2rgb(output, @jet);
imshow(RGB)

name = ['results(multi)\multi_image_on_'
num2str(max(output(:))+1) '_classes.tif'];
imwrite(RGB,name);
```

A.1.8 Μετατροπή raster σε ASCII

```
function [ASCII] = raster2ASCII(raster,info)

% ex. [ASCII] = raster2ASCII(raster_diff,raster_diff_info);

ASCII = zeros((size(raster,1)*size(raster,2)),3);

[X,Y] = meshgrid(info(1,1):info(1,3):info(1,2),info(2,2):-
info(2,3):info(2,1));
ASCII = [X(:) Y(:) raster(:)];

name = ['results(raster2ASCII)\ASCII_of_UpLeft(X='
num2str(info(1,1)) ',Y=' num2str(info(2,2)) ')_DownRight(X='
num2str(info(1,2)) ',Y=' num2str(info(2,1)) ')_with_'
num2str(info(1,3)) 'm_pixelsize.txt'];
save(name,'ASCII','-ASCII');
```

A.1.9 Επιλογή Σημείων DTM που Αντιστοιχούν σε Κτίσματα

```
function [output] = overlay(raster,info,mask)

% ex. [output] =
overlay(raster_diff,raster_diff_info,'GYS_grid_RXF_aff_EGSA87_cor
rect_H_test_areas_classification_vector_borders_hatch.tif');

mask = ['data\' mask];
mask = imread(mask);
mask = imresize(mask,size(raster));

level = graythresh(mask);
bw = im2bw(mask,level);
imshow(bw)

bw = bw(:);

I = find(bw == 0);

ASCII = raster2ASCII(raster,info);

output = ASCII(I,:);

name = ['results(overlay)\ASCII_of_UpLeft(X=' num2str(info(1,1))
',Y=' num2str(info(2,2)) ')_DownRight(X=' num2str(info(1,2))
',Y=' num2str(info(2,1)) ')_with_' num2str(info(1,3))
'm_pixelsize.txt'];
save(name,'output','-ASCII');
```

A.1.10 Ανάγνωση Δεδομένων-Υπολογισμός Υψομετρικής Διαφοράς

```
function [raster_diff,raster_diff_info] =  
read_dsm_data(input_map,input_dsm,syst_error)  
  
% ex. [raster_diff,raster_diff_info] =  
read_dsm_data('GYS_grid_RXF_aff_EGSA87_correct_H_4_surfer_test_ou  
t.csv','3x3_dsm_of_test_area_out.csv',syst_error);  
  
input_map = ['data\' input_map];  
[info_map,raster_map] = ASCII2raster(input_map);  
fprintf('File %s has modified to raster\n',input_map)  
info_map  
  
input_dsm = ['data\' input_dsm];  
[info_dsm,raster_dsm] = ASCII2raster(input_dsm);  
fprintf('File %s has modified to raster\n',input_dsm)  
info_dsm  
  
raster_diff = raster_dsm - raster_map + syst_error;  
disp('Diff has been created')  
  
raster_diff_info = info_dsm;  
  
name = ['results(read_dsm_data)\raster_diff_UpLeft(X='  
num2str(info_dsm(1,1)) ',Y=' num2str(info_dsm(2,2))  
)_DownRight(X=' num2str(info_dsm(1,2)) ',Y='  
num2str(info_dsm(2,1)) ')_with_' num2str(info_dsm(1,3))  
'm_pixelsize_and_' num2str(syst_error) 'm_systematic_error.txt'];  
save(name,'raster_diff','-ASCII');
```


A.1.11 Υπολογισμός Δεδομένων Γειτνίασης

```
function [output] = shape(input)

% ex. [SH] = shape(diff_aim);

C = [zeros(size(input,1),1) input zeros(size(input,1),1)];
C = [zeros(1,size(C,2)); C; zeros(1,size(C,2))];

NE = [zeros(size(input,1),2) input];
NE = [zeros(2,size(NE,2)); NE];

N = [zeros(size(input,1),1) input zeros(size(input,1),1)];
N = [zeros(2,size(N,2)); N];

NW = [input zeros(size(input,1),2)];
NW = [zeros(2,size(NW,2)); NW];

E = [zeros(size(input,1),2) input];
E = [zeros(1,size(E,2)); E; zeros(1,size(E,2))];

W = [input zeros(size(input,1),2)];
W = [zeros(1,size(W,2)); W; zeros(1,size(W,2))];

SE = [zeros(size(input,1),2) input];
SE = [SE ;zeros(2,size(SE,2))];

S = [zeros(size(input,1),1) input zeros(size(input,1),1)];
S = [S ;zeros(2,size(S,2))];

SW = [input zeros(size(input,1),2)];
SW = [SW ;zeros(2,size(SW,2))];

[I] = find(C==NE);
CNE = zeros(size(C));
CNE = CNE(:);
CNE(I) = 1;
CNE = reshape(CNE,size(C));

[I] = find(C==N);
CN = zeros(size(C));
CN = CN(:);
CN(I) = 1;
CN = reshape(CN,size(C));

[I] = find(C==NW);
CNW = zeros(size(C));
CNW = CNW(:);
CNW(I) = 1;
CNW = reshape(CNW,size(C));

[I] = find(C==E);
CE = zeros(size(C));
CE = CE(:);
CE(I) = 1;
```

```
CE = reshape(CE, size(C));

[I] = find(C==W);
CW = zeros(size(C));
CW = CW(:);
CW(I) = 1;
CW = reshape(CW, size(C));

[I] = find(C==SE);
CSE = zeros(size(C));
CSE = CSE(:);
CSE(I) = 1;
CSE = reshape(CSE, size(C));

[I] = find(C==S);
CS = zeros(size(C));
CS = CS(:);
CS(I) = 1;
CS = reshape(CS, size(C));

[I] = find(C==SW);
CSW = zeros(size(C));
CSW = CSW(:);
CSW(I) = 1;
CSW = reshape(CSW, size(C));

output(:, :, 1) = CNE;
output(:, :, 2) = CN;
output(:, :, 3) = CNW;
output(:, :, 4) = CW;
output(:, :, 5) = CSW;
output(:, :, 6) = CS;
output(:, :, 7) = CSE;
output(:, :, 8) = CE;

output = output(2:size(output,1)-1, 2:size(output,2)-1, :);
```

A.1.12 Εφαρμογή Μορφολογικού Φίλτρου

```
function [CR] = morf(input)

% ex. [CR] = morf(SH);
%
%
%      1      2      3
%      8      X      4
%      7      6      5
%
%

CR1 = input(:,:,1) + input(:,:,2) + input(:,:,3) + input(:,:,4) +
input(:,:,5) + input(:,:,6) + input(:,:,7) + input(:,:,8);

CR2 = input(:,:,1) + input(:,:,2);
CR3 = input(:,:,2) + input(:,:,3);
CR4 = input(:,:,3) + input(:,:,4);
CR5 = input(:,:,4) + input(:,:,5);
CR6 = input(:,:,5) + input(:,:,6);
CR7 = input(:,:,6) + input(:,:,7);
CR8 = input(:,:,7) + input(:,:,8);
CR9 = input(:,:,8) + input(:,:,1);

CR10 = input(:,:,2) + input(:,:,4) + input(:,:,6) + input(:,:,8);

[I] = find(CR1>4 | CR2==2 | CR3==2 | CR4==2 | CR5==2 | CR6==2 |
CR7==2 | CR8==2 | CR9==2 | CR10==4);
CR = zeros(size(input(:,:,1)));
CR = CR(:);
CR(I) = 1;
CR = reshape(CR,size(input(:,:,1)));

level = graythresh(CR);
bw = im2bw(CR,level);
imshow(bw)
```

A.1.13 Υπολογισμός Ποσοστού Επιτυχίας ανά Pixel

```
function perc(input,mask)

% ex.
perc(both,'GYS_grid_RXF_aff_EGSA87_correct_H_test_areas_classification_vector_borders_hatch.tif');

mask = ['data\' mask];
mask = imread(mask);
mask = imresize(mask,size(input));

level = graythresh(mask);
bw = im2bw(mask,level);
bw = single(bw);

[I1] = find(bw==1 & input==0); % Einai swsta epilegmeno EDAFOS
[I2] = find(bw==1 & input==1); % Einai edafos alla to brike gia ktirio
[I3] = find(bw==0 & input==0); % Einai ktirio pou den anixneutike
[I4] = find(bw==0 & input==1); % Einai swsta epilegmeno Ktirio

R = zeros(size(input));
R = R(:);

R(I1) = 1;
R(I2) = 2;
R(I3) = 3;
R(I4) = 4;

R = reshape(R,size(input));

% size I1 + I2 einai sthn pragmatikothta edafos
% size I3 + I4 einia sthn pragmatikothta ktiria

