

**ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ**

**ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑΣ –  
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ**

**Κ. Γ. ΠΕΡΑΚΗΣ**  
**2004**

**ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup>**

**ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΜΕΡΟΣ 1ο : ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ</b>	<b>3</b>
<b>1. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑΣ</b>	<b>3</b>
1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ-ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	3
1.2 ΒΑΣΙΚΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΩΣ ΜΕΣΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ	4
1.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	5
1.3.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΚΑΘΕΤΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΛΑΓΙΑ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	6
1.3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΛΑΓΙΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	7
1.3.3 ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΓΩΝΙΑ ΚΑΛΥΨΗΣ	7
1.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ	8
<b>2. ΛΗΨΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ</b>	<b>12</b>
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	12
2.2 ΠΡΟΪΘΕΣΕΙΣ ΛΗΨΗΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	13
2.3 ΕΚΛΟΓΗ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	14
2.4 ΟΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ	15
2.5 Η ΠΑΡΕΚΤΡΟΠΗ	17
2.6 ΣΧΕΔΙΟ ΠΤΗΣΗΣ	18
2.7 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΑΕΡΟΠΛΑΝΑ	18
<b>3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑΣ</b>	<b>20</b>
3.1 ΟΡΙΣΜΟΙ	20
3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΣΤΙΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	21
3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΛΛΑΞΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ	22
3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙ % ΚΛΙΣΗΣ	24
3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΑΠΟ ΜΙΑ ΜΟΝΟ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	25
<b>4. Η ΚΛΙΜΑΚΑ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>27</b>
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	27
4.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	27
<b>ΜΕΡΟΣ 2ο: ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ</b>	<b>31</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>31</b>
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	31
1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	32
1.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ	33
1.4 ΜΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	34
<b>2. ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ</b>	<b>36</b>
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	36
2.1.1 Η ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΓΗ	36
2.2 ΤΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	40
2.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ	40
2.2.2 ΟΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ	40
2.2.2α ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΟΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ	41
2.2.2β ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΠΟΛΙΚΩΝ ΤΡΟΧΙΩΝ	42
2.2.3 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ (ΠΛΟΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ) ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΓΗΣ	45
2.2.3α ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ LANDSAT	46

2.2.3β ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ SPOT	50
<b>3. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ</b>	<b>51</b>
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	51
3.2 ΠΗΓΕΣ, ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥΣ	51
3.2.1 ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΟΡΓΑΝΑ	51
3.2.2 ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΑ ΑΙΤΙΑ (Ατμόσφαιρα, Γήινη Επιφάνεια)	56
3.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ	59
3.3.1 ΠΗΓΕΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ (ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ)	59
3.3.2 ΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ	59
3.3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ	62
<b>ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ</b>	<b>63</b>
1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	63
2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΡΑΦΩΝ – ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ	65
3. ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ	67
<b>ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ</b>	<b>70</b>
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	70
2. ΜΗ ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ	72
2.1 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	72
2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΩΝ Κ-ΜΕΣΩΝ (K-MEANS) ΚΑΙ ISODATA	73
3. ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ	74
3.1 Η ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΜΕΣΟ	74
3.2 Η ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΕΠΙΠΕΔΩΝ	78
3.3 Η ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΦΑΝΕΙΑΣ	78
4. Η ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ	83
4.1 ΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑ – ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜ. ΠΕΡΙΟΧΩΝ	83
4.2 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ	84
5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΚΥΡΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	86
<b>ΜΕΡΟΣ 3ο: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ-ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ</b>	<b>88</b>
Α) ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΕΙΚΟΣΑΕΤΙΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ.	88
Β) ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	101

## **ΜΕΡΟΣ 1ο**

### **ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ**

#### **1. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑΣ**

##### **1.1. ΟΡΙΣΜΟΙ - ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ**

Φωτοερμηνεία είναι ο οπτικός προσδιορισμός της ταυτότητας των αντικειμένων στην επιφάνεια της γης, καθώς και η ανάλυση και κρίση της σημασίας τους από αεροφωτογραφίες.

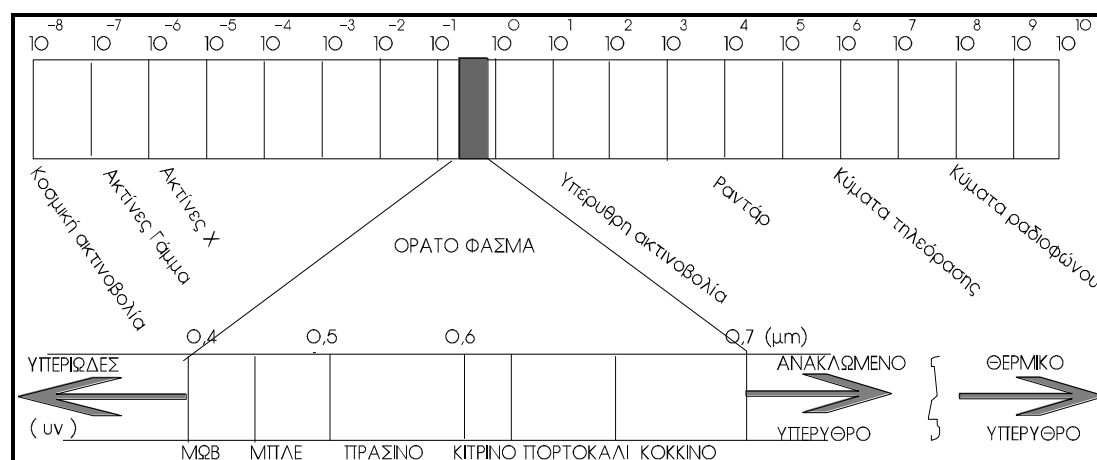
Η αποτύπωση για τον προσδιορισμό των αντικειμένων γίνεται με την βοήθεια ειδικών οργάνων, των τηλε-απεικονιστών (στους οποίους περιέχεται και η φωτογραφική μηχανή-camera) που χρειάζονται να απορροφήσουν κάποια ενέργεια για να παράγουν εικόνες.

Η κυριότερη πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος και η ενέργεια που δίνει είναι γνωστή σαν ηλεκτρομαγνητική. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια απεικονίζεται αναλόγως του μήκους κύματος που έχει σε κάποιο φάσμα. Το κομμάτι εκείνο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που είναι ορατό από το ανθρώπινο μάτι και δυνατό να καταγραφεί από τους τηλε-απεικονιστές λέγεται ορατό φάσμα. Εκτός από το οπτικό φάσμα και διάφορες άλλες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι γνωστές από διάφορες χρήσεις των κυμάτων (ακτινών) που περιέχουν.

Σχηματική κλίμακα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος δίνεται στο σχ. 1 ενώ του ορατού στο σχ. 2.

Σημειωτέο ότι το μήκος κύματος μετράται από μια κορυφή ενός κύματος εώς την επόμενη και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα λ.

ΣΧΗΜΑ 1



Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπίπτει σε μία επιφάνεια (στην περίπτωση μας στην επιφάνεια της γης) υπάρχει περίπτωση ένα μέρος της να ανακλαστεί, ένα άλλο να διαχυθεί και ένα άλλο να απορροφηθεί και να μεταδοθεί στη συνέχεια σ' ένα άλλο μέσο (περίπτωση του νερού).

Επειδή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ανιχνεύεται μόνον κατόπιν αντίδρασής της με οποιοδήποτε υλικό σώμα, οι τηλεοπτικοιστές δέχονται ηλεκτρομαγνητική ενέργεια η οποία δεν προέρχεται κατευθείαν από την πηγή της (ήλιος), αλλά κατόπιν ανάκλασης, διάχυσης και μετάδοσης, κατόπιν απορρόφησης σε άλλα υλικά μέσα (σύννεφα, καθαρή ατμόσφαιρα, επιφάνεια ξηράς, επιφάνεια νερού κ.α.).

Ανάκλαση λέμε τον λόγο της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ενέργεια, σε κάποιο αντικείμενο.

## 1.2. (ΒΑΣΙΚΑ) ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΩΣ ΜΕΣΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ

Τρία είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που καθιστούν την αεροφωτογραφία απαραίτητη στην παρατήρηση της γήινης επιφάνειας:

1ο. Η μεγάλη έκταση που παρουσιάζεται μέσω της αεροφωτογραφίας (π.χ. στην κλίμακα 1:20.000 περίπου εννέα τετραγωνικά μίλια).

2ο. Ο συνδυασμός ζευγών αεροφωτογραφιών μπορεί να μας δώσει τρισδιάστατη εικόνα της επιφάνειας της γης.

3ο. Οι αεροφωτογραφίες είναι ακριβείς και αξιόπιστες παρουσιάσεις της επιφάνειας της γης και των αντικειμένων που βρίσκονται σ' αυτή.

Δεν θα έπρεπε βέβαια να παραλείψουμε να αναφέρουμε την διαχρονικότητα των αεροφωτογραφιών ως μέσο παρατήρησης.

Πραγματικά, με τα μέσα που διαθέτουν η τεχνολογία και η επιστήμη σήμερα, δεν θα μπορούσε να υπάρξει ένα μέσο καταγραφής της επιφάνειας της γης συχνότερο και συστηματικότερο διαχρονικά. Η μόνη σύγκριση που είναι συνατόν να γίνει είναι με τις δορυφορικές εικόνες, αλλά σ' αυτές θα αναφερθούμε υστερότερα.

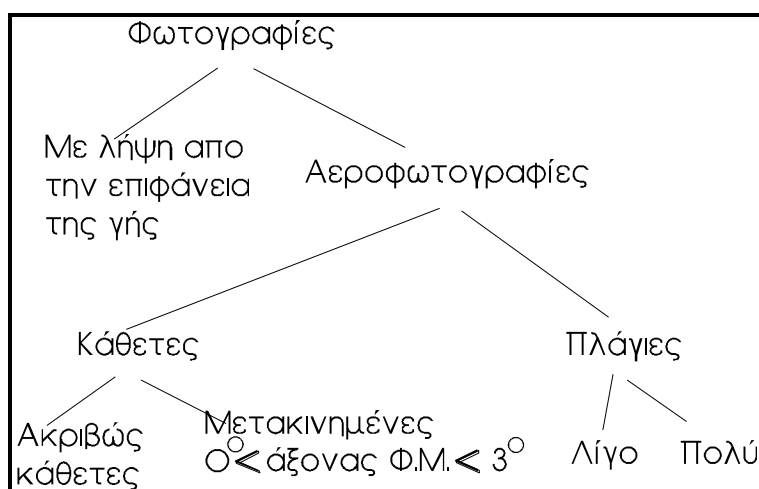
Τέλος, σα μειονέκτημα ίσως, θα έπρεπε να αναφερθούμε στο κόστος των αεροφωτογραφιών που και αυτό σε σχέση με την επιφάνεια-κάλυψη και τη συχνότητα κάλυψης που μας προσφέρουν, δεν είναι σχετικά μεγάλο.

### **1.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ**

Αν και ένα μεγάλο μέρος της φωτοερμηνείας πραγματοποιείται με κατακόρυφες αεροφωτογραφίες, ο ειδικός που ασχολείται με φωτοερμηνεία πρέπει να λαμβάνει υπόψη του και πλάγιες αεροφωτογραφίες για να σχηματίσει μια πολύπλευρη όψη του υπό εξέταση αντικειμένου.

Έτσι οι φωτογραφίες που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό και την εξέταση αντικειμένων στην επιφάνεια της γης μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με το σχήμα 2.

## ΣΧΗΜΑ 2



Στο σχήμα 2 πρέπει να προσθέσουμε ότι πλάγιες αεροφωτογραφίες έχουμε όταν ο άξονας της φωτογραφικής μηχανής βρίσκεται μεταξύ 3 και 90 από τον κατακόρυφο άξονα στην

επιφάνεια της γης. Οι πλάγιες πάλι αεροφωτογραφίες, χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες, στις λίγο πλάγιες και στις πολύ. Οι λίγο πλάγιες είναι εκείνες στις οποίες δεν φαίνεται ο ορίζοντας, ενώ αντίθετα στις πολύ φαίνεται. [βιβλιογρ. 1]

Δεύτερη ταξινόμηση είναι δυνατή και από το μέγεθος του φιλμ που χρησιμοποιείται στην ειδική φωτογραφική μηχανή για την λήψη αεροφωτογραφιών, αλλά δεν θα εξεταστεί εδώ.

### 1.3.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΚΑΘΕΤΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΛΑΓΙΑ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

- 1ο. Η κλίμακα είναι η ίδια περίπου σ' όλη την αεροφωτογραφία.
- 2ο. Ο προσδιορισμός διευθύνσεων είναι πιο εύκολος και είναι σχεδόν ο ίδιος μ' αυτόν που χρησιμοποιείται στους χάρτες και στην κάθετη αεροφωτογραφία.
- 3ο. Χωρίς περιορισμούς η κάθετη αεροφωτογραφία μπορεί να χρησιμοποιεί σαν υποκατάστατο χάρτη, προσθέτοντας ένα πλαίσιο και επί μέρους στοιχεία.
- 4ο. Δεν υπάρχει επικάλυψη αντικειμένων λόγω ύψους.



5ο. Η στερεοσκοπική μελέτη είναι ευκολότερη και πιο εφαρμόσιμη στην κάθετη αεροφωτογραφία.

### **1.3.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΛΑΓΙΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ**

1ο. Η έκταση της επιφάνειας της γης που περιέχεται σε μια πλάγια αεροφωτογραφία είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν στην κάθετη.

2ο. Σε υψηλές νεφώσεις η κάθετη αεροφωτογραφία είναι αδύνατη, ενώ η πλάγια πραγματοποιείται.

3ο. Η θέα της αεροφωτογραφίας είναι πιο φυσική γιατί ο άνθρωπος έχει κυρίως πλάγια αντίληψη της επιφάνειας της γης.

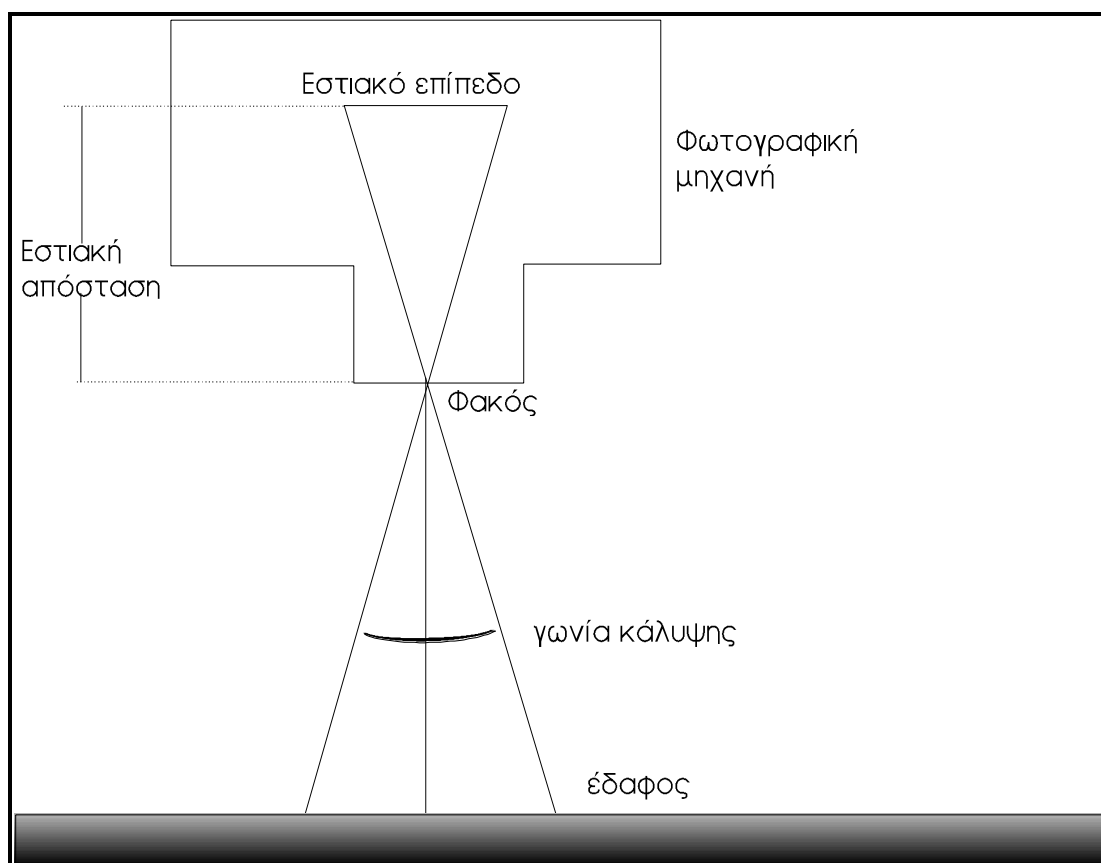
4ο. Είναι δυνατή η θέα των αντισειμένων κάτω από άλλα. Π.χ. κάτω από υπόστεγα, κάτω από δέντρα, κλπ.

### **1.3.3. ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΓΩΝΙΑ ΚΑΛΥΨΗΣ**

Εκτός από την ποιότητα των φακών, σημαντικό για τις φωτογραφικές μηχανές που χρησιμοποιούνται στην αεροφωτογραφία είναι το μήκος της εστιακής απόστασης. Αυτό το μήκος ουσιαστικά ρυθμίζει και το άνοιγμα σε μοίρες της γωνίας κάλυψης της αεροφωτογραφίας.

Στο σχήμα 3 φαίνεται καθαρά η σχέση αυτή.

ΣΧΗΜΑ 3



Ενδεικτικά παρατίθεται μια ταξινόμηση που προτείνεται από τον D.P.Paine, στο βιβλίο του "An Introduction To Aerial Photography For Natural Resource Management", O.S.U. Bookstores Inc., 1973.