Einai_swsta_epilegmeno_Ktirio = (size(I4,1)/(size(I3,1) + size(I4,1))).*100
Einai_ktirio_pou_den_anixneutike = (size(I3,1)/(size(I3,1) + size(I4,1))).*100
Einai_edafos_alla_to_brike_gia_ktirio = (size(I2,1)/(size(I1,1) + size(I2,1))).*100
Einai_swsta_epilegmeno_EDAFOS = (size(I1,1)/(size(I1,1) + size(I2,1))).*100

Eidiki_akribeia = (size(I4,1)/(size(I2,1) + size(I3,1) + size(I4,1))).*100
Eidiki_akribeia = (size(I4,1)/(size(I2,1) + size(I3,1)))
```

A.1.14 Υπολογισμός Ποσοστού Επιτυχίας ανά Κτίσμα

```
function [output] = stats_calc(input)

% [output] = stats_calc('stats_for_perc.csv');

input = ['data\' input];
data = importdata(input);

kakws = find(data(:,2)==1);
metriws = find(data(:,2)==2);
kalws = find(data(:,2)==3);

output(1,1) = size(kakws,1);
output(1,2) = size(metriws,1);
output(1,3) = size(kalws,1);

output(2,1) = size(kakws,1)./size(data,1).*100;
output(2,2) = size(metriws,1)./size(data,1).*100;
output(2,3) = size(kalws,1)./size(data,1).*100;

kakws_mikra = find(data(:,2)==1&data(:,3)<100);
metriws_mikra = find(data(:,2)==2&data(:,3)<100);
kalws_mikra = find(data(:,2)==3&data(:,3)<100);

output(3,1) = size(kakws_mikra,1);
output(3,2) = size(metriws_mikra,1);
output(3,3) = size(kalws_mikra,1);

mikra = output(3,1) + output(3,2) + output(3,3);

output(4,1) = size(kakws_mikra,1)./mikra.*100;
output(4,2) = size(metriws_mikra,1)./mikra.*100;
output(4,3) = size(kalws_mikra,1)./mikra.*100;

kakws_mid = find(data(:,2)==1&data(:,3)<500&data(:,3)>=100);
metriws_mid = find(data(:,2)==2&data(:,3)<500&data(:,3)>=100);
kalws_mid = find(data(:,2)==3&data(:,3)<500&data(:,3)>=100);

output(5,1) = size(kakws_mid,1);
output(5,2) = size(metriws_mid,1);
output(5,3) = size(kalws_mid,1);

mid = output(5,1) + output(5,2) + output(5,3);

output(6,1) = size(kakws_mid,1)./mid.*100;
output(6,2) = size(metriws_mid,1)./mid.*100;
output(6,3) = size(kalws_mid,1)./mid.*100;

kakws_meg = find(data(:,2)==1&data(:,3)>=500);
metriws_meg = find(data(:,2)==2&data(:,3)>=500);
kalws_meg = find(data(:,2)==3&data(:,3)>=500);

output(7,1) = size(kakws_meg,1);
```

```

output(7,2) = size(metriws_meg,1);
output(7,3) = size(kalws_meg,1);

meg = output(7,1) + output(7,2) + output(7,3);

output(8,1) = size(kakws_meg,1)./meg.*100;
output(8,2) = size(metriws_meg,1)./meg.*100;
output(8,3) = size(kalws_meg,1)./meg.*100;

output(9,1) = mean(data(kakws,3));
output(9,2) = mean(data(metriws,3));
output(9,3) = mean(data(kalws,3));

output(10,1) = min(data(kakws,3));
output(10,2) = min(data(metriws,3));
output(10,3) = min(data(kalws,3));

output(11,1) = max(data(kakws,3));
output(11,2) = max(data(metriws,3));
output(11,3) = max(data(kalws,3));

fprintf('\n\n
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ\n\n');
fprintf('
                                ΚΑΚΩΣ                ΜΕΤΡΙΩΣ
ΚΑΛΩΣ\n');
fprintf('ΠΛΗΘΟΣ ΚΤΙΣΜΑΤΩΝ (%)           %5.0f(%2.2f%%)
%5.0f(%2.2f%%)           %5.0f(%2.2f%%)
%5.0f\n',output(1:2,:),size(data,1));
fprintf('ΜΙΚΡΑ ΚΤΙΣΜΑΤΑ (%)           %5.0f(%2.2f%%)
%5.0f(%2.2f%%)           %5.0f(%2.2f%%)
%5.0f(%2.2f%%)\n',output(3:4,:),mikra,mikra./size(data,1).*100);
fprintf('ΜΕΣΑΙΑ ΚΤΙΣΜΑΤΑ (%)           %5.0f(%2.2f%%)
%5.0f(%2.2f%%)           %5.0f(%2.2f%%)
%5.0f(%2.2f%%)\n',output(5:6,:),mid,mid./size(data,1).*100);
fprintf('ΜΕΓΑΛΑ ΚΤΙΣΜΑΤΑ (%)           %5.0f(%2.2f%%)
%5.0f(%2.2f%%)           %5.0f(%2.2f%%)
%5.0f(%2.2f%%)\n',output(7:8,:),meg,meg./size(data,1).*100);
fprintf('ΜΕΣΗ      ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ           %5.2f           %5.2f
%5.2f           %5.2f\n',output(9,:),mean(data(:,3)));
fprintf('ΕΛΑΧΙΣΤΗ  ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ           %5.2f           %5.2f
%5.2f           %5.2f\n',output(10,:),min(data(:,3)));
fprintf('ΜΕΓΙΣΤΗ    ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ           %5.2f           %5.2f
%5.2f           %5.2f\n\n\n',output(11,:),max(data(:,3)));

```

A.1.15 Υπολογισμός NDVI

```
function [vegetation,stats] = NDVI(nir,red,level,step)

% ex. [vegetation,stats] = NDVI('nir-001-0.5m.tif','red-001-
0.5m.tif',0.1,3);

nir = ['data\' nir];
nir = imread(nir);
nir = imresize(nir,.5/step,'bilinear'); % Το αρχικό βήμα είναι
0,5 m
nir = double(nir);

red = ['data\' red];
red = imread(red);
red = imresize(red,.5/step,'bilinear');
red = double(red);

NDVI = (nir-red)./(nir+red);
NDVI = single(NDVI);

temp = NDVI(:);
output = zeros(size(temp));

a=0;
b=0;
for i = 1:size(temp)
    if temp(i) < level;
        output(i) = 1;
        a = a + 1;
    else
        output(i) = 0;
        b = b + 1;
    end
end

vegetation = reshape(output,size(NDVI));

RGB = label2rgb(vegetation, @jet);
imshow(RGB)

stats = [a b; (a./(a+b)).*100 (b./(a+b)).*100];
sprintf('Areas WITHOUT vegetation %d pixels (%0.2g per
cent).',a, (a./(a+b)).*100)
sprintf('Areas WITH vegetation %d pixels (%0.2g per
cent).',b, (b./(a+b)).*100)

name = ['results(NDVI)\NDVI_image_on_' num2str(level)
'_level_with_' num2str(step) '_pixel_size.tif'];
imwrite(RGB,name);

name = ['results(NDVI)\NDVI_image_on_' num2str(level)
'_level_with_' num2str(step) '_pixel_size.txt'];
save(name,'stats','-ASCII');
```

ΕΤΟΙΜΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΤΟ MATLAB

A.2.1 Υπολογισμός Κηλίδων Εντοπισμού

```
% Ayto to function entopizei blobs se ena binary raster kai
% epistrefei th thesh tw n pixel
% pou ta apoteloun kathws kai kapoia akomh xrhsima stoixeia

% EISODOS: binary raster
% EKSODOS: arithmos blobs, megethos kathenos, row & column
% indexes tou kathe pixel melous

function [num, sz_vec, index_row, index_col] = BLOBING(binary)

% Kathe blob pairnei enan monadiko int ws kwdikh onomasia.
% Kathe pixel melos enos tetoiou blob pairnei thn antistoixh timh
% tou blob
% sto opoio anhkei (pinakas L).
% O synolikos arithmos tw n blob pou eksaxthikan apothikeyetai sto
% num.
[L,num]=bwlabel(binary);

% sz_vec: einai o pinakas sthlh me to megethos tou kathe blob se
% pixel (ta stoixeia megethos
%          diatassontai se seira analoga me ton int pou
%          xarakthrizei to blob)
sz_vec = zeros(num,1);

% index_row, index_col: einai pinakes sthlh pou perilambanoun ta
% indexes olwn tw n
% pixels pou anhkoun se kapoio blob, sthn prwth sthlh einai h row
% syntetagmenh kai sthn deyterh h column

% gia na entopisw ta melh tou blob 1
[index_row,index_col] = find( L == 1 );
% SHMEIWSH: o entopismos tw n blobs einai column major

% afou entopisw kai apothhkeysw ta indexes tw n pixels tou blob,
% ypologizw to megethos
% tou kai to apothhkeyw ston antistoixho pinaka
sz_vec(1)= size(index_row,1);

% H idia diadikasia ginetai kai gia ta ypoloipa blobs
for (i=2:num)
    % to blob entopizetai apo ton xarakteristiko arithmo tou
    [row,column] = find( L == i );
    sz_vec(i)= size(row,1);
    index_row = [index_row ; row];
    index_col = [index_col ; column];
end
% KATHARISMOS MNHMHS (DEN KSERW AN GINETAI AYTOMATA)
clear L i row column
```


Παράρτημα Β

ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Πίνακας 46 – Σημεία ελέγχου περιοχής μελέτης

(με κόκκινο παρουσιάζονται τα σημεία που δεν ανήκουν στο 2s)

ID	X	Y	Z	35	485559.184	4221266.704	0.53
1	484724.497	4222149.083	-0.49	36	485789.145	4221281.206	1.22
2	484712.532	4222034.538	3.33	37	485667.998	4221179.696	3.20
3	484708.125	4221891.671	1.46	38	485562.085	4221130.392	0.24
4	484828.394	4221882.859	3.08	39	485559.674	4221052.564	6.74
5	484833.432	4222037.685	10.04	40	485736.523	4221040.614	19.08
6	484975.742	4222032.650	0.43	41	485371.280	4221041.092	-1.01
7	484985.817	4221877.825	3.19	42	485296.623	4221033.439	5.59
8	485115.521	4222152.820	0.42	43	485248.129	4221118.262	1.49
9	485114.514	4222022.917	2.26	44	485290.880	4221182.039	1.58
10	485279.743	4221908.120	-0.40	45	485417.861	4221279.617	3.66
11	485188.792	4221833.862	1.50	46	485297.900	4221320.435	3.11
12	485302.015	4222031.521	-0.06	47	485132.649	4221465.354	3.05
13	485272.914	4222165.572	4.65	48	485135.509	4221292.393	2.73
14	485424.745	4222160.513	0.38	49	485061.142	4221131.582	1.62
15	485452.166	4222084.190	0.41	50	484954.596	4221200.909	0.29
16	485558.244	4222155.207	-2.09	51	485028.856	4221337.310	-1.17
17	485599.737	4222016.201	4.96	52	484957.305	4221437.674	-7.28
18	485830.249	4222020.809	0.83	53	484776.298	4221573.869	1.41
19	485665.048	4222116.808	2.47	54	484683.710	4221568.840	1.34
20	485777.999	4221852.620	0.70	55	484727.991	4221419.972	2.19
21	485580.526	4221937.866	-3.87	56	484707.863	4221291.221	1.14
22	485836.396	4222162.120	-1.00	57	484707.666	4221717.008	-0.60
23	485381.594	4221920.624	1.65	58	484819.978	4221728.620	-0.41
24	485383.882	4221783.426	5.23	59	485013.616	4221604.754	-0.74
25	485528.022	4221755.985	-8.55	60	484992.592	4221733.044	1.53
26	485844.291	4221756.450	-0.85	61	485105.155	4221693.984	0.26
27	485748.412	4221701.314	0.07	62	485302.027	4221729.960	2.68
28	485836.410	4221587.761	4.63	63	485279.668	4221570.796	5.80
29	485668.950	4221585.791	1.17	64	485448.992	4221607.209	0.70
30	485580.250	4221554.577	4.28	65	485404.747	4221140.293	3.81
31	485719.076	4221439.474	2.94	66	484683.052	4221185.311	0.45
32	485537.636	4221414.744	5.39	67	484863.448	4221005.286	2.38
33	485371.042	4221446.892	2.64	68	485107.649	4221008.785	-0.16
34	485312.486	4221444.420	0.77				

Πίνακας 47 - Σημεία ελέγχου δεδομένων

(με κόκκινο παρουσιάζονται τα σημεία που δεν ανήκουν στο 2s)

No	X	Y	ΔΖ				
				41	485371.280	4221041.092	-1.01
1	484724.497	4222149.083	-0.49	42	485296.623	4221033.439	5.59
2	484712.532	4222034.538	3.33	43	485248.129	4221118.262	1.49
3	484708.125	4221891.671	1.46	44	485290.880	4221182.039	1.58
4	484828.394	4221882.859	3.08	45	485417.861	4221279.617	3.66
5	484833.432	4222037.685	10.04	46	485297.900	4221320.435	3.11
6	484975.742	4222032.650	0.43	47	485132.649	4221465.354	3.05
7	484985.817	4221877.825	3.19	48	485135.509	4221292.393	2.73
8	485115.521	4222152.820	0.42	49	485061.142	4221131.582	1.62
9	485114.514	4222022.917	2.26	50	484954.596	4221200.909	0.29
10	485279.743	4221908.120	-0.40	51	485028.856	4221337.310	-1.17
11	485188.792	4221833.862	1.50	52	484957.305	4221437.674	-7.28
12	485302.015	4222031.521	-0.06	53	484776.298	4221573.869	1.41
13	485272.914	4222165.572	4.65	54	484683.710	4221568.840	1.34
14	485424.745	4222160.513	0.38	55	484727.991	4221419.972	2.19
15	485452.166	4222084.190	0.41	56	484707.863	4221291.221	1.14
16	485558.244	4222155.207	-2.09	57	484707.666	4221717.008	-0.60
17	485599.737	4222016.201	4.96	58	484819.978	4221728.620	-0.41
18	485830.249	4222020.809	0.83	59	485013.616	4221604.754	-0.74
19	485665.048	4222116.808	2.47	60	484992.592	4221733.044	1.53
20	485777.999	4221852.620	0.70	61	485105.155	4221693.984	0.26
21	485580.526	4221937.866	-3.87	62	485302.027	4221729.960	2.68
22	485836.396	4222162.120	-1.00	63	485279.668	4221570.796	5.80
23	485381.594	4221920.624	1.65	64	485448.992	4221607.209	0.70
24	485383.882	4221783.426	5.23	65	485404.747	4221140.293	3.81
25	485528.022	4221755.985	-8.55	66	484683.052	4221185.311	0.45
26	485844.291	4221756.450	-0.85	67	484863.448	4221005.286	2.38
27	485748.412	4221701.314	0.07	68	485107.649	4221008.785	-0.16
28	485836.410	4221587.761	4.63	69	487315.989	4222416.251	1.67
29	485668.950	4221585.791	1.17	70	487520.542	4222453.125	1.40
30	485580.250	4221554.577	4.28	71	487507.011	4222287.456	-0.42
31	485719.076	4221439.474	2.94	72	487500.013	4222131.446	0.56
32	485537.636	4221414.744	5.39	73	487370.368	4222236.019	2.62
33	485371.042	4221446.892	2.64	74	487259.645	4222104.897	6.56
34	485312.486	4221444.420	0.77	75	485762.893	4223873.572	-0.76
35	485559.184	4221266.704	0.53	76	485643.685	4223860.033	3.43
36	485789.145	4221281.206	1.22	77	485773.278	4223580.161	6.15