Ταξινόμηση	Εστιακή απόσταση	Γωνία κάλυψης
Φακός μικρού ανοίγματος	12inch. = 304.8mm	λιγότερο από 60°
Κανονικός φακός	8½inch = 209.5mm	60° έως 75°
Ευρυγώνιος φακός	6inch = 152.4mm	75° έως 100°
Σούπερ ευρυγώνιος φακός	3½inch = 88,9mm	>100°

#### 1.4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

Σίγουρα ελάχιστοι άνθρωποι είναι συνηθισμένοι να βλέπουν την επιφάνεια της γης κάθετα και από κάποιο ύψος που πλησιάζει το ύψος που πετούν τα αεροπλάνα για τις

αεροφωτογραφήσεις. Έτσι χρειάζεται ειδική προσοχή στην αναγνώριση και πολύ περισσότερο στην ερμηνεία της σχέσης) των αντικειμένων, αν όχι συγκεκριμένη γνώση και εμπειρία στο θέμα αυτό. Στην συνέχεια θα εκτεθούν μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά των αεροφωτογραφιών.

#### 1ο. Μέγεθος των αντικειμένων στην αεροφωτογραφία

Στο έδαφος υπάρχουν αντικείμενα τα οποία είναι σχετικά όμοια, με μόνη διαφορά το μέγεθος και τη χρήση τους. Έτσι, ένα σπιτάκι σκύλου, μια απλή μονοκατοικία ή και ένα μονο-μπλόκ εργοστάσιο, με ανάλογη σκεπή, στην αεροφωτογραφία μπορεί να διαφοροποιηθούν μόνο και μόνο από το μέγεθος. Μια από τις προϋποθέσεις σωστής εκτίμησης των αντικειμένων, είναι ο παρατηρητής, λαμβάνοντας υπ' όψη την κλίμακα της αεροφωτο- γραφίας, να γνωρίζει το σχετικό μέγεθος ορισμένων αντικειμένων. **[βιβλιογρ. 2]** Σε κλίμακα 1:20.000 π.χ. μια μεγάλη συγκέμτρωση σπιτιών είναι χωριό και όχι πόλη.

#### 2ο. Σχήμα των αντικειμένων

Το σχήμα των αντικειμένων στην κάτοψή τους από αεροφωτογραφία πολλές φορές είναι αρκετά διαφορετικό από το σχήμα που έχουμε στο νου μας, ειδικά όταν το σχήμα τους σε κάθετη όψη είναι αρκετά πιο περίπλοκο από ένα απλό σήμα, π.χ. ένα τετράγωνο, έναν κύκλο, κλπ. Έτσι έχει συμβεί στην πραγματικότητα, ακόμη και άνθρωποι που ασχολούνται με την φωτοερμηνεία, να μην αναγνωρίζουν στις αεροφωτογραφίες τις κατοικίες που διαμένουν.

Για κάθε κατηγορία αντικειμένων στο έδαφος, μία ή περισσότερες ιδιότητες (όπως εμφανίζεται στην αεροφωτογραφία) του σχήματος τους, τα διαχω- ρίζει από τα άλλα αντικείμενα. Π.χ. για τα δίκτυα συγκοινωνιών μιας χώρας, το στοιχείο διαχωρισμού μεταξύ των σιδηροδρομικών γραμμών και του οδικού δικτύου είναι στις επίσης πολύ ανοικτές καμπύλες, ενώ στο δεύτερο οι καμπύλες μπορεί να είναι αρκετά κλειστές. (Άσκηση: Πώς θα διαχωρίζατε τις παραπάνω κατηγορίες με την νέα εθνική οδό που κατασκευάζεται π.χ. το τμήμα Θεσσαλονίκης - Κατερίνης, που έχει 2 μεγάλα φύλλα απλής κατεύθυνσης;)

### 3ο. Σκιές των αντικειμένων

Η σκιά των αντικειμένων είναι αρκετές φορές ένα απαραίτητο χαρακτηριστικό-εργαλείο για την διαφοροποίηση ομάδων αντικειμένων. Ειδικά στις περιπτώσεις που το κοντράστ της αεροφωτογραφίας είναι χαμηλό, μερικά αντικείμενα αναγνωρίζονται μόνον από τις σκιές τους. Φυσικά, εδώ δε θα πρέπει να υπερβάλλουμε ως προς την χρησιμότητα των σκιών και να υπάρχει προσπάθεια πτήσης επάνω-κάτω 2 ώρες από το μεσημέρι του τόπου που θέλουμε να φωτογραφίσουμε.

Ειδικότερα χρήσιμες είναι οι σκιάσεις και ο εντοπισμός τους σε ανώ- μαλα εδάφη, όπου οι σκιάσεις μας δίνουν την εικόνα του αναγλύφου στην αεροφωτογραφία.

### 4ο. Τόνοι και χρώματα

Η αντίληψη μας για το περιβάλλον επηρεάζεται πάρα πολύ από τα χρώματα που υπάρχουν.

Στην ασπρόμαυρη φωτογραφία το διάφορα χρώματα δεν υπάρχουν παρά σαν τόνοι του γκρι. Έτσι πολλές φορές κάνουμε λάθος στην αντίληψη αντικειμένων λόγω της χρωματικής ιδιότητας που έχουμε στο νου μας. Π.χ. μια επιφάνεια νερού μπορεί να πάρει διάφορες αποχρώσεις του γκρι, ανάλογα με την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας και ανάλογα με τον βαθμό ανατάραξής της.

Ένας μεγάλος αυτοκινητόδρομος μπορεί, εάν είναι πολύ καλά ασφαλτο-ωστρωμένος (λείος) και παρ' όλο που στη δική μας αντίληψη είναι μαύρος, να φαίνεται σχεδόν λευκός στην αεροφωτογραφία λόγω της στιλπνότητας του. Επίσης τα πολύ φωτεινά αντικείμενα, όπως π.χ. μια μεταλλική σκεπή (τσίγκος) δεν είναι δυνατόν να διατηρήσουν τις διάφορες λεπτομέρειες που εμπεριέχουν στην αεροφωτογραφία.

Αλλά μια ακόμη γενικότερη δυσκολία είναι για τα αντικείμενα τα οποία, παρ' όλο που έχουν διαφορετικό χρώμα, δίνουν την ίδια απόχρωση του γκρι στην ασπρόμαυρη φωτογραφία. Ακόμα, είναι δύσκολο το ανθρώπινο μάτι να διακρίνει λεπτομέρειες σε πολύ κοντινούς τόνους, π.χ. διάφορα είδη κωνοφόρων δένδρων μέσα στο ίδιο δάσος.

Έτσι εάν το κόστος δεν είναι πολύ μεγάλο χρησιμοποιείται πανχρωματικό φιλμ για τις αεροφωτογραφίες, το οποίο είναι ευαίσθητο σ' όλα τα μήκη κύματος που το ανθρώπινο μάτι μπορεί να δει και καταγράφει τα διάφορα χρώματα σχεδόν με τον ίδιο

τρόπο μ' αυτό. Συνήθως χρησιμοποιείται αυτό το φιλμ με κάποιο φίλτρο του μπλε, που μειώνει την χρωματική σύγκλιση. **[βιβλιογρ.3]**

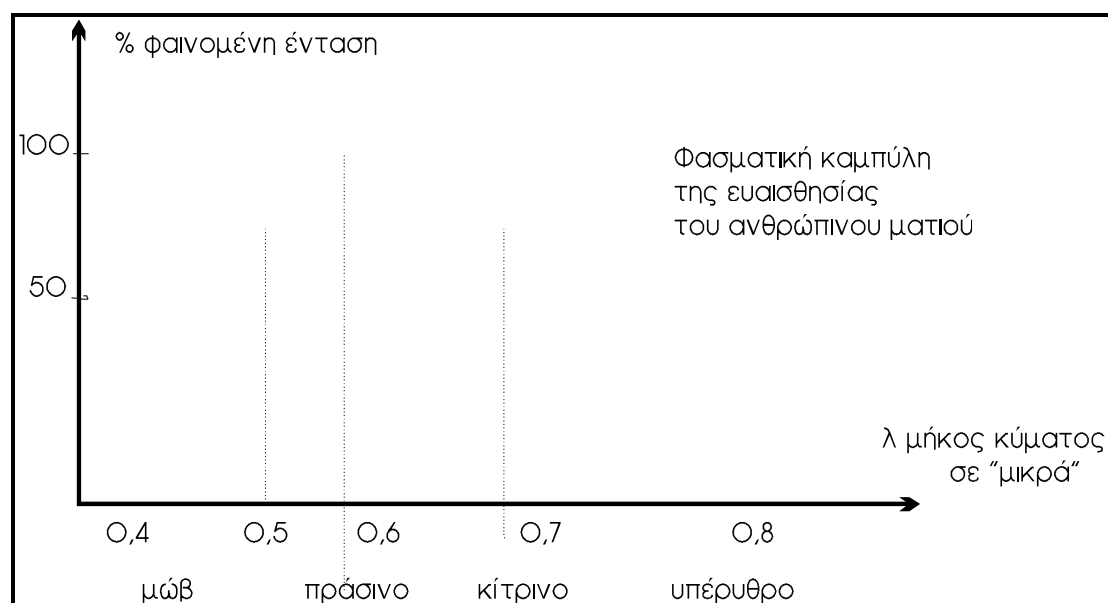
Για ειδικές ανάγκες τώρα, π.χ. στην γεωργία, ή ακόμη και στον στρατό, χρησιμοποιείται το υπέρυθρο φιλμ που είναι ευαίσθητο στην υπέρυθη ακτινοβολία και έχει σχέση με την θερμοκρασία των αντικειμένων.

Τέλος, δε θα έπρεπε να παραλείψουμε στο σημείο αυτό την ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού στα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στα διάφορα χρώματα.

#### **[βιβλιογρ. 4]**

Αυτή δίνεται από το σχήμα 4.

ΣΧΗΜΑ 4



#### 5ο. Υφή της αεροφωτογραφίας

Το χαρακτηριστικό αυτό στην αεροφωτογραφία συνίσταται στην εναλλαγή (συστηματική ή όχι) διαφόρων τονων και προσδιορίζει την ύπαρξη αντικειμένων τα οποία δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστούν αλλιώς. Φυσικά έχει άμεση σχέση με την κλίμακα της αεροφωτογραφίας. Π. χ. σε δύο ταυτόχρονες καλλιέργειες στο ίδιο αγρόκτημα (οπωροφόρα - δημητριακά) σε μεγάλη κλίμακα αεροφωτογραφίας, υποψιαζόμαστε την ύπαρξη των δύο καλλιεργειών, λόγω της υφής της περιοχής.

#### 6ο. Δομές (μορφών) στην αεροφωτογραφία

Ίσως ακόμα και ο λιγότερο σχετικός με την αεροφωτογραφία να μπορεί να αναγνωρίσει ένα πολεοδομικό συγκρότημα από μια άλλη κάλυψη της επιφάνειας της γης. Και αυτό γιατί η δομή των πόλεων είναι χαρακτηριστική, ασχέτως του τρόπου της ρυμοτομίας τους. Έτσι, ο γεωλόγος-γεωμορφολόγος γνωρίζει κάποιες δομές στην διάταξη των διαφόρων πετρωμάτων, ο γεωπόνος σε κάποιες καλλιέργειες, κλπ.

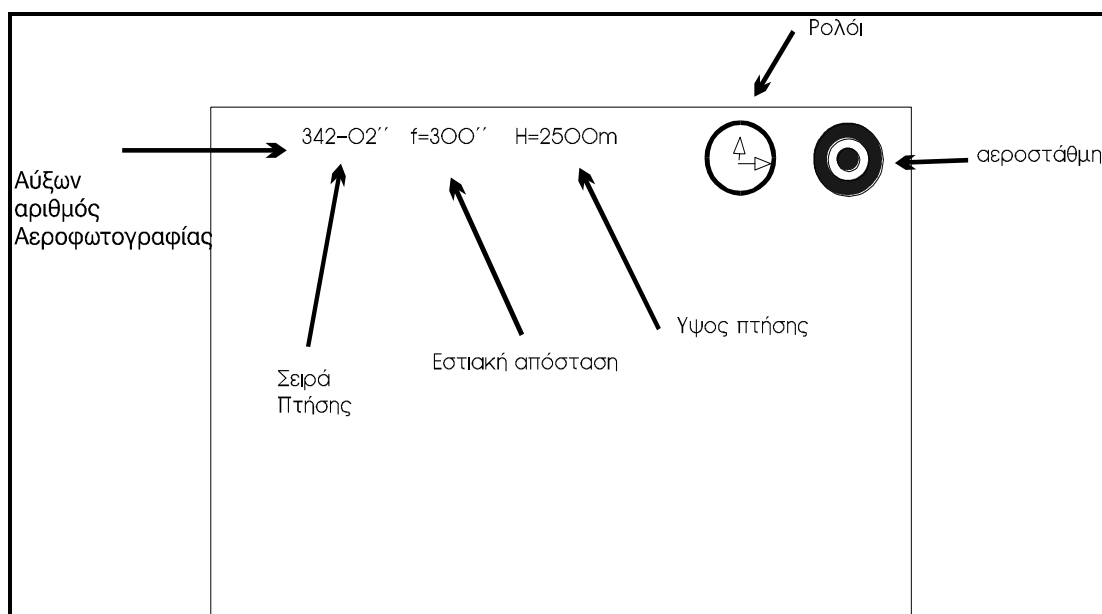
## **2. ΛΗΨΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ**

### **2.1. ΓΕΝΙΚΑ**

Οι περισσότερες αεροφωτογραφίες λαμβάνονται διαδοχικά κατά μήκος της πτήσης του αεροπλάνου, έτσι ώστε, εκτός από τις επικαλύψεις (κατά μήκος της διεύθυνσης πτήσης του αεροπλάνου ή πλευρικά μεταξύ γειτονικών σειρών πτήσεων) που είναι γνωστές εκ των προτέρων, να έχουν τυπωμένα επάνω τους μερικά στοιχεία πολύ χρήσιμα για τον χρήστη.

Στο σχήμα 5 δίνονται τα στοιχεία αυτά. **[βιβλιογρ. 2]**

ΣΧΗΜΑ 5



Τα φιλμ τα οποία χρησιμοποιούνται είναι διαφόρων ειδών αναλόγως των αναγκών και των δυνατοτήτων: ασπρόμαυρα, πανχρωματικά, υπέρυθρα, έγχρωμα και αρκετές φορές "ψευδοέγχρωμα".

Υπάρχουν διαφόρων τύπων φιλμ, αλλά συνήθως είναι σε ρολά από 50 έως 120m με πλάτος 19 ή 24cm. Διάφοροι τύποι αεροφωτογραφιών παράγονται έτσι: οι πιο συνηθισμένοι είναι 23cm x 23cm, 18cm x 18cm και οι πιο σπάνιοι 13cm x 13cm 13cm x 18cm, 18cm x 24cm, 30cm x 30cm.

## 2.2. ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΛΗΨΗΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Τρεις τουλάχιστον βασικές προϋποθέσεις πρέπει να πληρεί ο φακός (σε συνδυασμό με τη φωτ. μηχανή) για να είναι δυνατές οι χαρτογραφικές εφαρμογές.

### [βιβλιογρ.4]

1ο Εξαπλωμένο πεδίο λήψης: Έτσι ο αριθμός των φωτογραφιών και σα συνέπεια και το κόστος λήψης, μειώνεται.

2ο Ικανοποιητική καθαρότητα των φωτογραφιών (είναι ο λόγος φωτεινότητας στην φωτογραφία προς την φωτεινότητα του αντίστοιχου αντικειμένου) έτσι ώστε να έχουμε χρόνους έκθεσης του φιλμ μικρούς, κατά συνέπεια μεγαλύτερες ταχύτητες του αεροπλάνου, μικρότερους χρόνους πτήσης και συνεπώς μικρότερο κόστος.

3ο Σφάλματα όπως αστιγματικά, καμπύλωση πεδίου, στρέβλωση πεδίου, δυνατό χρωματισμού, μειωμένα έτσι ώστε να μην έχουμε χάσιμο στις λεπτομέρειες.

Γι' αυτό χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά ευρυγώνιοι φακοί, που έχουν όμως και αυτοί ελαττώματα, όπως μεγάλα ποσοστά νεκρών γωνιών (στρεβλώσεις στις γωνίες) και μείωση του φωτισμού στα άκρα των φωτογραφιών. Βέβαια, η σύγχρονη τεχνολογία κάνει άλματα και έτσι ολοένα και μεγαλύτερες διορθώσεις επιτυγχάνονται και σ' αυτού του είδους τους φακούς.

### **2.3. ΕΚΛΟΓΗ ΚΛΙΜΑΚΑΣ**

Η κλίμακα της αεροφωτογραφίας εκλέγεται όσο το δυνατό πιο μικρή έτσι ώστε να μειωθεί στο ελάχιστο δυνατό ο αριθμός των αεροφωτογραφιών που χρειάζονται για να καλύψουν την υπό μελέτη περιοχή και άρα και το κόστος πτήσης. Βέβαια, χρειάζεται προσοχή για να μην χαθούν βασικές λεπτομέρειες της επιφάνειας του εδάφους.

Για τοπογραφικές ανάγκες, δύο βασικά σημεία πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα:

1ο Ο προσδιορισμός των απαραίτητων λεπτομερειών στον χάρτη που θα δημιουργηθεί από τις αεροφωτογραφίες.

2ο Η υψομετρική ακρίβεια που συνήθως είναι μεγαλύτερη απ' ότι 0,2mm που θεωρείται συνήθως.