37	485667.998	4221179.696	3.20	78	485676.771	4223734.673	3.34
38	485562.085	4221130.392	0.24	79	485614.170	4223634.969	11.19
39	485559.674	4221052.564	6.74	80	485389.427	4223724.077	0.72
40	485736.523	4221040.614	19.08	81	485216.722	4223718.655	3.40

82	485332.040	4223577.071	-0.08	92	484890.693	4223876.283	0.51
83	485159.000	4223538.813	1.41	93	485017.621	4223781.327	4.09
84	485004.494	4223606.481	-0.08	94	485049.550	4223885.590	-0.79
85	484786.155	4223586.483	0.44	95	485145.077	4223921.532	-0.19
86	484905.011	4223544.156	1.36	96	485474.501	4223875.899	1.60
87	484402.857	4223535.186	-0.50	97	485456.252	4223701.705	1.47
88	484528.645	4223877.799	0.34	98	485792.114	4223747.575	2.84
89	484699.396	4223860.591	2.81	99	485510.973	4223453.237	8.05
90	484730.051	4223704.347	0.65	100	485745.985	4223464.065	1.63
91	484317.808	4223720.129	-0.07	101	484859.494	4223465.007	-0.07

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΤΙΣΜΑΤΩΝ ΕΙΚΟΝΑΣ

Πίνακας 48 - Κατηγοριοποίηση Κτισμάτων και Εμβαδά

ID	LAYER	AREA						
			41	ΚΑΚΩΣ	157.10	82	ΜΕΤΡΙΩΣ	219.06
1	ΚΑΚΩΣ	335.01	42	ΚΑΚΩΣ	129.51	83	ΜΕΤΡΙΩΣ	393.22
2	ΚΑΚΩΣ	158.19	43	ΚΑΚΩΣ	81.59	84	ΜΕΤΡΙΩΣ	182.64
3	ΚΑΚΩΣ	75.06	44	ΚΑΚΩΣ	90.60	85	ΜΕΤΡΙΩΣ	129.28
4	ΚΑΚΩΣ	65.65	45	ΚΑΚΩΣ	90.37	86	ΜΕΤΡΙΩΣ	174.84
5	ΚΑΚΩΣ	216.08	46	ΚΑΚΩΣ	128.24	87	ΜΕΤΡΙΩΣ	523.95
6	ΚΑΚΩΣ	164.57	47	ΚΑΚΩΣ	124.14	88	ΜΕΤΡΙΩΣ	427.07
7	ΚΑΚΩΣ	67.37	48	ΚΑΚΩΣ	91.48	89	ΜΕΤΡΙΩΣ	249.71
8	ΚΑΚΩΣ	218.69	49	ΚΑΚΩΣ	106.59	90	ΜΕΤΡΙΩΣ	213.15
9	ΚΑΚΩΣ	63.66	50	ΚΑΚΩΣ	21.46	91	ΜΕΤΡΙΩΣ	117.40
10	ΚΑΚΩΣ	95.42	51	ΚΑΚΩΣ	145.48	92	ΜΕΤΡΙΩΣ	393.98
11	ΚΑΚΩΣ	65.21	52	ΚΑΚΩΣ	188.57	93	ΜΕΤΡΙΩΣ	245.13
12	ΚΑΚΩΣ	106.99	53	ΚΑΚΩΣ	94.71	94	ΜΕΤΡΙΩΣ	192.51
13	ΚΑΚΩΣ	245.84	54	ΚΑΚΩΣ	97.35	95	ΜΕΤΡΙΩΣ	149.27
14	ΚΑΚΩΣ	154.60	55	ΚΑΚΩΣ	96.92	96	ΜΕΤΡΙΩΣ	358.41
15	ΚΑΚΩΣ	119.09	56	ΚΑΚΩΣ	173.53	97	ΜΕΤΡΙΩΣ	157.04
16	ΚΑΚΩΣ	145.53	57	ΚΑΚΩΣ	101.78	98	ΜΕΤΡΙΩΣ	1210.09
17	ΚΑΚΩΣ	85.14	58	ΚΑΚΩΣ	138.39	99	ΜΕΤΡΙΩΣ	68.49
18	ΚΑΚΩΣ	100.95	59	ΚΑΚΩΣ	164.41	100	ΜΕΤΡΙΩΣ	553.00
19	ΚΑΚΩΣ	96.08	60	ΚΑΚΩΣ	184.31	101	ΜΕΤΡΙΩΣ	410.19
20	ΚΑΚΩΣ	65.85	61	ΚΑΚΩΣ	410.19	102	ΜΕΤΡΙΩΣ	178.02
21	ΚΑΚΩΣ	570.87	62	ΚΑΚΩΣ	103.96	103	ΜΕΤΡΙΩΣ	324.97
22	ΚΑΚΩΣ	58.67	63	ΚΑΚΩΣ	154.02	104	ΜΕΤΡΙΩΣ	132.16
23	ΚΑΚΩΣ	102.85	64	ΚΑΚΩΣ	142.21	105	ΜΕΤΡΙΩΣ	377.89
24	ΚΑΚΩΣ	80.38	65	ΚΑΚΩΣ	142.00	106	ΜΕΤΡΙΩΣ	1159.08
25	ΚΑΚΩΣ	240.78	66	ΚΑΚΩΣ	138.85	107	ΜΕΤΡΙΩΣ	185.68
26	ΚΑΚΩΣ	216.19	67	ΚΑΚΩΣ	145.12	108	ΜΕΤΡΙΩΣ	100.59
27	ΚΑΚΩΣ	100.15	68	ΚΑΚΩΣ	106.69	109	ΜΕΤΡΙΩΣ	325.04
28	ΚΑΚΩΣ	131.55	69	ΚΑΚΩΣ	182.96	110	ΜΕΤΡΙΩΣ	116.51
29	ΚΑΚΩΣ	167.61	70	ΚΑΚΩΣ	233.52	111	ΜΕΤΡΙΩΣ	50.03
30	ΚΑΚΩΣ	110.24	71	ΚΑΚΩΣ	120.54	112	ΜΕΤΡΙΩΣ	412.60
31	ΚΑΚΩΣ	83.54	72	ΚΑΚΩΣ	93.35	113	ΜΕΤΡΙΩΣ	191.53
32	ΚΑΚΩΣ	123.48	73	ΚΑΚΩΣ	92.22	114	ΜΕΤΡΙΩΣ	115.52
33	ΚΑΚΩΣ	145.26	74	ΚΑΚΩΣ	150.19	115	ΜΕΤΡΙΩΣ	94.31
34	ΚΑΚΩΣ	227.10	75	ΚΑΚΩΣ	84.22	116	ΜΕΤΡΙΩΣ	107.99
35	ΚΑΚΩΣ	76.88	76	ΚΑΚΩΣ	58.04	117	ΚΑΛΩΣ	250.05
36	ΚΑΚΩΣ	132.20	77	ΚΑΚΩΣ	139.28	118	ΚΑΛΩΣ	52.88
37	ΚΑΚΩΣ	86.36	78	ΚΑΚΩΣ	160.60	119	ΚΑΛΩΣ	91.23
38	ΚΑΚΩΣ	74.61	79	ΚΑΚΩΣ	265.62	120	ΚΑΛΩΣ	114.06
39	ΚΑΚΩΣ	199.21	80	ΚΑΚΩΣ	101.24	121	ΚΑΛΩΣ	81.94
40	ΚΑΚΩΣ	65.50	81	ΜΕΤΡΙΩΣ	100.62	122	ΚΑΛΩΣ	553.71

123	ΚΑΛΩΣ	110.20	167	ΚΑΛΩΣ	292.57	211	ΚΑΛΩΣ	46.07
124	ΚΑΛΩΣ	88.19	168	ΚΑΛΩΣ	191.68	212	ΚΑΛΩΣ	131.12
125	ΚΑΛΩΣ	88.01	169	ΚΑΛΩΣ	172.92	213	ΚΑΛΩΣ	213.13
126	ΚΑΛΩΣ	85.52	170	ΚΑΛΩΣ	148.98	214	ΚΑΛΩΣ	136.91
127	ΚΑΛΩΣ	38.37	171	ΚΑΛΩΣ	109.50	215	ΚΑΛΩΣ	172.76
128	ΚΑΛΩΣ	138.85	172	ΚΑΛΩΣ	440.70	216	ΚΑΛΩΣ	216.24
129	ΚΑΛΩΣ	331.14	173	ΚΑΛΩΣ	263.96	217	ΚΑΛΩΣ	187.60
130	ΚΑΛΩΣ	36.11	174	ΚΑΛΩΣ	127.15	218	ΚΑΛΩΣ	98.02
131	ΚΑΛΩΣ	121.11	175	ΚΑΛΩΣ	1620.60	219	ΚΑΛΩΣ	118.50
132	ΚΑΛΩΣ	184.50	176	ΚΑΛΩΣ	3767.79	220	ΚΑΛΩΣ	660.55
133	ΚΑΛΩΣ	283.43	177	ΚΑΛΩΣ	287.37	221	ΚΑΛΩΣ	18.19
134	ΚΑΛΩΣ	1711.25	178	ΚΑΛΩΣ	180.07	222	ΚΑΛΩΣ	56.76
135	ΚΑΛΩΣ	159.95	179	ΚΑΛΩΣ	1106.73	223	ΚΑΛΩΣ	311.95
136	ΚΑΛΩΣ	90.41	180	ΚΑΛΩΣ	256.38	224	ΚΑΛΩΣ	118.80
137	ΚΑΛΩΣ	269.01	181	ΚΑΛΩΣ	81.84	225	ΚΑΛΩΣ	231.12
138	ΚΑΛΩΣ	247.68	182	ΚΑΛΩΣ	167.14	226	ΚΑΛΩΣ	120.22
139	ΚΑΛΩΣ	171.30	183	ΚΑΛΩΣ	150.58	227	ΚΑΛΩΣ	52.65
140	ΚΑΛΩΣ	176.28	184	ΚΑΛΩΣ	183.09	228	ΚΑΛΩΣ	152.39
141	ΚΑΛΩΣ	102.04	185	ΚΑΛΩΣ	197.58	229	ΚΑΛΩΣ	82.68
142	ΚΑΛΩΣ	172.61	186	ΚΑΛΩΣ	208.20	230	ΚΑΛΩΣ	82.66
143	ΚΑΛΩΣ	82.69	187	ΚΑΛΩΣ	79.83	231	ΚΑΛΩΣ	161.63
144	ΚΑΛΩΣ	119.04	188	ΚΑΛΩΣ	171.90	232	ΚΑΛΩΣ	81.62
145	ΚΑΛΩΣ	64.27	189	ΚΑΛΩΣ	208.61	233	ΚΑΛΩΣ	119.64
146	ΚΑΛΩΣ	159.70	190	ΚΑΛΩΣ	203.27	234	ΚΑΛΩΣ	139.19
147	ΚΑΛΩΣ	49.41	191	ΚΑΛΩΣ	262.54	235	ΚΑΛΩΣ	185.56
148	ΚΑΛΩΣ	81.37	192	ΚΑΛΩΣ	1549.66	236	ΚΑΛΩΣ	193.15
149	ΚΑΛΩΣ	89.76	193	ΚΑΛΩΣ	668.40	237	ΚΑΛΩΣ	129.63
150	ΚΑΛΩΣ	234.16	194	ΚΑΛΩΣ	228.74	238	ΚΑΛΩΣ	188.00
151	ΚΑΛΩΣ	117.60	195	ΚΑΛΩΣ	172.57	239	ΚΑΛΩΣ	113.12
152	ΚΑΛΩΣ	317.71	196	ΚΑΛΩΣ	272.43	240	ΚΑΛΩΣ	259.62
153	ΚΑΛΩΣ	112.73	197	ΚΑΛΩΣ	398.96	241	ΚΑΛΩΣ	256.65
154	ΚΑΛΩΣ	108.46	198	ΚΑΛΩΣ	282.71	242	ΚΑΛΩΣ	303.35
155	ΚΑΛΩΣ	135.85	199	ΚΑΛΩΣ	224.06	243	ΚΑΛΩΣ	574.84
156	ΚΑΛΩΣ	488.56	200	ΚΑΛΩΣ	210.27	244	ΚΑΛΩΣ	35.30
157	ΚΑΛΩΣ	135.24	201	ΚΑΛΩΣ	248.97	245	ΚΑΛΩΣ	73.07
158	ΚΑΛΩΣ	187.78	202	ΚΑΛΩΣ	680.91	246	ΚΑΛΩΣ	189.13
159	ΚΑΛΩΣ	114.65	203	ΚΑΛΩΣ	186.73	247	ΚΑΛΩΣ	149.95
160	ΚΑΛΩΣ	309.21	204	ΚΑΛΩΣ	262.23	248	ΚΑΛΩΣ	124.35
161	ΚΑΛΩΣ	239.62	205	ΚΑΛΩΣ	399.27	249	ΚΑΛΩΣ	176.17
162	ΚΑΛΩΣ	196.49	206	ΚΑΛΩΣ	134.42	250	ΚΑΛΩΣ	151.01
163	ΚΑΛΩΣ	60.73	207	ΚΑΛΩΣ	219.50	251	ΚΑΛΩΣ	141.91
164	ΚΑΛΩΣ	88.63	208	ΚΑΛΩΣ	60.55	252	ΚΑΛΩΣ	190.67
165	ΚΑΛΩΣ	3418.17	209	ΚΑΛΩΣ	116.53	253	ΚΑΛΩΣ	43.23
166	ΚΑΛΩΣ	124.85	210	ΚΑΛΩΣ	41.07	254	ΚΑΛΩΣ	80.50

255	ΚΑΛΩΣ	186.98	299	ΚΑΛΩΣ	247.67	343	ΚΑΛΩΣ	259.33
256	ΚΑΛΩΣ	249.43	300	ΚΑΛΩΣ	242.16	344	ΚΑΛΩΣ	175.67
257	ΚΑΛΩΣ	499.99	301	ΚΑΛΩΣ	233.70	345	ΚΑΛΩΣ	449.28
258	ΚΑΛΩΣ	92.20	302	ΚΑΛΩΣ	102.11	346	ΚΑΛΩΣ	112.85
259	ΚΑΛΩΣ	37.73	303	ΚΑΛΩΣ	105.95	347	ΚΑΛΩΣ	191.60
260	ΚΑΛΩΣ	205.77	304	ΚΑΛΩΣ	245.52	348	ΚΑΛΩΣ	117.26
261	ΚΑΛΩΣ	167.28	305	ΚΑΛΩΣ	243.21	349	ΚΑΛΩΣ	316.78
262	ΚΑΛΩΣ	358.90	306	ΚΑΛΩΣ	150.89	350	ΚΑΛΩΣ	136.37
263	ΚΑΛΩΣ	243.66	307	ΚΑΛΩΣ	171.93	351	ΚΑΛΩΣ	147.65
264	ΚΑΛΩΣ	86.91	308	ΚΑΛΩΣ	360.04	352	ΚΑΛΩΣ	467.48
265	ΚΑΛΩΣ	171.66	309	ΚΑΛΩΣ	136.85	353	ΚΑΛΩΣ	130.43
266	ΚΑΛΩΣ	86.41	310	ΚΑΛΩΣ	107.41	354	ΚΑΛΩΣ	836.79
267	ΚΑΛΩΣ	63.20	311	ΚΑΛΩΣ	341.13	355	ΚΑΛΩΣ	2903.03
268	ΚΑΛΩΣ	64.63	312	ΚΑΛΩΣ	140.46	356	ΚΑΛΩΣ	411.35
269	ΚΑΛΩΣ	68.43	313	ΚΑΛΩΣ	97.23	357	ΚΑΛΩΣ	1899.31
270	ΚΑΛΩΣ	86.19	314	ΚΑΛΩΣ	109.99	358	ΚΑΛΩΣ	2681.53
271	ΚΑΛΩΣ	93.12	315	ΚΑΛΩΣ	89.52	359	ΚΑΛΩΣ	3762.44
272	ΚΑΛΩΣ	198.93	316	ΚΑΛΩΣ	303.65	360	ΚΑΛΩΣ	1803.43
273	ΚΑΛΩΣ	167.57	317	ΚΑΛΩΣ	294.74	361	ΚΑΛΩΣ	1081.00
274	ΚΑΛΩΣ	3659.90	318	ΚΑΛΩΣ	227.64	362	ΚΑΛΩΣ	181.16
275	ΚΑΛΩΣ	298.59	319	ΚΑΛΩΣ	208.30	363	ΚΑΛΩΣ	532.52
276	ΚΑΛΩΣ	219.46	320	ΚΑΛΩΣ	253.45	364	ΚΑΛΩΣ	6044.65
277	ΚΑΛΩΣ	4112.50	321	ΚΑΛΩΣ	140.30	365	ΚΑΛΩΣ	2154.52
278	ΚΑΛΩΣ	2625.12	322	ΚΑΛΩΣ	85.46	366	ΚΑΛΩΣ	2678.35
279	ΚΑΛΩΣ	749.14	323	ΚΑΛΩΣ	114.49	367	ΚΑΛΩΣ	182.81
280	ΚΑΛΩΣ	169.96	324	ΚΑΛΩΣ	77.80	368	ΚΑΛΩΣ	237.42
281	ΚΑΛΩΣ	420.90	325	ΚΑΛΩΣ	168.65	369	ΚΑΛΩΣ	22.54
282	ΚΑΛΩΣ	144.90	326	ΚΑΛΩΣ	65.19	370	ΚΑΛΩΣ	37.52
283	ΚΑΛΩΣ	76.66	327	ΚΑΛΩΣ	113.81	371	ΚΑΛΩΣ	127.58
284	ΚΑΛΩΣ	178.82	328	ΚΑΛΩΣ	192.96	372	ΚΑΛΩΣ	193.82
285	ΚΑΛΩΣ	164.27	329	ΚΑΛΩΣ	187.92	373	ΚΑΛΩΣ	584.03
286	ΚΑΛΩΣ	173.35	330	ΚΑΛΩΣ	169.16	374	ΚΑΛΩΣ	152.24
287	ΚΑΛΩΣ	145.22	331	ΚΑΛΩΣ	170.32	375	ΚΑΛΩΣ	69.16
288	ΚΑΛΩΣ	104.01	332	ΚΑΛΩΣ	129.60	376	ΚΑΛΩΣ	86.44
289	ΚΑΛΩΣ	303.17	333	ΚΑΛΩΣ	78.18	377	ΚΑΛΩΣ	78.03
290	ΚΑΛΩΣ	173.36	334	ΚΑΛΩΣ	168.47	378	ΚΑΛΩΣ	139.51
291	ΚΑΛΩΣ	86.82	335	ΚΑΛΩΣ	172.98	379	ΚΑΛΩΣ	145.94
292	ΚΑΛΩΣ	211.29	336	ΚΑΛΩΣ	230.39	380	ΚΑΛΩΣ	214.11
293	ΚΑΛΩΣ	256.01	337	ΚΑΛΩΣ	156.42	381	ΚΑΛΩΣ	210.51
294	ΚΑΛΩΣ	306.61	338	ΚΑΛΩΣ	143.79	382	ΚΑΛΩΣ	330.46
295	ΚΑΛΩΣ	224.39	339	ΚΑΛΩΣ	103.39	383	ΚΑΛΩΣ	96.50
296	ΚΑΛΩΣ	117.26	340	ΚΑΛΩΣ	138.13	384	ΚΑΛΩΣ	176.48
297	ΚΑΛΩΣ	160.94	341	ΚΑΛΩΣ	443.87	385	ΚΑΛΩΣ	68.16
298	ΚΑΛΩΣ	111.54	342	ΚΑΛΩΣ	238.26	386	ΚΑΛΩΣ	165.84

387	ΚΑΛΩΣ	210.98	409	ΚΑΛΩΣ	1694.64	431	ΚΑΛΩΣ	100.34
388	ΚΑΛΩΣ	371.96	410	ΚΑΛΩΣ	49.41	432	ΚΑΛΩΣ	273.38
389	ΚΑΛΩΣ	347.56	411	ΚΑΛΩΣ	835.08	433	ΚΑΛΩΣ	178.85
390	ΚΑΛΩΣ	340.26	412	ΚΑΛΩΣ	1862.04	434	ΚΑΛΩΣ	220.05
391	ΚΑΛΩΣ	106.26	413	ΚΑΛΩΣ	2953.28	435	ΚΑΛΩΣ	221.21
392	ΚΑΛΩΣ	206.91	414	ΚΑΛΩΣ	2047.56	436	ΚΑΛΩΣ	152.99
393	ΚΑΛΩΣ	161.49	415	ΚΑΛΩΣ	3094.93	437	ΚΑΛΩΣ	249.32
394	ΚΑΛΩΣ	73.80	416	ΚΑΛΩΣ	7872.05	438	ΚΑΛΩΣ	293.43
395	ΚΑΛΩΣ	308.35	417	ΚΑΛΩΣ	6702.73	439	ΚΑΛΩΣ	175.12
396	ΚΑΛΩΣ	145.24	418	ΚΑΛΩΣ	414.38	440	ΚΑΛΩΣ	180.93
397	ΚΑΛΩΣ	278.04	419	ΚΑΛΩΣ	1748.69	441	ΚΑΛΩΣ	189.62
398	ΚΑΛΩΣ	129.17	420	ΚΑΛΩΣ	2790.48	442	ΚΑΛΩΣ	181.88
399	ΚΑΛΩΣ	252.08	421	ΚΑΛΩΣ	2829.17	443	ΚΑΛΩΣ	128.17
400	ΚΑΛΩΣ	271.09	422	ΚΑΛΩΣ	2831.07	444	ΚΑΛΩΣ	68.50
401	ΚΑΛΩΣ	283.30	423	ΚΑΛΩΣ	3909.32	445	ΚΑΛΩΣ	76.11
402	ΚΑΛΩΣ	208.83	424	ΚΑΛΩΣ	85.23	446	ΚΑΛΩΣ	97.89
403	ΚΑΛΩΣ	778.86	425	ΚΑΛΩΣ	119.76	447	ΚΑΛΩΣ	55.98
404	ΚΑΛΩΣ	166.32	426	ΚΑΛΩΣ	29.92	448	ΚΑΛΩΣ	235.25
405	ΚΑΛΩΣ	2898.53	427	ΚΑΛΩΣ	107.40	449	ΚΑΛΩΣ	169.05
406	ΚΑΛΩΣ	118.15	428	ΚΑΛΩΣ	150.01	450	ΚΑΛΩΣ	252.81
407	ΚΑΛΩΣ	611.82	429	ΚΑΛΩΣ	174.04			
408	ΚΑΛΩΣ	1234.87	430	ΚΑΛΩΣ	95.52			

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΗΛΙΔΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ

Πίνακας 49 - Πλήθος κηλίδων ανά μέγεθος με εφαρμογή ΔΗ και NDVI

Μέγεθος Κηλίδας (pixel)	Πλήθος Κηλίδων		
1	111	38	2
2	50	39	6
3	34	40	1
4	31	42	1
5	14	43	2
6	14	44	1
7	18	46	4
8	15	47	4
9	16	48	2
10	11	49	1
11	16	50	3
12	11	52	3
13	7	53	2
14	6	55	1
15	6	56	1
16	9	57	2
17	8	59	2
18	10	60	1
19	2	61	3
20	5	62	1
21	3	64	1
22	6	65	2
23	7	66	1
24	11	67	1
25	5	69	1
26	3	71	1
27	5	73	2
28	5	76	1
29	6	77	2
30	3	79	1
31	6	80	1
32	5	81	2
33	8	85	1
34	2	88	1
35	6	91	1
36	3	92	1
37	2	93	2
		96	1
		97	1

99	1
100	1
101	1
103	1
107	1
118	1
119	1
120	1
121	1
140	1
141	1
142	2
148	1
155	1
156	1
172	1
174	1
187	2
193	1
197	1
225	1
269	1
298	1
318	1

335	1
352	1
355	1
372	1
381	1
394	1
428	1
474	1
487	1
556	1
574	1
582	1
624	1
688	1
692	1
708	1
748	1
836	1
1621	1
1727	1
1849	1
1882	1
2316	1
2363	1

Πίνακας 50 - Πλήθος κηλίδων ανά μέγεθος μετά την εφαρμογή του μορφολογικού φίλτρου

Μέγεθος Κηλίδας (pixel)	Πλήθος Κηλίδων				
2	36	40	1	119	1
3	2	41	1	121	1
4	22	43	1	139	1
5	14	44	1	141	2
6	13	45	1	142	1
7	16	46	3	145	1
8	18	47	4	155	2
9	12	48	3	172	1
10	14	49	2	174	1
11	13	50	3	182	1
12	8	52	1	187	2
13	6	53	2	197	1
14	6	55	1	225	1
15	7	56	2	261	1
16	9	57	2	268	1
17	8	59	2	298	1
18	10	60	2	335	1
19	3	61	3	348	1
20	4	64	1	353	1
21	3	65	2	368	1
22	6	66	2	380	1
23	9	67	1	393	1
24	11	70	1	427	1
25	4	73	2	474	1
26	1	76	1	487	1
27	4	77	3	556	1
28	6	80	1	572	1
29	5	81	3	582	1