Έτσι για παράδειγμα, για να κατασκευαστεί ένας χάρτης 1/25.000, μια εκλογή κλίμακας αεροφωτογραφιών 1/40.000 δίνει ένα πιθανό λάθος 0,80m για την χάραξη των ισουψών (που είναι αρκετά ικανοποιητικό) αλλά χάνει στον προσδιορισμό των

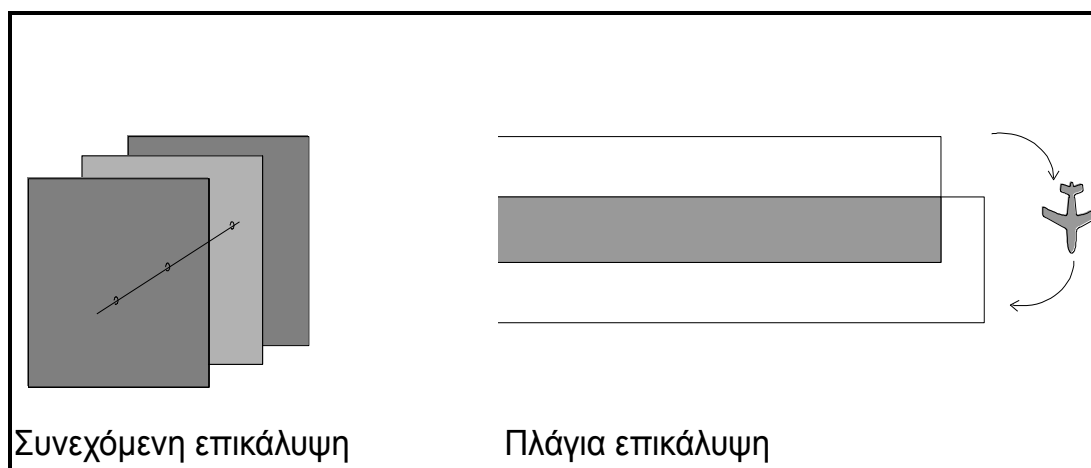


λεπτομερειών, έτσι ώστε είμαστε αναγκασμένοι να διαθέσουμε και φωτογραφίες κλίμακας 1/25.000.

## 2.4. ΟΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ

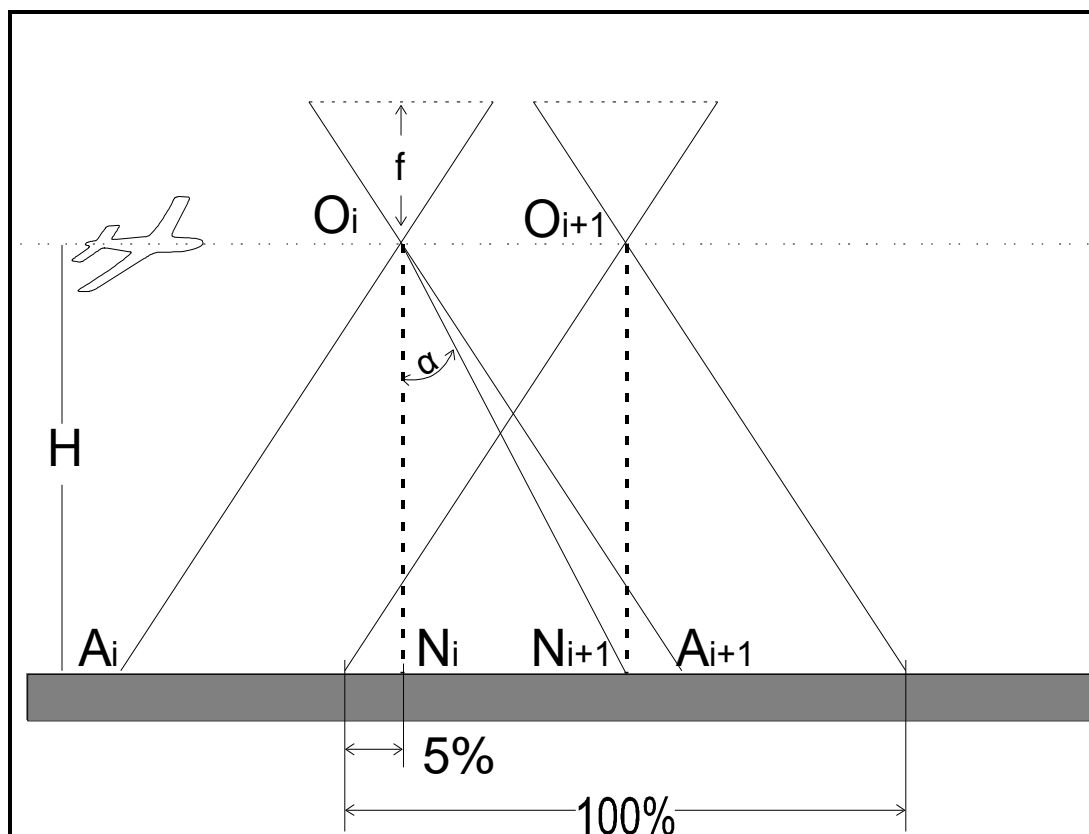
Παρ' όλο το κόστος πτήσης, για τις ανάγκες της στερεοσκοπικής παρατήρησης των αεροφωτογραφιών (στην οποία απαιτούνται ζεύγη αεροφωτογραφιών) είναι αναγκαίες οι επικαλύψεις των αεροφωτογραφιών τόσο κατά μήκος μιας σειράς πτήσης, όσο και μεταξύ δύο γειτονικών σειρών πτήσης. Έτσι και όπως φαίνεται στο σχ.6 στην ίδια σειρά πτήσης έχουμε τουλάχιστον 50% επικάλυψη, ενώ σε διαδοχικές σειρές τουλάχιστον 10%.

ΣΧΗΜΑ 6



Είναι δυνατόν να βρεθεί, αν το έδαφος είναι ικανοποιητικά οριζόντιο και το ύψος της πτήσης σταθερό, το διάστημα του χρόνου μεταξύ των λήψεων δύο διαδοχικών φωτογραφιών. Αυτό φαίνεται στο σχ.7, όπου  $H$  το ύψος της πτήσης,  $f$  η εστιακή απόσταση της φωτογραφικής μηχανής και  $O_i O_{i+1}$  το διάστημα (στην ευθεία πτήσης) που ορίζεται μεταξύ δύο διαδοχικών πτήσεων.

ΣΧΗΜΑ 7



Ισχύει η σχέση  $OO_{i+1} = NN_{i+1} = 45/100 (A_iA_{i+1})$  (1)

και από όμοια τρίγωνα  $A_iA_{i+1}/H = L/f$  άρα η σχέση (1) γίνεται :

$$OO_{i+1} = 45/100 L (H/f)$$

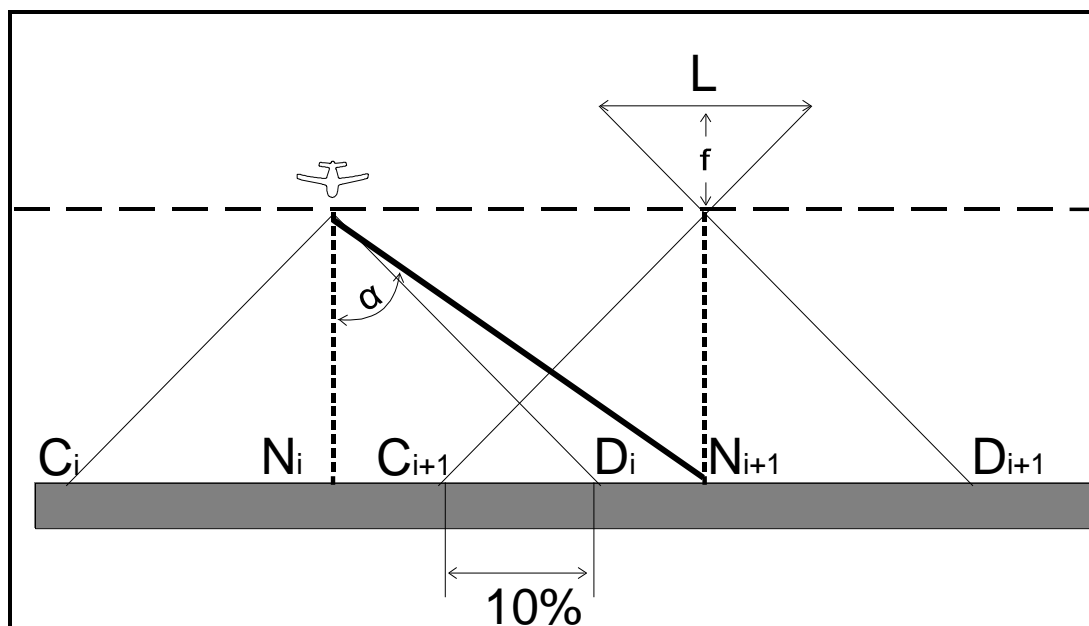
όπου  $L$  είναι η διάσταση της (τετράγωνης) φωτογραφικής πλάκας που είναι παράλληλη προς την διεύθυνση της πτήσης.

Αν τώρα ονομάσουμε  $t$  το χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών λήψεων συναρτήσει γνωστών μεγεθών εάν θεωρήσουμε ότι η ταχύτητα  $V$  του αεροπλάνου είναι σταθερή, δηλ.  $t = OO_{i+1}/V$

Για παράδειγμα, για μια κλίμακα  $1/25.000$  και φωτογραφίες  $18 \times 18 \text{cm}$  βρίσκουμε για μια ταχύτητα αεροπλάνου  $300 \text{ Km/h}$ , χρόνο  $t = 24,3 \text{sec}$  μεταξύ δύο διαδοχικών λήψεων.

Με το ίδιο σκεπτικό, το διάστημα (μήκος) μεταξύ των διευθύνσεων δύο γειτονικών σειρών πτήσεων του αεροπλάνου δίνεται σχηματικά στο σχ.8.

ΣΧΗΜΑ 8



Έτσι η απόσταση  $N_i N_{i+1} = 90/100(C_i D_i)$  και από όμοια τρίγωνα

$$C_i D_i / H = 1/f \text{ άρα θα έχουμε } N_i N_{i+1} = 9/10 H (1/f)$$

όπου  $l$  το πλάτος των φωτογραφιών.

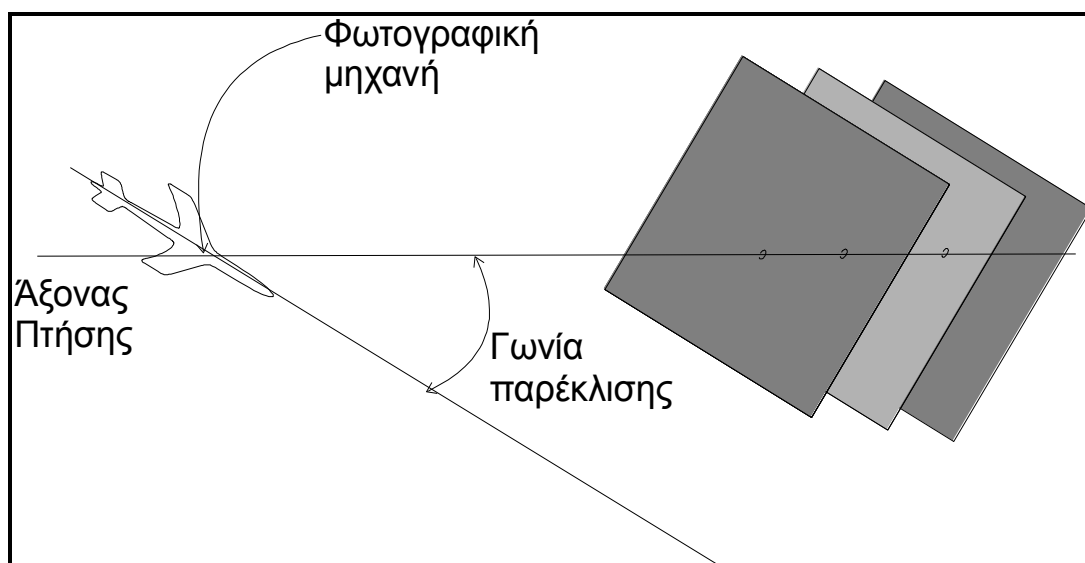
Για παράδειγμα, για φωτογραφίες 18x18cm σε κλίμακα 1/20.000 οι δύο σειρές λήψης φωτογραφιών πρέπει να γίνονται σε απόσταση

## 2.5. Η ΠΑΡΕΚΤΡΟΠΗ

Ο άνεμος τροποποιεί την ευθεία διεύθυνση του αεροπλάνου του οποίου, έτσι, ο κατά μήκος άξονας σχηματίζει μια ορισμένη γωνία με την πραγματική πορεία του, που την ονομάζουμε γωνία παρεκτροπής ή παρέκλισης. (Σχημα 9)

Έτσι, για να αποφύγουμε να έχουμε φωτογραφίες συνεχόμενες με κλιμακωτή διάταξη, τροποποιούμε την τοποθέτηση της φωτογραφικής μηχανής, έτσι ώστε ο άξονας της μηχανής να στραφεί κατά γωνία αντίθετη της γωνίας παρέκλισης.

ΣΧΗΜΑ 9



## 2.6. ΣΧΕΔΙΟ ΠΤΗΣΗΣ

Αφού εκλεγεί η κατάλληλη κλίμακα  $l_0$  κάλυψης για ένα ορισμένο υψόμετρο  $z$  (δηλ. για ένα επίπεδο κάλυψης σε υψόμετρο  $z$ ), το σχετικό ύψος πτήσης ορίζεται από την σχέση  $H_0 = f/e_0$  και το απόλυτο είναι  $H = (f/e_0) + z_0$ .

Η επικάλυψη θα πρέπει να είναι ικανοποιητική για το μέγιστο δυνατό ύψος πτήσης. Έτσι βρίσκουμε το διαστήμα μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων φωτογράφισης στην ίδια σειρά πτήσης και ακόμα την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πτήσεων.

## 2.7. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΑΕΡΟΠΛΑΝΑ

Μερικά χαρακτηριστικά του αεροπλάνου είναι απαραίτητα, ώστε να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα στις αεροφωτογραφίες.

1ο Μεγάλα δυνατά ύψη πτήσης για αεροφωτογραφίες σε μικρές κλίμακες (οπότε αναγκαστικά οι θάλαμοι του αεροπλάνου είναι υπό πίεση).

2ο Μεγάλη σταθερότητα πτήσης, ειδικά σε χαμηλές πτήσεις και ελάχιστες δυνατές δονήσεις.

3ο Δυνατότητες μεγάλης διαφοράς στις ταχύτητες πτήσης: μικρή ταχύτητα για μεγάλες κλίμακες και το αντίθετο, έτσι ώστε να μειώνεται ο χρόνος πτήσης και να εκμεταλλευόμαστε το περισσότερο δυνατό τις κατάλληλες ατμοσφαιρικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, καθαρότητα, κλπ.).

4ο Μεγάλη αυτονομία πτήσεων.

5ο Δυνατότητα περισσότερων ανοιγμάτων στο κέλυφος του αεροπλάνου, έτσι ώστε να εγκαθίστανται περισσότερες φωτογραφικές μηχανές που φωτογραφίζουν ταυτόχρονα, αλλά με φιλμ με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Έτσι, επειδή είναι αρκετά δύσκολο στον ίδιο οργανισμό να διαθέτει αεροπλάνα με όλες αυτές τις δυνατότητες, χρησιμοποιούνται διάφορων τύπων αεροπλάνα, όπως με έλικες για χαμηλές πτήσεις και συνεπώς για μεγάλες κλίμακες και με αντιδραστήρες για ψηλές πτήσεις.

### 3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑΣ

#### 3.1. ΟΡΙΣΜΟΙ

Η τέχνη της στερεοσκοπίας συνίσταται στην χρήση της διοφθαλμικής όρασης, ώστε να βλέπουμε (από αεροφωτογραφίες) τρισδιάστατα αντικείμενα.

Ένα στερεοσκοπικό ζεύγος αεροφωτογραφιών (στερεο-ζεύγος) αποτελείται από δύο συνεχόμενες, επικαλυπτόμενες φωτογραφίες που έχουν παρθεί στην ίδια ευθεία πτήσης.

Εάν κόψουμε κατάλληλα την μια από τις δύο φωτογραφίες του στερεοσκοπικού ζεύγους και την τοποθετήσουμε δίπλα στην άλλη, ώστε να μπορούμε να δούμε στερεοσκοπικά, λέμε ότι έχουμε ένα στερεόγραμμα.

Για να πάρουμε μια στερεοσκοπική εικόνα, χρησιμοποιούμε το στερεοσκόπιο, που είναι ένα διοφθαλμικό οπτικό όργανο, που με την κατάλληλη τοποθέτηση αεροφωτογραφιών, μας δημιουργεί την νοητή εντύπωση μιας τρισδιάστατης εικόνας.

Υπάρχουν το απλό, με φακούς, στερεοσκόπιο, το στερεοσκόπιο με καθρέφτες, το στερεοσκόπιο σάρωσης με καθρέπτες και το μεγενθυντικό στερεοσκόπιο.

Εκτός από τα στερεοσκόπια, θα έπρεπε να αναφέρουμε και μερικά άλλα όργανα παρατήρησης των αεροφωτογραφιών.

Ο απλός μεγενθυντικός φακός είναι πολύ χρήσιμος για λεπτομέρειες.

Το τραπέζι με φωτισμό έχει ένα ορισμένο βάθος και στην επάνω πλευρά του ένα γαλακτόχροο γυαλί που από κάτω έχει δυνατό φως.

Το εμβαδόμετρο είναι ένα όργανο μέτρησης του εμβαδού περιοχών στην αεροφωτογραφία, σε διάφορες μονάδες μέτρησης εμβαδού.

Το εικονοσκόπιο χρωματικής επεξεργασίας εικόνας (additive color viewer) χρησιμεύει για την ταυτόχρονη παρατήρηση τεσσάρων θετικών φιλμς που έχουν αποτυπώσει την υπό μελέτη περιοχή τέσσερις περιοχές του οπτικού φάσματος.

Οι στερεοσκοπικοί κανόνες μέτρησης της παράλλαξης (βλ. παρακάτω) χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του ύψους αντικειμένων ή φυσιογραφικών σχηματισμών, με στερεοζεύγος φωτογραφιών και στερεοσκόπιο.

### 3.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΣΤΙΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

Υπάρχουν μερικά σημεία σε κάθε αεροφωτογραφία (ή σε κάθε στερεο- οζεύγος) τα οποία είναι απαραίτητα για οποιονδήποτε περαιτέρω υπολογισμό στις αεροφωτογραφίες (π.χ. ύψους αντικειμένων στην επιφάνεια της γης, παράλλαξης κλπ.). Αυτά τα σημεία είτε είναι σημειωμένα στις αεροφωτογραφίες, είτε βρίσκονται με διάφορους υπολογισμούς.

Τέτοια σημεία είναι:

Τα σημεία εμπιστοσύνης ή ενδεικτικά σημεία (fiducial marks) είναι προσημειωμένα στις φωτογραφίες και εμφανίζονται σαν εγκοπές στο μέσον κάθε πλευράς της αεροφωτογραφίας.