30	4	88	1	624	1
31	6	91	1	685	1
32	5	92	2	690	1
33	8	93	1	706	1
34	2	94	1	748	1
35	5	97	1	836	1
36	3	99	1	1613	1
37	2	100	1	1721	1
38	2	101	1	1847	1
39	7	102	1	1879	1
		106	1	2311	1
		114	1	2355	1
		118	1		

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1 - Σχηματική απεικόνιση του IFOV	16
Εικόνα 2 - Η χωρική διακριτική ικανότητα σε δέκτες διαφορετικής εδαφοψηφίδας (πηγή: http://www.satimagingcorp.com/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems.html)	17
Εικόνα 3 - Η φασματική διακριτική ικανότητα των δεκτών ASTER και Landsat εδαφοψηφίδας (πηγή: http://www.satimagingcorp.com/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems.html)	18
Εικόνα 4 - Η χρονική διακριτική ικανότητα του δορυφορικού δέκτη IKONOS (πηγή: http://www.satimagingcorp.com/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems.html).....	19
Εικόνα 5 - Ψηφιακή μηχανή ADS-80	23
Εικόνα 6 - Αρχή λειτουργίας ADS-80	23
Εικόνα 7 - Συνεχής σάρωση «σκούπας» (Γεωργόπουλος, Σημειώσεις μαθήματος Φωτογραμμετρίας Ι, 2004)	24
Εικόνα 8 - Διαφορές προβολής ADS-40 και απλής αναλογικής μηχανής(Γεωργόπουλος, Σημειώσεις μαθήματος Φωτογραμμετρίας Ι, 2004)	24
Εικόνα 10 - Μορφή δεδομένων από το σύστημα ψηφιακής καταγραφή UltraCam ..	25
Εικόνα 9 - Η Ultracam	25
Εικόνα 11 - Η ψηφιακή μηχανή Α/Φ DMC της Z/I.....	25
Εικόνα 12 - Ο αερομεταφερόμενος πολυφασματικός δέκτης AVIRIS (http://aviris.jpl.nasa.gov/).....	26
Εικόνα 13 - line scanner	28
Εικόνα 14 - whiskbroom scanner.....	28
Εικόνα 15 - pushbroom scanner	28
Εικόνα 16 - Η κίνηση του δέκτη γύρω από την Γη.....	30
Εικόνα 17 - Ο δορυφορικός δέκτης WorldView (http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-1.html)	33
Εικόνα 18 - Ο δορυφορικός δέκτης QuickBird (http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/quickbird.html)	35
Εικόνα 19 - Ο δορυφορικός δέκτης IKONOS (http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos.html).....	36

Εικόνα 20	-	Τρόπος λήψης στερεοζεύγους	(http://www.satimagingcorp.com/svc/ikonos-stereo-satellite-images.html).....	36
Εικόνα 21	-	Ο δορυφορικός δέκτης GeoEye-1	(http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/geoeye-1.html)	38
Εικόνα 22	-	Ο δορυφορικός δέκτης SPOT-5	.....	40
Εικόνα 23	-	Κατά πλάτος κάλυψη	.....	40
Εικόνα 24	-	Συνεχείς απεικονίσεις	.....	40
Εικόνα 25	-	Στερεοσκοπικές απεικονίσεις	.....	40
Εικόνα 26	-	Ο δορυφορικός δέκτης ASTER	(http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/aster.html)	42
Εικόνα 27	-	Γραφική παράσταση της αρχής λειτουργίας του αλγορίθμου του παραλληλεπιπέδου (Αργιαλάς Δ. Π. (1998), Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση)	.....	49
Εικόνα 28	-	Γραφική παράσταση της αρχής λειτουργίας του αλγορίθμου της ελάχιστης απόστασης παραλληλεπιπέδου (Αργιαλάς Δ. Π. (1998), Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση)	.....	50
Εικόνα 29	-	Γραφική παράσταση της αρχής λειτουργίας του αλγορίθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας παραλληλεπιπέδου (Αργιαλάς Δ. Π. (1998), Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση)	.....	51
Εικόνα 30	-	Σταδιακή απεικόνιση των σταδίων του αλγορίθμου ISODATA (Αργιαλάς Δ. Π. (1998), Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση)	.....	55
Εικόνα 31	-	Διαφορές DSM - DTM	.....	58
Εικόνα 32	-	Η σημασία του βήματος του κανάβου στα DEM	.....	63
Εικόνα 33	-	Δίτιμη εικόνα που περιέχει δύο αντικείμενα (κτίσματα) Α και Β (http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html)	.....	69
Εικόνα 34	-	Εφαρμογή της διαστολής στην εικόνα βάσης (http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html)	.....	70
Εικόνα 35	-	Εφαρμογή της συστολής στην εικόνα βάσης (http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html)	.....	71
Εικόνα 36	-	Στοιχείο δόμησης N4 (http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html)	.....	72
Εικόνα 37	-	Στοιχείο δόμησης N8 (http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html)	.....	72
Εικόνα 38	-	Αποτέλεσμα διαστολής με χρήση N4 (http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html)	.....	72
Εικόνα 39	-	Αποτέλεσμα διαστολής με χρήση N8 (http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html)	.....	72
Εικόνα 40	-	Αρχική εικόνα Α	.....	74

Εικόνα 41 - Ανοικτότητα με 2B	74
Εικόνα 42 - Διαστολή με 2B	74
Εικόνα 43 - Κλειστότητα με 2B	74
Εικόνα 44 - Συστολή με 2B.....	74
Εικόνα 45 - Hit-or-miss με B_1 και B_2	74
Εικόνα 46 - Διαδικασία σκελετοποίησης (Τσούλος, Λ. (2005), Σημειώσεις μαθήματος Ψηφιακής Χαρτογραφίας)	75
Εικόνα 47 - Τοπικές παράγωγοι.....	76
Εικόνα 48 - Τελεστές Sobel	78
Εικόνα 49 - Το λαπλασιανό φίλτρο.....	79
Εικόνα 50 - Φίλτρο Sobel	80
Εικόνα 51 - Φίλτρο Prewitt	80
Εικόνα 52 - Περιοχή ανίχνευσης.....	81
Εικόνα 53 - Μάσκα.....	81
Εικόνα 54 - Παράδειγμα μάσκας κτίσματος.....	82
Εικόνα 55 - Αρχή λειτουργίας.....	83
Εικόνα 56 - Διάγραμμα Ροής	85
Εικόνα 57 - Επίπεδο ανίχνευσης ενός DTM	88
Εικόνα 58 - Επίπεδο ανίχνευσης ενός DSM.....	88
Εικόνα 59 - Μη εντοπίσιμο κτίσμα	95
Εικόνα 60 - Τμήμα περιοχής μελέτης	95
Εικόνα 61 - Επιφάνεια κάλυψης ορθοφωτογραφίας & χαρτών ΓΥΣ.....	105
Εικόνα 62 - Περιβάλλον εργασίας COORD_GR	108
Εικόνα 63 - Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων και μεθόδου παρεμβολής στο Surfer	111
Εικόνα 64 - Γραφική απεικόνιση λειτουργίας μεθόδου Kriging (http://en.wikipedia.org/wiki/Kriging)	111
Εικόνα 65 - Μοντελοποίηση Ανάγλυφου χάρτη για οπτικό έλεγχο (Στάδιο πρώτης εφαρμογής για έλεγχο εντοπισμού σφαλμάτων)	112
Εικόνα 66 - Μοντελοποίηση Ανάγλυφου χάρτη μετά την διόρθωση χονδροειδών σφαλμάτων.....	113
Εικόνα 67 - Μοντελοποίηση Ανάγλυφου DSM	113
Εικόνα 68 - Καμπύλη Συχνοτήτων	117
Εικόνα 69 - Θέση DTM σε σχέση με το DSM	122

Εικόνα 70 - Ομαδοποίηση Κτισμάτων με Κατωφλίωση στα 2 m	124
Εικόνα 71 - Ομαδοποίηση Κτισμάτων με Κατωφλίωση στα 3 m	124
Εικόνα 72 - Ομαδοποίηση Κτισμάτων με Κατωφλίωση στα 4 m	125
Εικόνα 73 - Ομαδοποίηση Κτισμάτων με Κατωφλίωση στα 5 m	125
Εικόνα 74 - Μεταβολή εντοπισμού κατηγορίας εδάφους σε σχέση με το σημείο κατωφλίωσης.....	127
Εικόνα 75 - Στοχευμένη Ομαδοποίηση στις υψομετρικές διαφορές -2,2,23	128
Εικόνα 76 - Στοχευμένη Ομαδοποίηση στις υψομετρικές διαφορές -3,3,23	128
Εικόνα 77 - Ταξινόμηση 2 κατηγοριών	130
Εικόνα 78 - Ταξινόμηση 3 κατηγοριών	130
Εικόνα 79 - Ταξινόμηση 4 κατηγοριών	131
Εικόνα 80 - Ταξινόμηση 5 κατηγοριών	131
Εικόνα 81 - Ταξινόμηση 6 κατηγοριών	132
Εικόνα 82 - Εφαρμογή NDVI με κατώφλι στη τιμή 0.1 (62% βλάστηση)	135
Εικόνα 83 - Εφαρμογή NDVI με κατώφλι στη τιμή 0 (73% βλάστηση)	135
Εικόνα 84 - Σύνθεση κριτηρίων υψομετρικής διαφοράς (ΔZ) και NDVI	137
Εικόνα 85 - Μάσκα σύγκρισης (κτίσματα περιοχής μελέτης)	139
Εικόνα 86 - Επίθεση κτισμάτων - Αποτελέσματος διαδικασίας	146
Εικόνα 87 - Εντοπισμός Κτισμάτων	147
Εικόνα 88 - Σχεδιαστική απεικόνιση της επίδρασης της ανασύστασης του DEM....	153
Εικόνα 89 - Διαδικασία εντοπισμού ενός κτίσματος βάση του ΔH	155

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1 - Πλεονεκτήματα & μειονεκτήματα RF	32
Πίνακας 2 - WorldView-1 Satellite Sensor Characteristics (http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-1.html)	34
Πίνακας 3 - QuickBird Satellite Sensor Characteristics(http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/quickbird.html)	35
Πίνακας 4 - IKONOS Satellite Sensor Characteristics(http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos.html)	37
Πίνακας 5 - GeoEye-1 Satellite Sensor Characteristics (http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/geoeye-1.html)	39
Πίνακας 6 - SPOT-5 Satellite System: Sensor Characteristics (http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/spot-5.html)	41
Πίνακας 7 - ASTER Satellite System Sensor Characteristics (http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/aster.html)	42
Πίνακας 8 - Χωρική διακριτική ικανότητα δορυφορικών συστημάτων.....	43
Πίνακας 9 - Βασικά Χαρακτηριστικά Δορυφορικών Δεκτών.....	44
Πίνακας 10 - Παράμετροι Τροχιάς.....	44
Πίνακας 11 - Πλεονεκτήματα & μειονεκτήματα παρεμβολής επιφανείας	59
Πίνακας 12 - Μέθοδοι τοπικής παρεμβολής.....	60
Πίνακας 13 - Πλεονεκτήματα & μειονεκτήματα πηγών υψομετρικής πληροφορίας	65
Πίνακας 14 - Αντίστοιχος πίνακας επιλογής	95
Πίνακας 15 - Κλώνος Πάνω-Αριστερά (NE) θέσης.....	96
Πίνακας 16 - Σχέση μητρικού με κλώνο NE (T or F)	96
Πίνακας 17 - Σχέση μητρικού με κλώνο NE (0 ή 1).....	96
Πίνακας 18 - Άθροισμα κλώνων	97
Πίνακας 19 - Αποτελέσματα μετατροπής από HATT σε ΕΓΣΑ87	108
Πίνακας 20 - Σημεία ελέγχου.....	115
Πίνακας 21 - Υψομετρικές διαφορές σημείων ελέγχου.....	116
Πίνακας 22 - Υψομετρικές διαφορές σημείων ελέγχου 2σ.....	117
Πίνακας 23 - Στατιστικά στοιχεία σημείων ελέγχου	118
Πίνακας 24 - Συντεταγμένες Σημείων Ελέγχου στον Χάρτη (HATT).....	119
Πίνακας 25 - Συντεταγμένες Σημείων Ελέγχου στον Χάρτη (ΕΓΣΑ87).....	119

Πίνακας 26 - Συντεταγμένες Σημείων Ελέγχου στην Ορθοφωτογραφία (ΕΓΣΑ87)...	120
Πίνακας 27 - Διαφορές Συντεταγμένων Σημείων Ελέγχου Χάρτη-Ορθοφωτογραφίας (ΕΓΣΑ87)	120
Πίνακας 28 - Κατωφλίωση στα 2 m	126
Πίνακας 29 - Κατωφλίωση στα 3 m	126
Πίνακας 30 - Κατωφλίωση στα 4 m	126
Πίνακας 31 - Κατωφλίωση στα 5 m	126
Πίνακας 32 - Στοχευμένη Ομαδοποίηση στις υψομετρικές διαφορές -2 m / 2 m / 23 m	129
Πίνακας 33 - Στοχευμένη Ομαδοποίηση στις υψομετρικές διαφορές -3 m / 3 m / 23 m	129
Πίνακας 34 - Ταξινόμηση 2 κατηγοριών.....	132
Πίνακας 35 - Ταξινόμηση 3 κατηγοριών.....	132
Πίνακας 36 - Ταξινόμηση 4 κατηγοριών.....	133
Πίνακας 37 - Ταξινόμηση 5 κατηγοριών.....	133
Πίνακας 38 - Ταξινόμηση 6 κατηγοριών.....	133
Πίνακας 39 - Διακύμανση Ποσοστών Επιτυχίας κατά την αλλαγή υψομέτρου βάσης	140
Πίνακας 40 - Διαφοροποίηση Ποσοστών Εντοπισμού σε σχέση με τις τιμές του NDVI	142
Πίνακας 41 - Στατιστικά Επιτυχίας με την χρήση ή όχι Μορφολογικού Φίλτρου (3 m)	144
Πίνακας 42 - Στατιστικά Επιτυχίας με την χρήση ή όχι Μορφολογικού Φίλτρου (4 m)	144
Πίνακας 43 - Κατηγοριοποίηση και εμβαδά κτισμάτων περιοχής μελέτης.....	148
Πίνακας 44 - Στατιστικά Αποτελεσμάτων ανά Κτίσμα	148
Πίνακας 45 - Πλήθος κηλίδων εντοπισμού ανά περίπτωση	149
Πίνακας 46 – Σημεία ελέγχου περιοχής μελέτης	177
Πίνακας 47 - Σημεία ελέγχου δεδομένων	178
Πίνακας 48 - Κατηγοριοποίηση Κτισμάτων και Εμβαδά.....	180