Εκτός της περίπτωσης της ακριβώς κάθετης αεροφωτογραφίας (δηλ. τραβηγμένη σε επίπεδο παράλληλο προς το επίπεδο μηδενικής κλίσης) σε κάθε αεροφωτογραφία έχουμε τρία κέντρα (κεντρικά σημεία). Στην περίπτωση της κάθετης αεροφωτογραφίας τα τρία αυτά κέντρα συμπίπτουν.

Τα τρία αυτά κέντρα είναι:

Το κύριο σημείο (principal point) που είναι το σημείο τομής της καθέτου από το κέντρο του φακού της φωτογραφικής μηχανής προς το επίπεδο της φωτογραφίας. Βρίσκεται εύκολα εάν ενώσουμε τις εγκοπές των απέναντι πλευρών. Η τομή των δύο ευθειών που σχηματίζονται είναι το κύριο σημείο.

Το ναδίρ (nadir) είναι το σημείο τομής της κατακορύφου, που ξεκινά από το κέντρο του φακού με το επίπεδο της φωτογραφίας.

Το ισόκεντρο (isocentre) είναι το μέσο του ευθ. Τμήματος που ενώνει το κύριο σημείο με το ναδίρ.

Λόγω της επικάλυψης διπλανών αεροφωτογραφιών, σε κάθε αερο- φωτογραφία μπορούν να εντοπισθούν τα κύρια σημεία των διπλανών αεροφωτογραφιών, που ονομάζονται έτσι συζυγή κύρια σημεία (conjugate principal points - C.P.P.)

Η γραμμή πτήσης του αεροπλάνου βρίσκεται εάν τοποθετήσουμε τα ευθ. τμήματα διπλανών φωτογραφιών που ενώνουν το κύριο με το συζυγές κύριο σημείο στην ίδια ευθεία.

Η βασική απόσταση είναι το ημίθροισμα των μηκών των ευθ. τμημάτων που ενώνουν το κύριο σημείο με το συζυγές κ.σ. σε διπλανές φωτογραφίες.

ΑΣΚΗΣΗ: Να σχεδιαστούν δύο διπλανές αεροφωτογραφίες με όλα τα χαρακτηριστικά τους (σημεία και ευθ. τμήματα).

### 3.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΛΛΑΞΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ

Κατά τη διάρκεια πτήσης του αεροπλάνου λαμβάνονται διαδοχικές αεροφωτογραφίες. Ένα αντικείμενο π.χ. ένα δέντρο, ένα κτήριο, κλπ. καταγράφεται σε διαφορετική θέση σε δύο διαδοχικές φωτογραφίες. Η αλλαγή της θέσης του αντικειμένου από την μια αεροφωτογραφία στην διπλανή της στην ίδια σειρά πτήσης που είναι συνέπεια της αλλαγής θέσης της φωτογραφικής μηχανής, ονομάζεται στερεοσκοπική παράλλαξη ή απλά παράλλαξη (stereoscopic parallax).

Η διαφορά μεταξύ των δύο θέσεων του αντικειμένου σε δύο διαδοχικές φωτογραφίες είναι ο κύριος λόγος της στερεοσκοπικής όρασης (της αίσθησης του τρισδιάστατου στον ανθρώπινο εγκέφαλο) και ονομάζεται διαφορά παράλλαξης (parallax difference).

Ο υπολογισμός της διαφοράς παράλλαξης γίνεται με αυτόματα όργανα φωτογραμμετρίας ή με τον στερεομικρομετρικό κανόνα. Εδώ, σχηματικά, παραθέτουμε μια πρακτική μέθοδο εύρεσης της διαφοράς παράλλαξης και συνεπώς της υψομετρικής διαφοράς δύο σημείων σε αεροφωτογραφίες με τη χρήση δύο αεροφωτογραφιών. Απαραίτητα πρέπει ο χρήστης της μεθόδου να έχει τουλάχιστον μεγάλο, διαφανή χάρακα με διαβαθμίσεις σε εκατοστά και χιλιοστά, διαβήτη και δυνατότητα σταθεροποίησης του ζεύγους των αεροφωτογραφιών που χρησιμεύει σε τραπέζι (σιλοτέιπ διαφανές). Ο δυνατός φωτισμός βοηθά πάρα πολύ στον εντοπισμό των αντίστοιχων σημείων στις δύο αεροφωτογραφίες.

Τα βήματα της μεθόδου είναι τα παρακάτω:

1ο Προσδιορίζουμε σε κάθε φωτογραφία το κύριο, το συζυγές κύριο σημείο και τα σημεία των οποίων θέλουμε να βρούμε την υψομετρική διαφορά (προσοχή στην σωστή αναγνώρισή τους στις δύο φωτογραφίες).

2ο Υπολογίζουμε τη βασική απόσταση που είναι το ημιάθροισμα των αποστάσεων των κύριων σημείων από τα συζυγή τους στις δύο φωτογραφίες.



3ο Ενώνουμε σε κάθε αεροφωτογραφία τα κύρια με τα συζυγή κύρια σημεία. Σχηματίζονται δύο ευθ. τμήματα. Τοποθετούμε τις αεροφωτογραφίες, έτσι ώστε αυτές τα ευθ. Τμήματα να βρίσκονται στην ίδια ευθεία. Σταθεροποιούμε έτσι τις δύο φωτογραφίες τη μία δίπλα στην άλλη.

4ο Από το δεύτερο σημείο που θέλουμε να βρούμε την υψομετρική διαφορά στην πρώτη φωτογραφία φέρνουμε μια ευθεία παράλληλη προς την ευθεία που περιέχει τα ευθ. τμήματα, όπως αυτά ορίστηκαν στο 3ο.

5ο Μετράμε την απόσταση μεταξύ των δύο πρώτων σημείων που θέλουμε να μετρήσουμε την υψομ. διαφορά στις δύο φωτογραφίες.

6ο Από το δεύτερο σημείο (στη δεύτερη φωτογραφία) που θέλουμε να βρούμε την υψομ. διαφορά, με άνοιγμα του διαβήτη τόσο όσο η απόσταση που μετρήθηκε στο 5ο βήμα, χαράσσουμε την τομή του τόξου που σχηματίζουμε με την ευθεία που χαράκτηκε στο 4ο βήμα. Η απόσταση του σημείου τομής αυτού με το αρχικό σημείο που χαράκτηκε η ευθεία, είναι η διαφορά παράλλαξης και συμβολίζεται με  $\Delta r$ .

7ο Η διαφορά υψομέτρου μεταξύ των δύο σημείων  $\Delta h$  δίνεται από τον τύπο  $\Delta h = H/(b+\Delta b) \Delta r$  όπου  $H$  είναι το ύψος πτήσης του αεροπλάνου και  $b$  η βασική απόσταση.

Για να δούμε καλύτερα τα βήματα αυτά, αναφερόμαστε στο σχήμα 10 και έστω ότι γι' αυτές τις δύο αεροφωτογραφίες υποθετικά βρίσκουμε, αφού:

1ο Προσδιορίσουμε τα κύρια, έστω  $H_1, H_2$ , τα συζυγή κύρια σημεία, έστω  $H_1, H_2$ , και τα σημεία που θέλουμε να υπολογίσουμε την υψομετρική τους διαφορά, έστω  $A_1, \Gamma_1$  στην πρώτη και  $A_2, \Gamma_2$  στη δεύτερη.

2ο τη βασική απόσταση  $b=(H_1H_1+H_2H_2)/2$

έστω  $H_1H_1=5,8, H_2H_2=5,8$  και  $\beta=5,8$

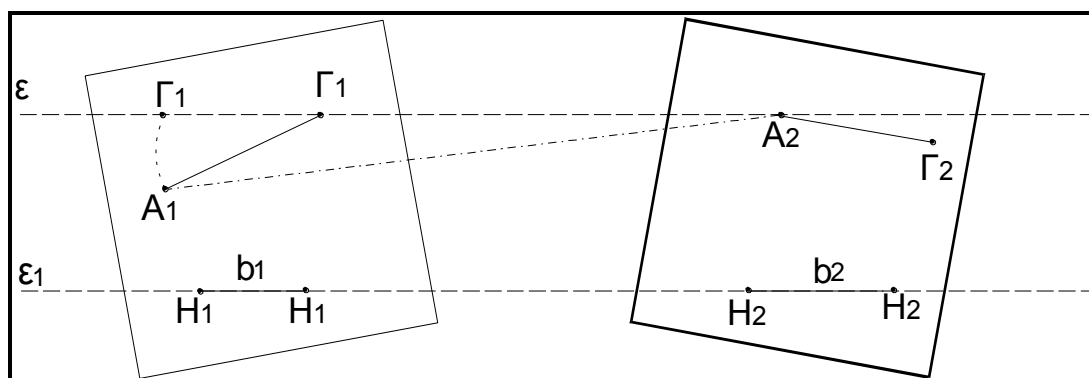
3ο Μετά Χαράσουμε την ευθεία ( $\epsilon$ ) που περιέχει τα σημεία  $H_1$ ,  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_2$  και στερεώνουμε τις αεροφωτογραφίες.

4ο Φέρνουμε από το  $\Gamma_1$  ευθεία παράλληλη προς την ( $\epsilon$ ), έστω ( $\epsilon$ ).

5ο Μετράμε στην απόσταση  $A_1A_2$  έστω 10cm.

6ο Από το  $\Gamma_2$  και με άνοιγμα διαβήτη ίσο με  $A_1A_2$  τέμνουμε την ( $\epsilon$ ) στο σημείο  $\Gamma_1$ . Έστω  $\Gamma_1\Gamma_1 = 0,4\text{cm}$ . Τότε για ύψος πτήσης  $H=1000\text{m}$  θα έχουμε  $\Delta h = [1000\text{m} / (5,8+0,4)\text{cm}]0,4\text{cm} = 400/6,2\text{m} = 64,5\text{m}$  και για ύψος πτήσης  $H=2000\text{m}$   $\Delta h = [2000\text{m} / (5,8+0,4)\text{cm}]0,4\text{cm} = 129\text{m}$

ΣΧΗΜΑ 10



Η απόσταση  $\Gamma_1\Gamma_1 = \Delta\rho$  είναι η διαφορά παράλλαξης και η  $\beta=5,8$  η βασική απόσταση.

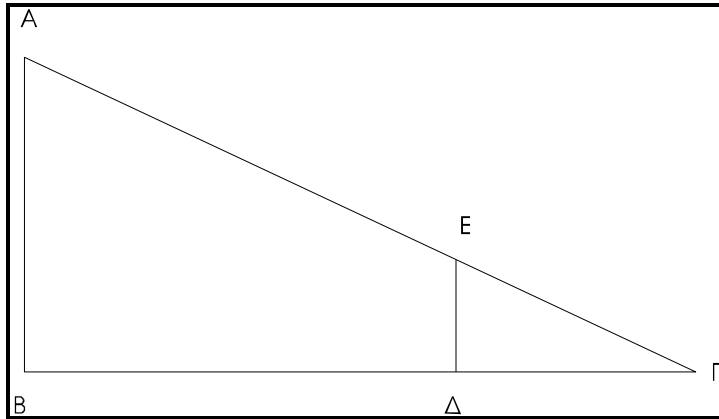
### 3.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ % ΚΛΙΣΗΣ

Σα συνέχεια του προηγούμενου παραδείγματος, θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε την % κλίση μεταξύ των σημείων  $A\Gamma$ . Έστω ότι στη φωτογραφία  $A\Gamma=2\text{cm}$  και έστω ότι η κλίμακα της αεροφωτογραφίας είναι 1:10.000. Τότε η πραγματική απόσταση μεταξύ των σημείων  $A\Gamma$  στο έδαφος θα είναι  $A\Gamma=2\text{cm} \times 10.000=200\text{m}$  και η % κλίση θα είναι.

$$(\text{Υψος}/\text{απόσταση}) \times 100 = (129/200) \times 100 = 129/2 = 64,5\%$$

### 3.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΑΠΟ ΜΙΑ ΜΟΝΟΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

ΣΧΗΜΑ 11



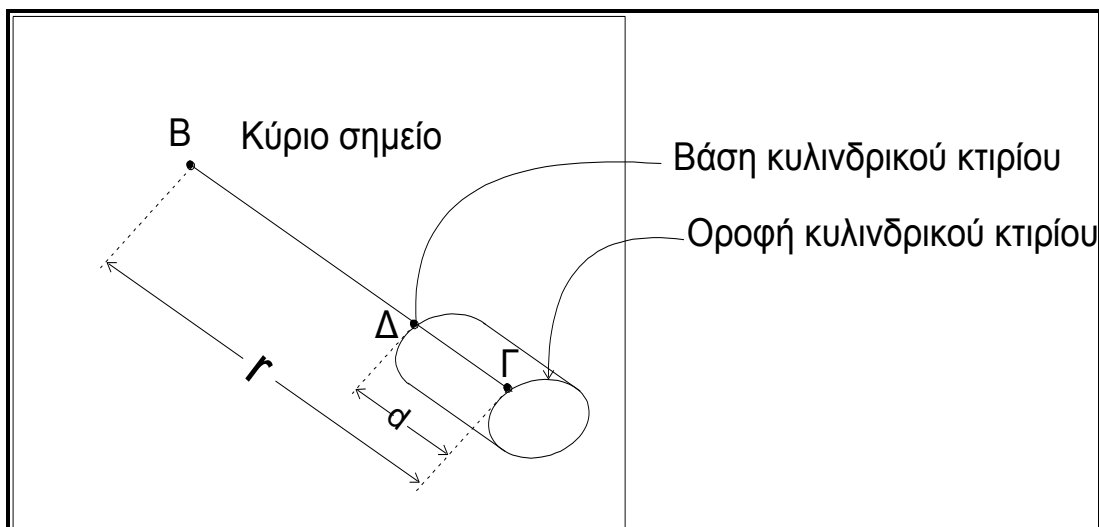
Εάν στο σχήμα 11 θεωρήσουμε ότι στην ευθεία του ΒΓ είναι η επιφάνεια του εδάφους και ότι το αεροπλάνο πετά σε ύψος  $AB=H$ , θα έχουμε για το ύψος  $\Delta E=h$  του αντικειμένου (από τα όμοια

τρίγωνα)  $AB/B\Gamma = \Delta E/\Delta\Gamma \Rightarrow h = \Delta\Gamma (AB/B\Gamma)$  ή αν θέσουμε  $B\Gamma=r$  την απόσταση του κύριου σημείου της αεροφωτογραφίας από την άκρη του αντικειμένου αντίθετα από την πλευρά του κύριου σημείου και  $\Delta\Gamma=d$  το φαινόμενο ύψος στην αεροφωτογραφία, θα έχουμε :

$$h = d(H/r)$$

όπως φαίνεται στο σχ. 12.

ΣΧΗΜΑ 12



Έτσι, έστω ότι  $BΓ=r=9,8\text{cm}$  και  $ΔΓ=d=0,8\text{cm}$  και έστω ότι το ύψος πτήσης είναι  $AB=H=1000\text{m}$ . Το ύψος του κυλινδρικού κτιρίου του σχήματος 12 θα είναι  $h = (1000\text{m} - 0,8\text{cm}) / (9,8\text{cm}) = (800 / 9,8)\text{m} = 81,63\text{m}$

## 4. Η ΚΛΙΜΑΚΑ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

### 4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η γνώση της κλίμακας είναι ίσως το πιο σημαντικό πράγμα στην αεροφωτογραφία. Και αυτό γιατί, χάρις στην κλίμακα, ο ειδικός μπορεί να συσχετίσει την απόσταση μεταξύ δύο σημείων στην αεροφωτογραφία ή το μέγεθος ενός αντικειμένου με τα αντίστοιχα στην πραγματικότητα. [βιβλιογρ. 5]

Ειδικότερα, στον επιστήμονα που ασχολείται με τη φωτοερμηνεία, η κλίμακα βοηθά στον υπολογισμό του μεγέθους ενός αντικειμένου και κατά συνέπεια στο διαχωρισμό του από άλλα αντικείμενα του ίδιου σχήματος, αλλά διαφορετικών μεγεθών, όπως είπαμε στην παράγραφο 1.4.

Έτσι, για παράδειγμα, θα είναι αρκετά δύσκολο να ξεχωρίσουμε μια παράγκα ή ένα κοτέτσι από μια απλή μονοκατοικία σε κάποιον αγροτικό χώρο, εάν δε γνωρίζουμε την κλίμακα της αεροφωτογραφίας.

### 4.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Η κλίμακα εμφανίζεται κατά τρεις τρόπους:

1ο Σαν ένας λόγος της απόστασης στη φωτογραφία προς την ίδια απόσταση στο έδαφος και εκφράζεται σαν ένα απλό κλάσμα του οποίου ο αριθμητής είναι η μονάδα, γράφεται δε π.χ. ή  $1/10.000$  ή  $1:10.000$  (Representative fraction - R.F.).

2ο Σαν το αντίστροφο του προηγούμενου κλάσματος που ουσιαστικά μας δίνει το πόσες φορές η απόσταση στην αεροφωτογραφία είναι ίση με την απόσταση του εδάφους. Ουσιαστικά, είναι ο λόγος της απόστασης στο έδαφος προς την απόσταση αεροφωτογραφία, επεκφρασμένες στις ίδιες μονάδες.

Αυτό που αξίζει να σημειωθεί, είναι ότι όσο μικρότερη είναι η τιμή της αντίστροφης φωτογραφικής κλίμακας (P.R.S.: photo scale reciprocal) τόσο μεγαλύτερη είναι η κλίμακα.

3ο Σαν το ισοδύναμο κάποιου μήκους στην αεροφωτογραφία με μια χαρακτηριστική μονάδα μήκους στο έδαφος. Ουσιαστικά, ο τρόπος αυτός εκφράζει κάποια ισοδύναμη κλίμακα (γι' αυτό και εκφράζεται στα αγγλικά έτσι: Equivalant Scale). Έτσι, για παράδειγμα, όταν έχουμε την ισοδύναμη κλίμακα 4inches=1 mile ή 4in/1mile για να την εκφράσουμε με τον πρώτο τρόπο επειδή γνωρίζουμε ότι 1 μίλι έχει 5280 πόδια και 1 πόδι 12 ίντσες πολ/με:

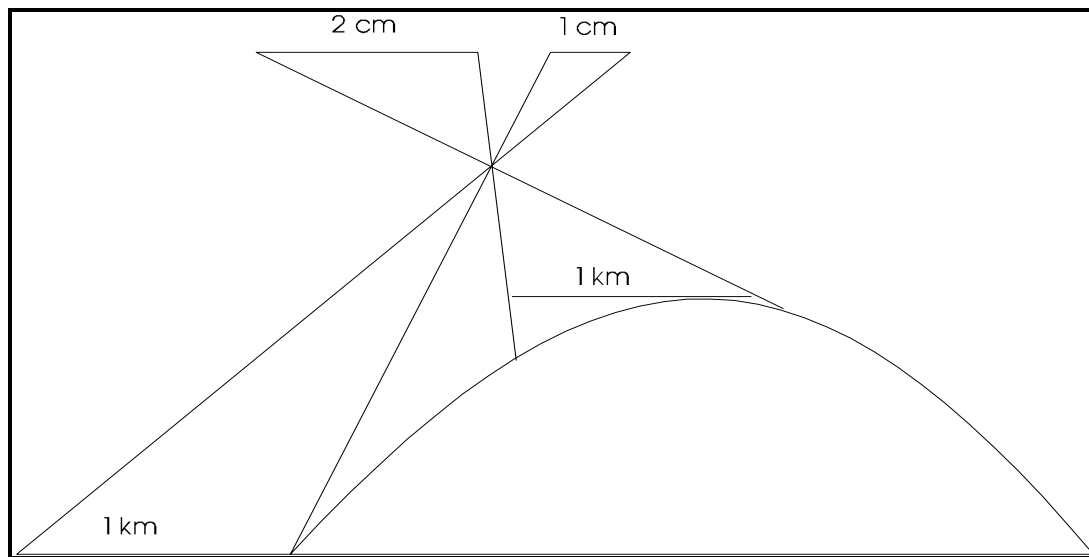
$(4\text{in}/1\text{mile}) (1\text{mile}/5280 \text{ ft}) (1\text{ft}/12\text{in}) = 1/15840$  η κλίμακα και 15840 σύμφωνα με το δεύτερο τρόπο.

Όσον αφορά τους τύπους της κλίμακας, υπάρχουν δύο είδη:

Η μέση κλίμακα που είναι δυνατόν να αναφέρεται σε μια αεροφωτογραφία, σε μέρος μιας αεροφωτογραφίας ή ακόμα και σε πολλές σειρές αεροφωτογραφιών. Εκτός από μια εντελώς επιπεδη περιοχή, η μέση κλίμακα είναι μόνον μια προσέγγιση των τιμών της σημειακής κλίμακας.

Η σημειακή κλίμακα που είναι ακριβής και αναφέρεται σε συγκεκριμένα σημεία του εδάφους με γνωστό υψόμετρο. Κάθε σημείο του εδάφους με διαφορετικό υψόμετρο έχει και διαφορετική σημειακή κλίμακα (σχ. 13). Αυτό είναι ένα σημείο επηρεασμού της κλίμακας.

ΣΧΗΜΑ 13



Ένα δεύτερο σημείο που επηρεάζει την κλίμακα στην αεροφωτογραφία είναι η εστιακή απόσταση της φωτογραφικής μηχανής. Χρησιμοποιώντας μια φωτογραφική μηχανή με μεγαλύτερη εστιακή απόσταση παρατηρούμε ότι η κλίμακα στις αεροφωτογραφίες αυξάνεται. Το σχ. 14 μας δείχνει ότι αυξάνοντας την εστιακή απόσταση κατά μια φορά, δηλ. από τρεις σε έξι ίντσες, η κλίμακα στην αεροφωτογραφία γίνεται από 1/20.000 σε 1/10.000. Σημειώνουμε ότι η μετρούμενη απόσταση στο έδαφος είναι 5.000 πόδια.

**[βιβλιογρ. 1]**





## ΜΕΡΟΣ 2ο

### ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

#### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

##### 1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η ανθρώπινη διαβίωση στο γήινο περιβάλλον δημιούργησε την ανάγκη της μέλετης - ιδίως τις τελευταίες δεκαετίες - παραγόντων του περιβάλλοντος, είτε αυτοί εμφανίζονται σαν πλουτοπαραγωγικές πηγές (ή με οποιονδήποτε τρόπο παράγοντες οικονομικής ανάπτυξης), είτε σαν περιβαλλοντικές παράμετροι που είναι απαραίτητες για τη σωστή και υγιή ανθρώπινη διαβίωση και που κάθε μέρα υφίστανται ολοένα και περισσότερες παραβιάσεις των φυσιολογικών τους ορίων.

Η μελέτη αυτή απαιτεί τη γνώση δεδομένων που βασίζονται σε επιφανειακά χαρακτηριστικά του πλανήτη μας.

Έτσι, οι ανάγκες απόκτησης δεδομένων αυτού του τύπου, που να είναι όσο το δυνατόν πιο πρόσφατα, ακριβή εν σχέσει με την πραγματικότητα, αλλά και που να καλύπτουν απέραντες εκτάσεις, ίσως και ολόκληρη την επιφάνεια του πλανήτη, οδήγησε την επιστήμη στην ανακάλυψη τεχνικών μέσων τόσο ισχυρών, όσο και ταχέων στην προμήθευση αυτών των δεδομένων. **[βιβλιογρ.6]**

Έτσι, προσπερνώντας τα παραφοσιακά μέσα συλλογής δεδομένων της επιφάνειας της γης, όπως οι αεροφωτογραφίες και οι απογραφές, οδηγηθήκαμε αναγκαστικά στη χρήση δορυφόρων για αυτό το σκοπό.

Τα βασικά πλεονεκτήματα του δορυφόρου, εν σχέση με το αεροπλάνο για τη συλλογή τέτοιων στοιχείων, είναι:

- α) Η μεγάλη απόσταση πτήσεως του από τη γη
- β) Η περιοδικότητα της κάλυψης των ίδιων περιοχών της γης και σε σχετικά μικρά χρονικά διαστήματα και
- γ) Το σαφώς μικρότερο κόστος της απόκτησης τέτοιων δεδομένων.

Έτσι γεννήθηκε μια νέα τεχνική επιστήμη συλλογής πληροφοριών από απόσταση, σχετικά με την επιφάνεια της γης.

Διαχωρισμένη σαφώς αυτή η νέα επιστήμη από την αεροφωτογραφία, τόσο λόγω της πληθώρας των τεχνολογικών ανακαλύψεων που τη διέπουν, όσο και από τον διεπιστημονικό χαρακτήρα των ειδικών που ασχολούνται με αυτήν, οδηγεί σε ένα πλουραλιστικό πεδίο εφαρμογών.

## **1.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ**

Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικούς από τους τομείς εφαρμογής της Τηλεπισκόπησης.

### **1) Γεωλογία, Γεωμορφολογία και Γεωδεσία.**

Εδώ προσδιορίζουμε τον τύπο του γεωλογικού στρώματος, εντοπίζουμε γεωλογικά ρήγματα και ανωμαλίες, παρατηρούμε τεκτονικές κινήσεις και άλλα.

### **2) Γεωργία, Δασολογία και Βοτανολογία.**

Εδώ εμφανίζεται η έκταση και ο τύπος της κάλυψης από βλάστηση και της κατάστασης της υγείας της, έτσι ώστε να προσδιορίζονται τα παράσιτα και οι ασθένειες των φυτών, να προσδιορίζονται η περιεκτικότητα τους σε νερό και η πρόβλεψη του όγκου της παραγωγής.

### **3) Ωκεανογραφία.**

Όπου δίνεται η καταγραφή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, η χαρτογράφηση των θαλάσσιων ρευμάτων και η καταγραφή του φάσματος της ενέργειας που προέρχεται από τα κύματα.

### **4) Μετεωρολογία.**

Όπου δίνεται το προφίλ της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, πίεσης και υδατικής εξάτμισης και μετράται η ταχύτητα του ανέμου.

### **5) Υδρολογία.**

Καταγράφονται οι υδατικοί πόροι, προβλέπεται η ροή του ύδατος του προερχόμενου από τους πάγους.

### **6) Έλεγχος καταστροφών.**

Εδώ έχουμε προειδοποίηση για καταιγίδες, για χιονοστιβάδες, για πλημμύρες, για κατολισθήσεις, για πυρκαγιές και καταγραφή της έκτασης της καταστροφής.

Επίσης, καταγραφή της έκτασης της μόλυνσης των υδάτων και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

### **7) Τοπογραφία και χαρτογραφία.**

Γίνεται η λήψη ακριβών υψομετρικών δεδομένων και η ένταξη τους σε ένα δεδομένο σύστημα συντετεγμένων, καθώς και η παραγωγή και ανανέωση χαρτών.

### **8) Χωροταξία και σχεδιασμός χώρου.**

Δημιουργία απογραφών χρήσης γης, έλεγχος διαχρονικών αλλαγών του δομημένου χώρου, καταγραφή πόρων, απογραφή κυκλοφοριακών δικτύων και άλλα.

### **9) Στρατιωτική χρήση.**

Καταγραφή κινήσεων οχημάτων και στρατιωτικών σχηματισμών, εντοπισμός στρατιωτικών εγκαταστάσεων.

## **1.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ**

Παρ' όλο που όλο το φάσμα της έρευνας μέσω Τηλεπισκοπικών δορυφόρων φαίνεται ιδιαίτερα ψηλό, μελέτες κόστους-κέρδους απέδειξαν ότι η οικονομική πλευρά της χρήσεως δορυφόρων για την Τηλεπισκόπηση είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα ως προς τα οφέλη που δίνει.

Το πραγματικό κόστος (με όχι μεγάλη ακρίβεια) της κατασκευής και λειτουργίας ενός δορυφόρου τηλεπισκόπησης, για μια σχετικά χαμηλή τροχιά γύρω από τον ήλιο, είναι της τάξης των 100.000.000 λιρών Αγγλίας.

Παρ' όλο που είναι αρκετά δύσκολο να εκτιμήσει κανείς τα κέρδη, η αξία του δορυφόρου ERS-1 εκτιμήθηκε γύρω στις 50.000.000 λίρες, ενώ η αξία της συλλογής και απόκτησης απογραφικών δεδομένων που πάρθηκαν από αυτόν σ' ένα χρόνο ανέρχεται σε 100.000.000 λίρες. Σημειωτέο ότι η διάρκεια ζωής του δορυφόρου αυτού είναι δύο χρόνια.

Τέλος, ξέχωρα από τα μεγάλα οικονομικά ωφέλη, ειδικά για τους μετεωρολογικούς δορυφόρους, οι προειδοποιήσεις για επικείμενες θεομηνίες σε κατοικημένους χώρους που μας προσφέρουν, έχουν ήδη σώσει χιλιάδες ανθρώπινες ζωές.

#### **1.4. ΜΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Διακρίνουμε δύο ειδών:

##### **1ο ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ Ή ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ.**

Αυτά τα συστήματα δεν εκπέμπουν απ' εαυτού ενέργεια. Όλα τα σώματα εκπέμπουν ενέργεια, είτε λόγω ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας, είτε λόγω θερμότητας. Αυτήν την ενέργεια καταγράφουν τα παραπάνω συστήματα.

Χρησιμοποιούνται στη λεγόμενη πολυφασματική τηλεπισκόπηση, δηλ. στην καταγραφή των διαφόρων αντικειμένων της επιφάνειας της γης σε διαφορετικά μήκη του ορατού και του υπέρυθρου φάσματος.

Σε χοντρές γραμμές, οι πολυφασματικού σαρωτές αποτελούνται:

Από ένα επίπεδο ή πρισματικό κάτοπτρο, το οποίο ακολουθεί ταλαντώσεις κάθετες στη διεύθυνση πτήσης του δορυφόρου, έτσι ώστε να σαρώσει και την επιφάνεια της γης κάθετα προς τη διεύθυνση πτήσης του. Το παραπάνω κάτοπτρο έχοντας μια κατάλληλη γωνία κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο οδηγεί την ανακλώμενη ακτινοβολία σε μια σειρά από ανιχνευτές που αντιστοιχούν σε αριθμό στους φασματικούς δίαυλους (κανάλια) καταγραφής των δεδομένων.

Η ακτινοβολία, περνώντας από τους ανιχνευτές, μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα ποικίλλης έντασης, ανάλογα με το αντικείμενο που έχει καταγραφεί. Κατόπιν, με τη

βοήθεια ενός ενισχυτή, στέλλονται στα διαφορετικά μέσα καταγραφής, όπως μαγνητοταινίες, οπτικούς δίσκους, κ.α.

Φυσικά, οι μ' αυτόν τον τρόπο λαμβανόμενες εικόνες παρουσιάζουν διαφόρων ειδών παραμορφώσεις και γι' αυτό στη συνέχεια και πριν ακόμα αρχίσει η καθαρή ψηφιακή επεξεργασία τους, υφίστανται διαφόρων ειδών διορθώσεις, όπως ραδιομετρικές, γεωμετρικές, κ.α.

Πιο γνωστοί σαρωτές (scanners) είναι οι πολυφασματικοί (multispectral), που αντιστοιχούν στο ορατό και στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα και οι θερμικοί, που αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα μήκη κύματος του υπέρυθρου φάσματος, δηλ. από 3 έως 16  $\mu\text{m}$ .

## 2ο ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Βασίζονται στη λήψη ενέργειας που εκπέμπουν τα ίδια και που λαμβάνουν κατόπιν επιστροφής, μετά από πρόσπτωση σε ορισμένα αντικείμενα.

Το ραντάρ είναι από τα πιο αντιπροσωπευτικά από αυτά τα συστήματα. Υπάρχουν: ραντάρ που σαρώνουν μόνον από τη μια πλευρά κάλυψης τους και λέγονται πλευρικής κάλυψης (side looking) ή και από τις δύο. Τα πρώτα είναι δυνατόν να είναι αερομεταφερόμενα και κεραίας. Με τα δεύτερα, μπορούμε να πετύχουμε καλή διαχωριστική ικανότητα από μεγάλες αποστάσεις, ακόμα και από δορυφόρους.

Παρ' όλη την υπερίσχυση των παθητικών συστημάτων, δεν μπορούμε να παραβλέψουμε μερικά πλεονεκτήματα των εικόνων ραντάρ.

- 1) Οι λωρίδες σάρωσης περιέχουν μεγάλες εκτάσεις στην επιφάνεια της γης. Σε μήκος είναι εκατοντάδων χιλιομέτρων και σε πλάτος δεκάδων.
- 2) Η πλάγια σάρωση δίνει μια πολύ καλή εικόνα του ανάγλυφου και έτσι είναι προνομιούχα για ειδικές χρήσεις, όπως η γεωλογία, η φυσική γεωγραφία, κ.α.
- 3) Δίδουν εικόνες και στην περίοδο της ημέρας και στη νύκτα.

## 2. ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ

### 2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Χάρης στην εξέλιξη και ανάπτυξη των δορυφόρων ουσιαστικά γεννήθηκε η (δορυφορική) τηλεπισκόπηση. Έτσι το κυρίως μέρος της τηλεπισκόπησης είναι στενά συνδεδεμένο με τους δορυφόρους.

#### 2.1.1 Η ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ

Εντελώς διαφοροποιημένοι από τα άλλα συστήματα παρατήρησης της επιφάνειας της γης, όπως τα μετεωρολογικά μπαλόνια και τα αεροπλάνα, οι δορυφόροι έχουν γενικά μια καθορισμένη εκ των προτέρω τροχιά. Η τροχιά αυτή υπακούει στους νόμους του Κέιπλερ, που είναι οι εξής:

α) Η τροχιά ενός δορυφόρου βρίσκεται σε ένα επίπεδο. Για την ακρίβεια, ο δορυφόρος διαγράφει μια έλλειψη της οποίας μια εστία (από τις δύο) κατέχει η γη.

β) Ο δορυφόρος διαγράφει ίσες επιφάνειες σε ίσους χρόνους. Άρα, η κίνηση του είναι περιοδική και οι αρχικές συνθήκες της κίνησής του, δηλ. θέση και ταχύτητα τη στιγμή που ο δορυφόρος εγκαταλείπεται από τον πέραυλο που τον μεταφέρει, προσδιορίζουν πλήρως την κίνησή του. **[βιβλιογρ. 6]** Αντίστροφα, σύμφωνα με τις παραμέτρους της τροχιάς που θέλουμε, κανονίζουμε και τα διάφορα στοιχεία στην αποστολή του δορυφόρου.

Παρ' όλο όμως που η τροχιά του δορυφόρου είναι έλλειψη, δε συμβαίνει το ίδιο και με την προβολή της στην επιφάνειες της γης, δηλ. με το ίχνος της. Έτσι στην διάρκεια μιάς περιόδου  $T$  του δορυφόρου, η γη έχει γυρίσει γύρω από τον άξονά της κατά μία γωνία ίση με  $2\pi(T/24)$  όπου  $T$  σε ώρες.

Έτσι, μπορούμε να φανταστούμε ότι η τροχιά του δορυφόρου μοιάζει με μια κλωστή που τυλίγεται γύρω από ένα κουβάρι, όταν αυτό γυρίζει γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα.

Μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

1ον Η περίοδος  $T$  να είναι πολ/σιο του 24.

2ον Η περίοδος  $T$  να είναι υποπολ/σιο του 24.

Τί μπορούμε να πούμε για τα σημεία της τροχιάς του δορυφόρου σ' αυτές τις περιπτώσεις;

Για τους χαμηλά (σε ύψος) ευρισκόμενους δορυφόρους, δηλ. γι' αυτούς που βρίσκονται μεταξύ 500 και 1500Km, η περίοδος τους μεταβάλλεται, ανάλογα με το δορυφόρο από 1,5 έως 2 ώρες.

Έτσι διαγράφουν 16 έως 12 κύκλους γύρω από τη γη σε 24 ώρες και οι τροχιές αυτές κόβουν τον ισημερινό σε αποστάσεις από 2500 έως 3350Km, πράγμα που αναγκάζει τους κατασκευαστές των συλλεκτών (οργάνων) εικόνων που βρίσκονται στον δορυφόρο να δημιουργούν αρκετά μεγάλα ανοίγματα κάλυψης της επιφάνειας του εδάφους, με σκοπό να καλύψουν ολόκληρο τον ισημερινό.