Πίνακας 49 - Πλήθος κηλίδων ανά μέγεθος με εφαρμογή ΔΗ και NDVI.....	184
Πίνακας 50 - Πλήθος κηλίδων ανά μέγεθος μετά την εφαρμογή του μορφολογικού φίλτρου	186

Ευρετήριο Γραφημάτων

Γράφημα 1- Διακύμανση ποσοστού επιτυχίας σε σχέση με το υψόμετρο κατωφλίωσης.....	141
Γράφημα 2 - Διαφοροποίηση Ποσοστών Εντοπισμού σε σχέση με τις τιμές του NDVI (3 m).....	143
Γράφημα 3 - Διαφοροποίηση Ποσοστών Εντοπισμού σε σχέση με τις τιμές του NDVI (4 m).....	143
Γράφημα 4 - Διαφοροποίηση Ποσοστών Εντοπισμού σε σχέση με τις τιμές του NDVI (5 m).....	144
Γράφημα 5 - Διακύμανση Ποσοστού Επιτυχίας σε σχέση με το μορφολογικό κριτήριο	145

Βιβλιογραφία

- Balsavias, E., Mason, S., & Stallmann, D., 2001, Use of DTMs/DSMs and Orthoimages to Support Building Extration.
- Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., & Heynen, M., 2003, Multi-resolutio, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information.
- Boyle, R., & Thomas, R. ,1988, Computer Vision: A First Course. pp. 48 - 50: Oxford: Blackwell Scientific.
- Davies, E., 1990, *Machine Vision: Theory, Algorithms and Practicalies, Chap. 5*. Morgan Kaufmann.
- Forsyth, D. A., & Ponce, J., 2003, *Computer Vision: A Modern Approach*. Prentice Hall.
- Georgopoulos, A., & Valanis, A., 2006, Resttution Automation for Close-Range Applications.
- Gerke, M., Heipke, C. B., & Straub, M., 2000, Building Extration From Aerial Imagery Using a Generic Scene Model and Invariant Geometric Moments.
- Gonzalez, R., & Woods, R., 1992, Digital Image Processing, Prentice- Hall.
- Guo, T., & Yasuoka, Y., 2001, Snake-based approach for building extration fron high-resolution satellite images and height data in urbal areas.
- Huertas, A., & Nevatia, R., 2003, Detecting Changes in Aerial Views of Man-Made Structures.
- Junk, F., 2003, Detecting building change from multitemporal aerial stereopairs.
- Kraus, K., 2001, *Φωτογραμμετρία, Τόμος 1 (Μετάφραση), Τεχνικό Επαγγελματικό Επιμελητήριο*.
- Pratt, W. K., 2001, *Digital Image Processing, Third Edition*. Wiley-Interscience Publication, John Wiley & SONS, Inc.
- Psaltis, C., & Ioannidis, C., 2008, Simple Method for Cost-Effective Informal Building Monitoring.
- Psaltis, C., & Ioannidis, C., 2008, Towards a strategy for control of suburban informal buildings through automatic change detection.
- Robinson, A. H., Morrison, J. L., Muehrcke, P. C., Kimerling, J. A., & Guptill, S. C., 2004, *Στοιχεία Χαρτογραφίας*.
- Schenk, T., 1999, *Digital Photogrammetry*.
- Soudani, K., Francois, C., Maire, G. I., Dantec, V. L., & Dufrene, E., 2006, Comparative analysis of IKONOS, SPOT, and ETM+ data for leaf area index estimation in temperate coniferous and deciduous forest stands.

- Vernon, D., 1991, *Machine Vision, Chap. 5*.
- Zimmermann, P., 2000, A new framework for automatic building detection analysing multiple cue data.
- Αργιαλάς, Δ. Π., 1998, *Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση*.
- Γεωργόπουλος, Α., 2004, Σημειώσεις μαθήματος Φωτογραμμετρίας Ι.
- Γεωργόπουλος, Α., 1998, *Ψηφιακή Φωτογραμμετρία*.
- Ιωαννίδης, Χ., 2005, Συμπληρωματικές Σημειώσεις μαθήματος Φωτογραμμετρία ΙΙ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.
- Ιωαννίδης, Χ., 2005, Φωτογραμμετρία ΙΙ: Συμπληρωματικές σημειώσεις και διαφάνειες από τις παραδόσεις.
- Καραθανάση, Β., 2003, *Ραδιομετρία - Μικροκυματική Τηλεπισκόπηση*.
- Καρράς, Γ., Πέτσα, Έ., & Βραδής, Χ., 1998, *Στοιχεία Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας (The Fundamentals of Digital Photogrammetry)*.
- Κατσουγιαννόπουλος, Σ., 2003, Μεθοδολογίες παρεμβολής σε DTM. *Απόσπασμα από διάλεξη*.
- Κομπατσιάρης, Γ., 2006, *Ανάλυση και περιγραφή πληροφορίας*. Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεματικής, Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης.
- Πατιάς, Π., 1991, *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*.
- Πότσιου, Χ. Α., 2005, *Το Κτηματολόγιο και η Διοίκηση Γης στην Περιοχή της Ευρώπης – Νέες Τάσεις και Βασικές Αρχές*.
- Τσούλος, Λ., 2006, *Σημειώσεις μαθήματος Ψηφιακής Χαρτογραφίας*.

Αναφορές σε Ιστοσελίδες

<http://aviris.jpl.nasa.gov/>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Kriging>

<http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.html>

<http://www.satimagingcorp.com/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems.html>

<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/aster.html>

<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/geoeye-1.html>

<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos.html>

<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/quickbird.html>

<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/spot-5.html>

<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-1.html>

<http://www.satimagingcorp.com/svc/ikonos-stereo-satellite-images.html>

[www.leica-](http://www.leica-geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=7183)

[geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=7183](http://www.leica-geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=7183)