Γενικά, η περίοδος ενός δορυφόρου καθορίζεται από τον τύπο  $T = 24/(E + p/n)$  όπου  $E$  είναι ένας ακέραιος και  $p/n$  ένα μη απλοποιήσιμο κλάσμα.

Έτσι ο δορυφόρος ξανακαταγράφει τα ίδια σημεία στην επιφάνεια της γης σε  $n$  ημέρες, έχοντας διαγράψει  $nE + P$  τροχιές, των οποίων οι προβολές στην επιφάνεια της γης είναι μετατοπισμένες ως προς αυτές της προηγούμενης ημέρας.

Εάν θεωρήσουμε  $P=1$  ή  $P=n-1$  οι τροχιές αυτές συμπίπτουν μεταξύ τους. (Γιατί;)

Το ίχνος της τροχιάς (η προβολή της στη γη) κόβει τον ισημερινό σε  $P+nE$  σημεία που απέχουν κατά  $2\pi/p+nE$  κατά γωνία ή  $40000\text{km}/p+nE$  κατά μήκος, μειώνοντας έτσι αισθητά το πλάτος κάλυψης του δορυφόρου σε κάθε πέρασμα.

Διακρίνουμε δύο ειδών δορυφόρους, ως προς τις τροχιές τους:

1) Δορυφόροι ηλιοσύγχρονοι

Η μη σφαιρικότητα της γης δημιουργεί μια μετάπτωση στο επίπεδο της τροχιάς του δορυφόρου, κατά μια ορισμένη γωνία κλίσης, ως προς τον άξονα περιστροφής

της γης. Εκμεταλλευόμενοι το γεγονός αυτό και δίνοντας π.χ. μια γωνία μετάπτωσης  $2\pi$  το χρόνο στο επίπεδο της τροχιάς του δορυφόρου, πετυχαίνουμε μια κλίση κατά  $99$  που μας δίνει τον ηλιοσυγχρονισμό του δορυφόρου.

Αυτό σημαίνει ότι, κατά τις διάφορες επιψές του χρόνου που ο ήλιος φωτίζει τα ίδια αντικείμενα (στη διάρκεια κάθε ημέρας) αλλά υπό διαφορετική γωνία, ο δορυφόρος είναι τοποθετημένος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι συνθήκες φωτισμού στα διάφορα περάσματά του να είναι οι ίδιες και να μην εξαρτώνται από τη σχετική θέση του ήλιου. Έτσι, αυτού του είδους οι δορυφόροι είναι σχεδόν πολικής τροχιάς και η κάλυψή τους (της επιφάνειας της γης) είναι σχεδόν καθολική.

Οι περισσότεροι από τους δορυφόρους που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση είναι τέτοιου είδους.

## 2) Δορυφόροι γεωστατικοί

Οι δορυφόροι που ακολουθούν τους ισημερινούς και έχουν περίοδο τροχιάς  $24$  ώρες λέγονται γεωστατικοί.

Έτσι μ' αυτά τα χαρακτηριστικά φαίνονται ακίνητοι από την επιφάνεια της γης. Αυτό όμως από την πλευρά της Φυσικής είναι δυνατόν μόνον στο ύψος των  $36.000\text{Km}$ , με αποτέλεσμα η διακριτική τους ικανότητα να είναι αρκετά μικρή. Σε αντίποδα, βέβαια, αυτού του ελλωτάματος έχουμε δύο σημαντικά προτερήματα:

1ο Μια συνεχή παρατήρηση της ίδιας περιοχής της επιφάνειας της γης.

2ο Μια μεγάλη ζπιφάνεια κάλυψης.

Είναι δε τόσο μεγάλη η κάλυψη που μπορούμε να πετύχουμε με τέτοιους δορυφόρους, ώστε τρεις δορυφόροι αρκούν για την ολοκληρωτική κάλυψη τη ζπιφάνειας της γης.

Τέτοιοι δορυφόροι στην Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιούνται κυρίως για μετεωρολογικούς σκοπούς, αλλά και για τις τηλεπικοινωνίες και στην τηλεόραση.

Τέλος, η διάρκεια ζωής τους είναι σαφώς μεγαλύτερη από τους ηλιοσύγχρονους δορυφόρους, που πετούν μεταξύ  $500$  και  $1000\text{Km}$  και των οποίων η ζωή συνήθως κυμαίνεται από  $1-2$  με λίγο περισσότερα χρόνια.



## **2.2. ΤΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

### **2.2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ**

Με μια απλή φωτογραφική μηχανή μεταφέρθηκαν οι πρώτες αε-ροφωτογραφίες της γης. Δυστυχώς ήταν παρμένες για στρατιωτικούς σκοπούς, αφού πάρθηκαν από ένα γερμανική πυραύλο V-2 αμέσως μετά τη λήξη του 2ου Παγκοσμίου Πολέμου.

Αναφέρουμε τους πυραύλους που εκτοξεύθηκαν πρώτοι χωρίς να μεταφέρουν επάνω τους φωτογραφικά συστήματα:

1957 Sputnik 1 : ΕΣΣΔ (Ο Sputnik 2 είχε τη Laica)

1958 Explorer 1: ΗΠΑ

Αντίθετα, με φωτογραφικές μηχανές ή ακόμα και TV κάμερες πέταξαν οι εξής δορυφόροι: COSMOS 4 - ΕΣΣΔ, οι δορυφόροι Discover (1959-60) - ΗΠΑ και TIROS (1960) - ΗΠΑ (με TV κάμερα ο πρώτος) Τέλος, μετά από αυτές τις επιτυχημένες πτήσεις, έχουμε τις εξής επανδρωμένες πτήσεις δορυφόρων:

Από τις ΗΠΑ, τους δορυφόρους Mercury, Gemini και Apollo της NASA και από την ΕΣΣΔ Vostok, Voskod και Soyuz.

Τέλος, έχουμε πέταγμα διαστημικών εργαστηρίων από τις ΗΠΑ του Skylab και Space Shuttles της NASA και από την ΕΣΣΔ το Salut.

### **2.2.2. ΟΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ**

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι και οι δορυφόροι που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των γήινων πόρων δίνουν πληροφορίες για τα ίδια μήκη κύματος.

Ίσως η πιο σημαντική διαφορά μεταξύ τους είναι το επί του εδάφους μέγεθος του pixel (Pixel ονομάζουμε το στοιχειώδες κομμάτι εικόνας, συνήθως στην οθόνη του υπολογιστή, αλλά και στις ψηφιακές εικόνες γενικότερα. Προέρχεται από το Picture Element). Στους μετεωρολογικούς είναι της τάξης 1Km x 1Km, ενώ στους υπόλοιπους ποτέ δεν ξεπερνά τα 100m x 100m. Ως προς τις πληροφορίες που αναφέρονται στην έκταση κάλυψης της γήινης επιφάνειας, η σημαντική διαφορά των παραπάνω κατηγοριών είναι ότι εικόνες από μετεωρολογικούς δορυφόρους είναι

απαραίτητες για μεγάλες καλύψεις της γήινης επιφάνειας, πράγμα που είναι αδύνατο για τους υπόλοιπους δορυφόρους.

### 2.2.2.α ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΟΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ

Το Δεκέμβριο του 1966, η NASA (National Aeronautics and Space Administration) των ΗΠΑ πέταξε τον πρώτο Δορυφόρο Τεχνολογικών Εφαρμογών (Applications Technology Satellite - ATS 1) που είχε την ικανότητα, με μια φωτογραφική μηχανή που σάρωνε κατά μια διεύθυνση και περιστρεφόταν, να δίνει την εικόνα του γήινου δίσκου κάθε είκοσι λεπτά. Στη συνέχεια η NASA πέταξε τον ATS 3 το Νοέμβριο του 1967, με αποτέλεσμα η Εθνική Διεύθυνση Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) να θέσει σε εφαρμογή ένα πρόγραμμα "Γεωστατικών Επιχειρησιακών Περιβαλλοντικών Δορυφόρων" (Geostationary Operational Environmental Satellite - GOES) που από τον Οκτώβριο του 75 έχει πετάξει πέντε δορυφόρους. Εξαιτίας ατελιών όμως, πετάχτηκε ο δορυφόρος GOES 6, ο οποίος είναι πλήρως λειτουργικός. Η καταγραφή της γήινης επιφάνειας γίνεται από ένα Ραδιόμετρο Σάρωσης-Στροφής στο Ορατό και το Υπέρυθρο Φάσμα (0,66 - 0,7μm και 10,5 - 12,6μm).

Στην Ευρώπη, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (European Space Agency - ESA) πέταξε το 1973 και το 1981 δύο δορυφόρους, τον METEOSAT 1 και 2, που καλύπτουν 55 πάνω και κάτω από τον Ισημερινό και έχουν πολύ καλή κάλυψη της Αφρικής και της Νότιας Ευρώπης, αλλά φτωχή της Βόρειας. Τα κανάλια και η επίλυση στο έδαφος που διαθέτουν είναι τα παρακάτω:

Κανάλι	Εύρος Μήκος Κύματος σε μm	Επίλυση σε Km σε 0° Γεωγραφικό Πλάτος και Μήκος
Ορατό - Εγγύς υπέρυθρο	0,4 - 1,1	2,5
Υδατικής εξάτμισης	5,7 - 7,1	5,0
Θερμικό Υπέρυθρο	10,5 - 12,5	5,0

Τέλος, το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα EUMETSAT πέταξε 3 δορυφόρους METEOSAT με τον πύραυλο Αριάνη το 1988, το 1989 και το 1990.

Εκτός των ΗΠΑ και της Ευρώπης, η Ιαπωνία και η Ινδία έχουν πετάξει γεωστατικούς μετεωρολογικούς δορυφόρους.

Η Ιαπωνία, τον Ιούνιο του 1977, πέταξε τον Himawari 1 (GMS 1), το διάδοχό του GMS 2, τον Αύγουστο του 1981, και το διάδοχο του τελευταίου, τον GMS 3, τον Αύγουστο του 1984.

Είναι τοποθετημένοι σε 140 Ανατ. γεωγρ. μήκος και 0 πλάτος και ιδιαίτερα χρήσιμοι στην προειδοποίηση για καταιγίδες και τυφώνες που προέρχονται από τη Δυτική Ασία.

Τέλος, η Ινδία πέταξε τους Insat IA και IB το 1982 με τοποθετήσεις 0 πλάτος και 74 και 94 ανατολικά μήκος και που συνδυάζουν τρία βασικά πλεονεκτήματα: τηλεπικοινωνιακή σύνδεση, απευθείας ραδιοφωνικές εκπομπές και μετάδοση μετεωρολογικών εικόνων. Είναι εφοδιασμένοι (ο πρώτος σταμάτησε το Σεπτέμβριο του 1982) με ένα Πολύ Υψηλής Επίλυσης Ραδιόμετρο (UHRR) με δύο κανάλια στο ορατό και στο θερμικό υπέρυθρο και με μέγεθος pixels 2,75Km και 11Km αντίστοιχα.

Σημειώνουμε ότι ο τυφώνας Έλενα, που χτύπησε τις ακτές του Μισισσιπή με ταχύτητες μεγαλύτερες από 100 μίλια ανά ώρα, έτυχε παρακολούθησης από τον GOES δορυφόρο και έτσι περισσότεροι από ένα εκατομμύριο άνθρωποι που θα ήταν εκτεθειμένοι στον κίνδυνο προειδοποιήθηκαν από τις αρχές και έγκατέλειψαν τα σπίτια τους. Το ίδιο και σε μεγαλύτερο βαθμό συνέβη λίγο αργότερα με τον τυφώνα Γκλόρια.

### **2.2.2.β.ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΠΟΛΙΚΩΝ ΤΡΟΧΙΩΝ**

Πρώτα πέταξε από τις ΗΠΑ ο δορυφόρος TIROS 1 τον Απρίλιο του 1960 και από το 1960 έως το 1965, δέκα δορυφόροι TIROS πέταξαν έχοντας στον εξοπλισμό τους μια μικρή video-κάμερα και μερικοί ένα ραδιόμετρο με σαρωτή στο θερμικό υπέρυθρο φάσμα. Οι TIROS 1-4 είχαν κλίση 48 με τον Ισημερινό, ενώ οι 5-8 είχαν 58 κλίση. Έτσι, έδιναν πολύ καλές εικόνες των τροπικών και υποτροπικών ζωνών αλλά δεν έδιναν εικόνες για πιο βόρειες περιοχές.

Η επόμενη σειρά ήταν οι TOS δορυφόροι που ονομάστηκαν δορυφόροι ESSA από τη Διεύθυνση Υπηρεσιών της Επιστήμης του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US Environmental Science Services Administration). Αυτοί πέταξαν μεταξύ 1966 και 1969 και ήταν εννέα στον αριθμό. Οι τροχιές τους είχαν κλίση με τον Ισημερινό 100, έτσι ώστε κάθε δορυφόρος περνούσε κοντά από τους πόλους. Από αυτούς, άλλοι είχαν τη δυνατότητα εκπομπής των συλλεγμένων δεδομένων απευθείας στη γη (οι 2, 4, 6 και 8), ενώ οι άλλοι (οι 1, 3, 5, 7 και 9) αποθήκευαν τα δεδομένα κατά τη διάρκεια περιφοράς τους.

Η δεύτερη γενιά μετεωρολογικών δορυφόρων πολικών τροχιών που ονομάστηκαν ITOS (Improved Tiros Operational System) ξεκίνησε το 1970 και είχε δυνατότητα και μετάδοσης και αποθήκευσης των δεδομένων. Είχαν δυνατότητα καταγραφής την ημέρα στο ορατό και υπέρυθρο κανάλι και τη νύκτα στο υπέρυθρο με διακριτική ικανότητα του pixel 4Km x 4Km και 0,9Km x 0,9Km.

Η τρίτη γενιά δορυφόρων αυτού του είδους, που ονομάστηκε TIROS-N και κατ' επέκταση NOAA και που υπάρχουν μέχρι σήμερα (1995), τοποθετήθηκαν σε τροπιά το 1978 και οι NOAA 8, 9 και 10 φέρουν ένα Εξελιγμένο Πολύ Υψηλής Επίλυσης Ραδιόμετρο (Advanced Very High Resolution Radioeter - AVHRR) που μας δίνει πληροφορίες στα κανάλια (διαύλους) που αντιστοιχούν στο ορατό, στο εγγύς, στο μεσαίο και θερμικό υπέρυθρο φάσμα με διακριτική επί του εδάφους ικανότητα 1,1 Km.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στους NOAA με τέσσερα και στους μεταγενέστερους NOAA με πέντε κανάλια.

Διαυλος (κανάλι)	NOAA με 4 κανάλια	NOAA με 5 κανάλια
1	0,55 - 0,68μm	0,58 - 0,68 (ορατό)
2	0,725 - 1,10 μm	0,725 - 1,10μm(εγγύς, υπέρυθρο)
3	3,55 - 3,93μm	3,55 - 3,93μm
4	10,5 - 11,5μm	10,3 - 11,3μm
5		11,5 - 12,5μm

Έτσι τα κανάλια 1 και 2 των πιο προσφάτων δορυφόρων NOAA δηλ. αυτά που αντιστοιχούν στο ορατό και στο εγγύς υπέρυθρο, χρησιμοποιούνται για τον

προσδιορισμό νεφών, ορίων μεταξύ ξηράς και θάλασσας, της έκτασης πάγων και χιονιών και τέλος η σύγκριση μεταξύ αυτών των καναλιών μας δίνει ενδείξεις για τις περιοχές τήξης των πάγων.

Επίσης ο συνδυασμός των καναλιών 1 και 2 μας δίνει τον λεγόμενο δείκτη βλάστησης, οι υψηλές τιμές του οποίου μας δείχνουν την ύπαρξη βλάστησης. Μ' αυτόν τον τρόπο, η υπηρεσία NOAA παράγει χάρτες εβδομαδιαίας του δείκτη βλάστησης για τα δύο ημισφαίρια.

Δεδομένα από τα θερμικά υπέρυθρα κανάλια χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του εδάφους ή των νεφών, ενώ ένας συνδυασμός των δύο θερμικών υπέρυθρων καναλιών (4 και 5) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας.

Τέλος, το κανάλι 3 είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στις κατανομές της εξάτμισης του νερού στην ατμόσφαιρα και στις υψηλές θερμοκρασίες ( $>50^{\circ}$ ) όπως αυτές που παράγονται από διάφορες πυρκαγιές της επιφάνειας της γης (δασικές, κ.α.)

Στο πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, στο Βόλο, στη Γεωπονική Σχολή και στην Έδρα της Αγρομετεωρολογίας υπάρχει εγκαταστημένος πλήρης Σταθμός λήψης δορυφορικών δεδομένων NOAA και METEOSTAT. Εκτός από το μηχανικό μέρος του εξοπλισμού του σταθμού αυτού (ρυθμιζόμενες αντέννες λήψης δεδομένων, αυτόματα και σύμφωνα με τη θέση του δορυφόρου) υπέρχει και ένα ισχυρό λογισμικό που μας δίνει τη δυνατότητα εκτός άλλων και **[βιβλιογρ. 12]**:

- 1ο Λήψη ξεχωριστά κανάλι με κανάλι και εξαγωγή μικρών παραθύρων (5 x 5 pixel)
- 2ο Επειδή τα δεδομένα είναι σε 10-bit μορφή (1024 επίπεδα) μετασχηματισμό σε 8-bit δεδομένα (256 τιμές)
- 3ο Γεωμετρικές διορθώσεις των εικόνων
- 4ο Ραδιομετρικές διορθώσεις των εικόνων
- 5ο Με συνδυασμούς των καναλιών 3, 4 και 5 ανίχνευση θερμών περιοχών και καταγραφή των θερμοκρασιών.

- 6ο Με τα 4 και 5 καναλιά καταγραφή των θερμοκρασιών της επιφάνειας της θαλάσσης.
- 7ο Καταγραφή του δείκτη βλάστησης με τα 1 και 2 κανάλια.

### 2.2.3 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ (ΠΛΟΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ) ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΓΗΣ

Παρακάτω, αναφέρονται συνοπτικά διάφορες πλατφόρμες-δορυφόροι που έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην καταγραφή της επιφάνειας της γης.

Το 1978 πέταξε ο δορυφόρος SEASAT εφοδιασμένος με ένα Συνθέτου Ανοίγματος Ραντάρ (SAR - Synthetic Aperture Radar) και με υψηλή διακριτική ικανότητα επί του εδάφους.

Έχοντας μια σχεδόν πολική τροχιά  $108^\circ$  γωνίας με τον Ισημερινό και πετώντας σε ύψος 790Km, είχε διακριτική ικανότητα 25m και πλάτος λωρίδαςκάλυψης επί του εδάφους  $100\text{Km}^*$ . Εκτός από το παραπάνω ραντάρ ήταν εφοδιασμένος και με τα παρακάτω όργανα **[βιβλιογρ. 7]:**

Υψομετρικό ρανταρ για τα ύψη των κυμάτων, ραντάρ με μετρητή διάχυσης για εντοπισμό διευθύνσεων και μέτρηση ταχυτήτων των ανέμων, ραδιόμετρο μικροκυμάτων για τη μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θαλάσσης, ρυθμού βροχόπτωσης και εξάτμισης του νερού και τέλος ραδιόμετρο του ορατού και υπέρυθρου φάσματος για καταγραφή των ακτών και μέτρηση των θερμοκρασιών της θαλάσσιας επιφάνειας.

Δυστυχώς, λόγω σημαντικής βλάβης του ηλεκτρικού του συστήματος ο δορυφόρος λειτούργησε μόνον 106 ημέρες. Πριν ακόμη από τη μελανή ημερομηνία της 28/01/1986 της έκρηξης και καταστροφής του διαστημικού space shuttle λεωφορείου Challenger που προκάλεσε το θάνατο και των επτά αστροναυτών του πληρώματος, δύο επιτυχείς εφοδιασμοί του διαστημικού λεωφορείου της NASA έγιναν το 1981 και το 1984. Την πρώτη φορά με το 1ο ραντάρ απεικόνισης του διαστημικού λεωφορείου SIR-A (Shuttle Imaging Radar - A) με διακριτική

ικανότητα 40m, πλάτος λωρίδας κάλυψης 50Km, μήκος λύματος καταγραφής στο L-κανάλι, όπως και το SAR, αλλά μόνον με οπτικό καταγραφέα (optical recorder) και τη δεύτερη με το ραντάρ SIR-B με διακριτική ικανότητα 25m, και με ικανότητα καταγραφής δεδομένων της επιφάνειας της γης, τόσο σε οπτική μορφή, όσο και σε ψηφιακή. Δυστυχώς, για τις διάφορες χώρες τα δεδομένα δεν ήταν ομοιόμορφα καλής ποιότητας (όπως π.χ. για την Αγγλία [βιβλιογρ. 7]). Μέχρι σήμερα πιο τελειοποιημένα ραντάρ έχουν λειτουργήσει.

Επίσης, αναφέρουμε τη Μετρική Κάμερα που τοποθετήθηκε στο διαστημικό λεωροφείο της NASA σαν ένα μέρος του εξοπλισμού του Spacelab 1 που ήταν η ευρωπαϊκή συμμετοχή στο πρόγραμμα από την ESA το Νοέμβριο του 1983. Έτσι, διατέθηκαν στερεοφωτογραφίες σε κλίμακα 1:826.000 και διακριτικής ικανότητας 20m. Ο αμερικάνικος ανταγωνιστής της παραπάνω μηχανής υπήρξε η αντίστοιχη Μεγάλου φορμάτ κάμερα με διακριτική ικανότητα 5m (Large Format Camera).

Τέλος, για ειδικές εφαρμογές υπήρξε ο δορυφόρος Αποστολής Θερμικής Ικανότητας Χαρτογράφησης (1978) (Heat Capacity Mapping Mission HCMM) σε πολική τροχιά στο ορατό 0,5 - 1,1μm και το θερμικό υπέρυθρο 10,5 - 12,5 με διακριτική ικανότητα αντίστοιχα 500 x 500m και 600 x 600m. Χρησιμοποιήθηκε ιδιαίτερα για το διαχωρισμό πετρωμάτων.

### **2.2.3.α ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ LANDSAT**

Τον Ιούλιο του 1972 η NASA πέταξε με το αρχικό όνομα ERTS.A (Earth Resources Technology Satellite) τον πρώτο δορυφόρο της σειράς LANDSAT 1. Ήταν ηλιοσύγχρονος με σχεδόν πολική τροχιά κλίσης από τον Ισημερινό 99°, περιόδου 103 λεπτών και ύψους πτήσης 920Km. Πραγματοποιεί έτσι 14 περιστροφές της γης, κάθε μέρα, μετατοπισμένες την κάθε μια από την επόμενη κατά 1,5° προς τα δυτικά. Έτσι πετά από τα ίδια σημεία και την ίδια ώρα κάθε 18 ημέρες.

Τον Ιανουάριο του 1975 η NASA πέταξε ένα δορυφόρο ίδιο με τον προηγούμενο με διαφορά φάσης εννέα ημερών και τελικά τον Μάρτιο του 1978 έναν τρίτο που αντικαθιστούσε ουσιαστικά τον πρώτο, ο οποίος είχε πάψει να λειτουργεί. Αυτός είχε την ιδιότητα να καλύπτει τις ίδιες τροχιές κάθε εννέα ημέρες. Στην

πραγματικότητα όμως, και ενώ φαινόταν ότι λειτουργούν συγχρόνως οι δορυφόροι LANDSAT 2 και 3, η NASA προγραμματίζε πάντα τον έναν μόνον από τους δύο και μάλιστα αυτόν που κατέγραφε το φωτεινό μέρος της γης. Ωστόσο, προβλέφθηκε και για τον LANDSAT 3 να μεταφέρει ένα όργανο καταγραφής του υπέρυθρου (διαύλου) καναλιού που όμως ποτέ δε λειτούργησε πραγματικά, λόγω διαφόρων βλαβών.

Δύο ήταν τα βασικά είδη οργάνων που μετέφεραν για την καταγραφή της επιφάνειας της γης οι δορυφόροι LANDSAT 1-3:

**α) Τις Κάμερες Επιστρεφόμενης Δέσμης (Return Beam Vidicon - RBV cameras).**

Για τους LANDSAT 1 και 2 οι τρεις RBV κάμερες που μετέφεραν δεν είχαν και ιδιαίτερη επιτυχία. Εστιασμένες στην ίδια περιοχή του εδάφους κάλυπταν τα εξής μήκη κύματος (σε  $\mu\text{m}$ : 0,475 - 0,575 (μπλε-πράσινο), 0,58 - 0,68 (κίτρινο-κόκκινο) και 0,69 - 0,83 (κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο)). Ονομάστηκαν κανάλια 1, 2, 3 και είχαν διακριτική ικανότητα 79m και κάλυπταν για κάθε εικόνα μια περιοχή 185Km x 185Km. Επειδή όμως η διάρκεια ζωής τους ήταν μόνον 45 ώρες, στον LANDSAT 3 ακολουθήθηκε διαφορετική τακτική. Δύο ολοίδιες πανχρωματικές RBV κάμερες με φασματικό εύρος 0,5 - 0,75 $\mu\text{m}$  (από το πράσινο έως το εγγύς υπέρυθρο), με βελτιωμένη διακριτική ικανότητα επί του εδάφους 24m και περιοχή κάλυψης επί του εδάφους 98Km x 98Km (έτσι τέσσερα ελαφρά υπερκαλυπτόμενες εικόνες έδιναν την ίδια περιοχή με την περιοχή των LANDSAT 1 και 2).

**β) Τον Πολυφασματικό Σαρωτή (Multispectral Scanner - MSS).**

Είναι ένα cross-track σύστημα σάρωσης με έναν ταλαντούμενο καθρέπτη που σαρώνει μια λωρίδα γης πλάτους 185Km. Για τους LANDSAT 1,2 και 3 η γωνία σάρωσης ήταν 11,56° στα 705Km ύψους πτήσης τους ενώ για τους LANDSAT 4-5 αυξήθηκε στις 14,9° [βιβλιογρ. 14]. Η διακριτική ικανότητα (το μέγεθος του pixel στην επιφάνεια του εδάφους) ήταν 79m x 79m, και υπήρχε υπερκάλυψη των διαδοχικών pixels κατά 11,5m έτσι ώστε τα κέντρα τους απείχαν 56m. Στους LANDSAT 1 και 2 υπήρχαν τέσσερα κανάλια που ονομάστηκαν 4, 5, 6 και 7 και αντιστοιχούσαν στα μήκη κύματος σε  $\mu\text{m}$  0,5 - 0,6, 0,6 - 0,7, 0,7 - 0,8, και 0,8 - 1,1. Στον LANDSAT 3 έγινε προσπάθεια να προστεθεί ένα 5ο κανάλι από τα 10,4 έως τα 12,5 $\mu\text{m}$  με μέγεθος pixel 237m x 237m αλλά δεν έδωσε καλές εικόνες.

**γ) Το Θεματικό Χαρτογράφο (Thematic Mapper - TM) - LANDSAT 4 και 5.**



Τον Ιούλιο του 1982 και το Μάρτιο του 1984 πέταξαν οι LANDSAT 4 και 5. Εκτός του ότι η πλατφόρμα που μετέφερε τα διάφορα όργανα ήταν τελείως διαφορετική, μια χαμηλότερη τροχιά γύρω στα 700Km προτιμήθηκε για να είναι δυνατές οι επιδιορθώσεις από το διαστημικό λεωφορείο (space shuttle).

Η διακριτική ικανότητα του καινούριου MSS ήταν 82m, τα κανάλια μετονομάστηκαν από 4, 5, 6, 7 σε 1, 2, 3, 4 και η RBV κάμερα εγκαταλείφθηκε.

Επιπλέον, ο θεματικός χαρτογράφος, ένα καινούριο όργανο με ένα ραδιόμετρο υψηλής διακριτικής ικανότητας 30m στα έξι κανάλια του και 120m στο θερμικό υπέρυθρο, αποτελεί το νέο όργανο καταγραφής των LANDSAT 4 και 5.

Μια άλλη πολύ σημαντική διαφορά μεταξύ του MSS και του TM είναι ο βαθμός ακρίβειας των δεδομένων, δηλ. ο αριθμός των διαφορετικών επιπέδων (χρωμάτων) τιμών που μπορεί να πάρει ένα pixel: έτσι, ενώ στον MSS έχουμε  $2^6$  διαβαθμίσεις (64), στον Thematic Mapper έχουμε  $2^8$ , δηλ. 256 διαφορετικές ραδιομετρικές τιμές που μπορεί να πάρει ένα pixel, δηλ.. από 0 έως 255.

Στον πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε τα κυριότερα χαρακτηριστικά του πολυφασματικού σαρωτή (MSS) και του θεματικού χαρτογράφου (TM) των δορυφόρων LANDSAT 4 και 5.

ΚΑΝΑΛΙ	Μήκος κύματος MSS	Μήκος κύματος TM	ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΤΜ (μόνον)
1	0,5 - 0,6	0,45 - 0,52	Χαρτογράφηση παράκτων υδάτων. Διαφοροποίηση εδάφους - βλάστησης.
2	0,6 - 0,7	0,52 - 0,60	Ανάκλαση στο πράσινο από υγιή βλάστηση
3	0,7 - 0,8	0,63 - 0,69	Απορρόφηση χλωροφύλλης, διαχωρισμός φυτών
4	0,8 - 1,1	0,76 - 0,90	Απογραφή βιομάζας
5		1,55 - 1,75	Υγρασία βλάστησης. Διαχωρισμός χιονιού -

			νεφών
6		10,4 - 11,7	Θερμική χαρτογράφηση
7		2,08 - 2,35	Φυτική υγρασία - Γεωλογική χαρτογράφηση
Μέγεθος έδαφος	pixel στο	82m	Κανάλια 1 έως 5 και 7: 30m, κανάλι 6: 120m
Ραδιομετρικές διαβαθμίσεις		64	256
Ρυθμός δεδομένων	απόκτησης	15Mbps	85Mbps
Βάρος		68Kg	258Kg
Μέγεθος		0,35 x 0,4 x 0,9m	1,1 x 0,7 x 2m
Ισχύς (ηλεκτρ.)		50 Watts	332 Watts

Στη συνέχεια, ο LANDSAT 6, ενώ σχεδιάστηκε να εκτοξευτεί το 1989, τέθηκε σε τροχιά το 1991 και έφερε και τα εξής όργανα σάρωσης:

- 1) Έναν ενισχυμένο θεματικό χαρτογράφο που εκτός από τα επτά κανάλια του προηγούμενου TM περιέχει και ένα όγδοο με εύρος φάσματος από 0,5 έως 0,9 $\mu$ m, ειδικός για χαρτογράφηση. **[βιβλιογρ. 11]**
- 2) Έναν σαρωτή Sea Wide Field Sensor που έχει τη δυνατότητα καταγραφής του χρώματος και της θερμοκρασίας των ωκεανών της υδρογείου σε 16 ημέρες, με διακριτική ικανότητα 1,13Km. Τέθηκε σε τροχιά με τη βοήθεια πυραύλου σε ύψος 705Km.

Τέλος, το 1993 εκτοξεύτηκε ο LANDSAT 7 που έχει μια σημαντική βελτίωση στο θερμικό υπέρυθρο κανάλι. Έτσι, η διακριτική του ικανότητα αντί 120m είναι 60m και επιπλέον στη φασματική περιοχή από 8 έως 11,6 $\mu$ m έχει τέσσερις ζώνες (κανάλια).

### 2.2.3.β ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ SPOT

Το 1986 η Γαλλία εκτοξεύει από τη Γαλλική Γουινέα το δορυφόρο SPOT 1 (Systeme probatoire d` Observation de la terre) μέσω του ευρωπαϊκού πυραύλου Αριάννη. Έχει κυκλική τροχιά με κλίση  $98,7^\circ$  με τον Ισημερινό, καθιστώντας τον έτσι ηλιοσύγχρονο και πετά σε ύψος 822Km. Η περίοδος περιστροφής του είναι 101 λεπτό και πραγματοποιώντας  $14+5/26$  περιστροφής ημερησίως σε 26 ημέρες επανατοποθετείται στην αρχική του τροχιά έχοντας πραγματοποιήσει 369 περιστροφές. Μεταφέρει δύο ολόidia ραδιόμετρα που λέγονται Ραδιόμετρα Υψηλής Διακριτικής ικανότητας στο Ορατό φάσμα (HRV - Haute Resolution Visible).

Το πλάτος τροχιάς του είναι 60Km με πλευρική υπερκάλυψη κατά 3Km, και η καταγραφή στα HRV γίνεται στα τρία φασματικά κανάλια του που είναι από 0,5 έως 0,59, από 0,61 έως 0,68 και από 0,79 έως 0,89. Εκτός όμως από την καταγραφή αυτή στα τρία κανάλια, διαθέτει και μια καταγραφή σ' ένα μόνο κανάλι, το λεγόμενο **πανχρωματικό**, που είναι από 0,51 έως 0,73 $\mu\text{m}$ .

Μια πλήρης εικόνα scene του SPOT καλύπτει 60 x 60 Km και η διακριτική του ικανότητα είναι στα τρία κανάλια 20m και στο πανχρωματικό στα 10m.

Τα ψηφιακά δεδομένα συλλογής είναι 8-μπιτα (δηλ.  $2^8 = 256$  διαβαθμίσεις του γκρι) και η ικανότητα αποστολής δεδομένων ανέρχεται σε 48Mb/sec.

Ο SPOT 2 εκτοξεύθηκε το 1990 και έχει κάποιες μικρές τεχνικές διαφορές με το 1 (ανιχνευτές CCD Thomson αντί Fairchild) και ο SPOT 3 που εκτοξεύθηκε το 1993 και διαθέτει ένα κανάλι στο μέσο υπέρυθρο φάσμα μεταξύ 1,5 και 1,7 $\mu\text{m}$ , ειδικό για την επίβλεψη της κατάστασης της βλάστησης.

### **3. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ**

#### **3.1. ΓΕΝΙΚΑ**

Όπως σχεδόν σε κάθε μέτρηση υπεισέρχονται σφάλματα, έτσι και στις ραδιομετρικές μετρήσεις-καταγραφές στην τηλεπισκόπηση έχουμε την εμφάνιση δύο γενικών κατηγοριών σφαλμάτων: τα ραδιομετρικά και τα γεωμετρικά.

Ο διαχωρισμός μεταξύ τους είναι αρκετά σαφής: Ραδιομετρικά σφάλματα είναι εκείνα που προκαλούν αλλαγή της ραδιομετρικής τιμής ενός pixel μεταξύ της πραγματικής του τιμής στο έδαφος και της καταγραφής του από τους απεικονιστές των δορυφόρων, ενώ γεωμετρικά εκείνα που προκαλούν αλλαγές στο σχήμα των δορυφορικών εικόνων.

#### **3.2. ΠΗΓΕΣ, ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥΣ**

##### **3.2.1. ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΟΡΓΑΝΑ**

1ο Οι πολλαπλοί ανιχνευτές που υπάρχουν στους απεικονιστές, όπως π.χ. στους MSS ή TM του LANDSAT, έχουν μεταξύ τους μικρές φυσικές διαφορές, έτσι ώστε να εμφανίζονται διαφορές στη ραδιομετρία που καταγράφεται από διαφορετικούς ανιχνευτές, ακόμη και αν προκειται για το ίδιο αντικείμενο, την ίδια ώρα. **[βιβλιογρ. 17]**

Έτσι συγκεκριμένα, σε μερικές εικόνες του πολυφασματικού σαρωτή (MSS) του LANDSAT συμβαίνει συχνά τα δεδομένα ενός από τους έξι ανιχνευτές ή να λείπουν, οπότε κάθε έξι γραμμές στην εικόνα να έχουν μια που να περιέχει μόνον την τιμή 0 ή να είναι τελείως λανθασμένα. Η επανάληψη αυτή του λάθους λέγεται ή “περιοδική απόρριψη γραμμών” (periodic line dropout) **[βιβλιογρ. 14]** ή κατ’ άλλους συγγραφείς “δημιούργια λωρίδων ανά έξι γραμμές” (six-line banding) **[βιβλιογρ. 8]**. Αυτό συμβαίνει επειδή ο πολυφασματικός σαρωτής (MSS) σαρώνει συγχρόνως έξι γραμμές μιας εικόνας. Ανάλογο φαινόμενο συμβαίνει μερικές φορές και στο

θεματικό χαρτογράφο TM του Landsat αλλά κάθε δεκαέξι γραμμές, λόγω αντίστοιχης σάρωσης του απεικονιστή αυτού.

Η μέθοδος διόρθωσης του περιοδικού αυτού σφάλματος είναι σχετικά απλή και οδηγεί σε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Έτσι, ας υποθέσουμε ότι έχουμε την παρακάτω δορυφορική εικόνα (παράθυρο) σε ψηφιακή μορφή (σε μορφή πίνακα αριθμών με τιμές από 0 έως  $(2^8-1)$ ) που εμφανίζει το περιοδικό σφάλμα των έξι γραμμών που αναφέρθηκε παραπάνω.

Αριθ γραμμών

6κ-2	7	8	10	9	12
6κ-1	10	12	11	14	13
6κ	0	0	0	0	0
6κ+1	13	15	14	16	18
6κ+2	12	14	13	10	11

όπου  $\kappa \in \mathbb{N}_0^+$ , (δηλ.  $\kappa=0, 1, 2, \dots$ )

Τα βήματα που ακολουθούνται για τη διόρθωση του σφάλματος αυτού είναι τα παρακάτω:

1ο βήμα: Βρίσκουμε τη μέση τιμή των ραδιομετρικών τιμών κάθε γραμμής· έτσι θα έχουμε αντίστοιχα

Γραμμή	Μέση τιμή
6κ-2	9
6κ-1	12
6κ	0
6κ+1	15
6κ+2	12

2ο βήμα: Βρίσκουμε τη μέση τιμή όλων των ραδιομετρικών τιμών της εικόνας, δηλ.  $\sum d_i = 242$  όπου  $d_i$  η ραδ. τιμή του κάθε pixel και

3ο βήμα: Ορίζουμε ένα διάστημα εμπιστοσύνης για τη μέση τιμή. Αυτό μπορεί να βρεθεί εάν π.χ. θεωρήσουμε ένα παράθυρο μεγέθους μεγαλύτερου από 30 pixels, οπότε και η κατανομή των ραδιομετρικών τιμών μπορεί να θεωρηθεί κανονική\*. Έστω ότι εδώ θεωρούμε ότι η μέση τιμή κάθε γραμμής δεν μπορεί να διαφέρει πάνω από πέντε μονάδες από τ συνολική μέση τιμή. Έτσι απορρίπτουμε τη γραμμή 6κ.

4ο βήμα: Αντικαθιστούμε τις τιμές των pixels της απορριφθείσας γραμμής με το μέσο όρο των τιμών των pixels της προηγούμενης και επόμενης γραμμής. Έτσι η γραμμή γίνεται 12 14 13 15 16

β) Παραπλήσιο με το προηγούμενο σφάλμα είναι το λεγόμενο “Σφάλμα περιοδικών γραμμωτών ραβδώσεων” (periodic line striping).

Πριν ακόμη από την εκτόξευση του δορυφόρου όπως τα διάφορα όργανα, έτσι και οι ανιχνευτές ελέγχονται και υφίστανται τις απαραίτητες διορθώσεις ώστε να τυποποιηθούν, σύμφωνα με τους κανόνες του κατασκευαστή. Όμως, με την πάροδο του χρόνου και κατά συνέπεια με τη φθορά που υφίστανται, είναι δυνατόν, όπως και προηγουμένως, κάθε γραμμή που καταγράφεται από τον ελαττωματικό ανιχνευτή να εμφανίζει τιμές πολύ υψηλότερες ή πολύ χαμηλότερες από αυτές που θα έπρεπε.

Μια διορθωτική μέθοδος του σφάλματος αυτού είναι ο σχεδιασμός των έξι ιστογραμμών για του έξι ανιχνευτές του MSS (ουσιαστικά για το σύνολο των έξι ομάδων των γραμμών της εικόνας που προκύπτουν εάν τις θεωρήσουμε ανά έξι, δηλ. 1η ομάδα (1ος ανιχνευτής): γραμμές 1η, 7η, 13η, 19η . . . 2η ομάδα: γραμμές 2η, 8η, 14, . . . κλπ) και σύγκριση των ιστογραμμάτων αυτών με το ιστόγραμμα που προκύπτει από όλη την εικόνα συνολικά.

Έτσι για κάθε ανιχνευτή, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση μετασχηματίζονται ώστε να συμβαδίζουν με τα αντίστοιχα της εικόνας ολόκληρης. Π.χ. εάν η μέση τιμή ενός ανιχνευτή είναι 45 και όλης της εικόνας 22, τότε όλες οι τιμές των γραμμών που αντιστοιχούν στον ανιχνευτή αυτόν πολ/νται με 0,5.

γ) Ίσως πιο δύσκολα να διορθωθούν είναι τα τυχαία (σε χωρικές συντεταγμένες) σφάλματα και όχι τα συστηματικά, όπως στις προηγούμενες δύο περιπτώσεις.

---

$$\bar{X} = N\left(\bar{\mu}, \frac{\sigma^2}{n}\right)^*$$

Για κανονικό πληθυσμό.

Συνήθως τα τυχαία σφάλματα εντοπίζονται σε μεμονωμένα pixels, τα οποία εμφανίζουν τιμές πολύ μεγαλύτερες ή πολύ μικρότερες από τα γειτονικά τους. Σχετικά με την οπτική εμφάνιση της εικόνας με τυχαία σφάλματα αυτού του είδους, (αναφέρουμε ότι) φαίνεται να έχει κηλίδες πολύ φωτεινότερες και σκοτεινότερες από τον περιβάλλοντα χώρο τους. Πρόβλημα τα μεμονωμένα αυτά pixels δημιουργούν ακι στις μεθόδους ανάλυσης δεδομένων και ταξινόμησης που εφαρμόζονται στην εικόνα.

Μια από τις μεθόδους που εφαρμόζεται για την εξάλειψη αυτών των κηλίδων είναι η μέθοδος της κινητής μέσης τιμής που έχει ως εξής:

Σχεδιάζεται ένα πυρήνας φίλτρου (filter Kernel) που είναι ένας διδιάστατος τετραγωνικός πίνακας από pixels με περιττό αριθμό pixels και στις δύο διαστάσεις του (π.χ. 3 x 3).

Η ύπαρξη του περιττού αριθμού pixels δημιουργεί αναγκαστικά ένα κεντρικό pixel το οποίο θα τροποποιηθεί με την εφαρμογή της κινητής μέσης τιμής.

Υπολογίζεται η μέση τιμή του πυρήνα φίλτρου, ο οποίος ουσιαστικά είναι το πρώτο 3 x 3 τετράγωνο στην επάνω αριστερά γωνία της εικόνας.

Υπολογίζεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση όλων των pixels της εικόνας.

Εάν τώρα το κεντρικό pixel του πυρήνα βρίσκεται εκτός ενός διαστήματος εμπιστοσύνης (π.χ. μέση τιμή  $\pm 2$  τυπικές αποκλίσεις) τότε αντικαθίσταται από τη μέση τιμή του πυρήνα. Αλλιώς κρατά την τιμή που έχει. Μετακινώντας τον πυρήνα διαδοχικά για όλα τα pixels μιας γραμμής και στη συνέχεια για όλες τις γραμμές (ουσιαστικά διαγράφοντας όλον τον πίνακα) επαναλαμβάνουμε την προηγούμενη διαδικασία. Σημειωτέο ότι η διαδικασία αυτή του φίλτρου της κινητής μέσης τιμής.

δ) Άλλη μια πηγή ραδιομετρικού σφάλματος είναι η ατμοσφαιρική διάχυση.

Για τις εικόνες του MSS του Landsat το κανάλι 4 εμφανίζει μεγάλη επιρροή από τη διάχυση της ακτινοβολίας, ενώ το κανάλι 7 σχεδόν καθόλου.

Γενικά, όταν το κοντράστ της εικόνας είναι χαμηλό, η διάχυση προκαλεί θόλωμα (ομίχλη) στην εικόνα.

Για το λόγο αυτό υπολογίζεται ένας διορθωτικός συντελεστής για τα διάφορα κανάλια του MSS. (Επειδή το κανάλι 7 δεν επηρεάζεται καθόλου από ατμοσφαιρικά φαινόμενα, τα σύννεφα και το νερό στο κανάλι αυτό έχουν τιμές 0 ή 1)

Μια από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να εξαλειφθεί το θόλωμα (προς το φωτεινότερο) βασίζεται στην ευθεία των ελαχίστων τετραγώνων της γραμμικής παλλινδρόμησης.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ διόρθωσης θορύβου στις ραδιομετρικές τιμές δορυφορικών εικόνων. [βιβλιογρ. 15] (Σχ. 2)

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 1

P.T.1   P.T.4   P.T.7  
P.T.2   P.T.5   P.T.8  
P.T.3   P.T.6   P.T.9

P.T. I   : ραδιομετρική τιμή i  
M.T.Γ. i : μέση τιμή γραμμής i  
M.T.Σ. i : Μέση τιμή στήλης i

Αλγόριθμοι διόρθωσης (P.T.' i: διορθωμένη P.T.i)

1ον   Μεμονομένου κεντρικού pixel (P.T. 5)

Ορίζουμε τις παρακάτω μέσες τιμές

$$MT\ 1 = (PT1 + PT3 + PT5 + PT7)/4$$

$$MT\ 2 = (PT2 + PT4 + PT6 + PT8)/4$$

και τη διαφορά τους  $\Delta = |MT1 - MT2|$

Εάν  $|PT5 - MT1| > \Delta$  ή  $|PT5 - MT2| > \Delta$

τότε  $PT'5 = MT2$  ειδάλλως  $PT'5 = PT5$

2ο   Μεσαίας γραμμής (ότι εφαρμόζεται στον παρακάτω αλγόριθμο για το κεντρικό pixel θα εφαρμοστεί στη συνέχεια με τον ίδιο τρόπο για όλα τα pixels της μεσαίας γραμμής).

Όπως και παραπάνω, ορίζουμε

$$MT1 = (PT1 + PT4 + PT7)/3 \text{ και } MT2 = (PT3 + PT6 + PT9)/3$$

και τη διαφορά τους  $\Delta = (MT1 - MT2)$



Εάν  $|PT5 - MT1| > \Delta$  ή  $|PT5 - MT2| > \Delta$  τότε

$PT'5 = (PT4 + PT6)/2$  αλλιώς  $PT'5 = PT5$

3ο Μεσαίας στήλης (ανάλογα με το 2ο)

$(MT1) = (PT1 + PT2 + PT3)/3$

$(MT2) = (PT7 + PT8 + PT9)/3$

$\Delta = (MT1 - MT2)$

Εάν  $|PT5 - MT1| > \Delta$  ή  $|PT5 - MT2| > \Delta$  τότε  $PT'5 = (PT2 + PT8)/2$  αλλιώς  $PT'5 =$

$PT5$

### **3.2.2 ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΑ ΑΙΤΙΑ (Ατμόσφαιρα, Γήινη Επιφάνεια)**

α) Για τις εικόνες του MSS του Landsat το κανάλι 4 εμφανίζει μεγάλη επιρροή από την ατμοσφαιρική διάχυση της ακτινοβολίας, ενώ το κανάλι 7 σχεδόν καθόλου.

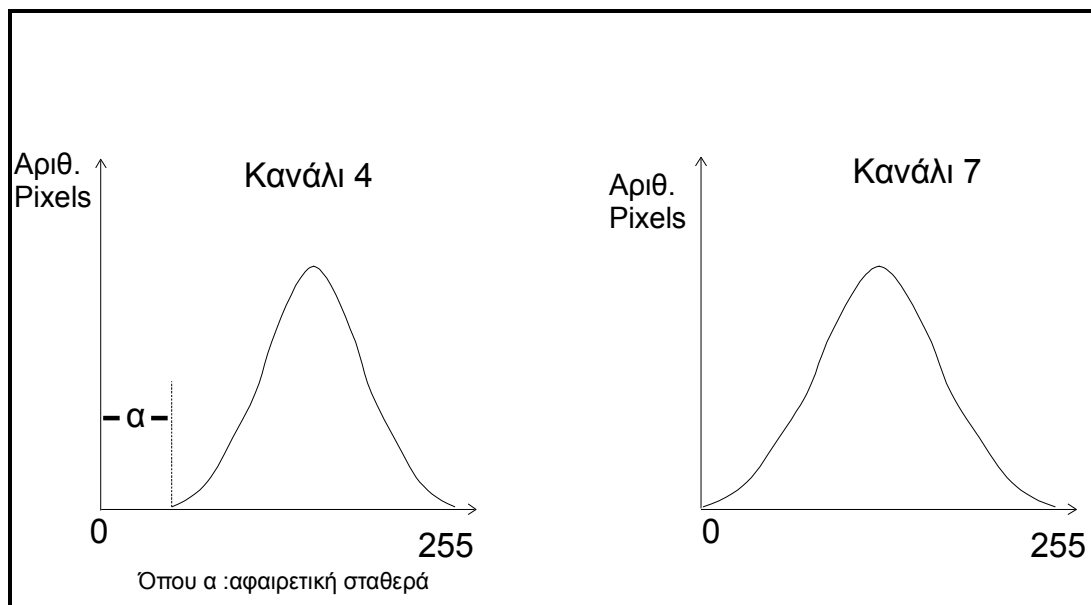
Γενικά, το κοντράστ της εικόνας είναι χαμηλό από τη διάχυση που προκαλεί θόλωμα (ομίχλη) στην εικόνα. Για το λόγο αυτό, υπολογίζεται ένας διορθωτικός συντελεστής για τα διάφορα κανάλια του MSS.

Μια από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να εξαλειφθεί το θόλωμα (προς το φωτεινότερο) βασίζεται στη γραμμική (ή άλλη) παλλινδρόμηση που εφαρμόζεται μεταξύ των ραδιομετρικών τιμών των καναλιών 4 και 7. Εάν δεν υπάρχει θόλωμα στην εικόνα του καναλιού 4 λόγω ατμοσφαιρικής διάχυσης, η ευθεία της γραμμικής παλλινδρόμησης θα περνάει από την αρχή των αξόνων (ουσιαστικά οι ραδιομετρικές τιμές στα αντίστοιχα pixels των δύο καναλιών θα είναι πολλαπλάσια η μία της άλλης).

Εάν όμως υπάρχει διάχυση, στο 4 αυξάνει η φωτεινότητα των αντικειμένων και συνεπώς η ραδιομετρία τους. Άρα και η γραμμή παλλινδρόμησης θα τέμνει τον άξονα εκείνο που εκφράζει το κανάλι 4. Η σχετικά απλή διόρθωση του φαινομένου αυτού συνίσταται στην αφαίρεση του σταθερού όρου που εκφράζει το που τέμνει η γραμμή παλλινδρόμησης το κανάλι 4 (τον αντίστοιχο άξονα) από όλες τις ραδιομετρικές τιμές του καναλιού 4.

Μια ακόμη τεχνική που εφαρμόζεται **[βιβλιογρ. 14]** για τη διόρθωση του παραπάνω σφάλματος είναι η αφαίρεση της ραδιομετρίας, που προκαλεί μια ελαφρά μετατόπιση του όγκου του ιστογράμματος στο κανάλι 4, εν σχέσει με το 7, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Σημειωτέο ότι η απόσταση  $\alpha$  μειώνεται από το κανάλι 1 προς το 4. Δηλ. στο 1 είναι μεγαλύτερη, στο 2 λίγο μικρότερη κ.ο.κ. **[βιβλιογρ. 9]**

ΣΧΗΜΑ 1



β) Ένα άλλο φυσικό αίτιο που προκαλεί ραδιομετρικά σφάλματα είναι η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. **[βιβλιογρ. 20]**

Επειδή η καταγραφόμενες επιφάνειες από τους δορυφόρους σπάνια δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία με γωνία πρόσπτωσης  $90^\circ$ , εάν ονομάσουμε  $N$  την ένταση της φωτεινής ροής που δέχεται η καταγραφόμενη επιφάνεια και  $N_\eta$  την αντίστοιχη ένταση μιας επιφάνειας κάθετης στην ηλιακή ακτινοβολία και σχηματίζοντας γωνία  $\theta$  με τη γήινη επιφάνεια (οπότε και η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας με την κατακόρυφο στη γήινη επιφάνεια θα είναι  $\theta$ ) θα έχουμε:  $N = N_\eta \cos\theta$

Έτσι το μέγιστο ποσό της φωτεινής ροής που δέχεται η επιφάνεια της γης είναι το μεσημέρι (περίπου κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας)

γ) Ο ατμοσφαιρικός φωτισμός τέλος είναι μια άλλη πηγή ραδιομετρικών σφαλμάτων που αντιμετωπίζονται κατά παρόμοιο τρόπο με τον προηγούμενο.

### 3.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

#### 3.3.1. ΠΗΓΕΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ (ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ)

Οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στη δημιουργία γεωμετρικών σφαλμάτων [βιβλιογρ. 9] είναι οι παρακάτω:

1. Η περιστροφή της γης κατά τη διάρκεια της καταγραφής της δορυφορικής εικόνας.
2. Ο περιορισμένος, χρονικά, ρυθμός σάρωσης ορισμένων ανιχνευτών.
3. Το μεγάλο εύρος πεδίο καταγραφής μερικών ανιχνευτών.
4. Η καμπυλότητα της γήινης επιφάνειας.
5. Τα σφάλματα κατασκευής των ανιχνευτών.
6. Οι διάφορες παραλλαγές στο ύψος, στον προσανατολισμό (διεύθυνση) και στην ταχύτητα (της πλατφόρμας) του δορυφόρου.
7. Τα πανοραμικά εφφέ (εντυώσεις) που σχετίζονται με τη γεωμετρία της εικόνας.

#### 3.3.2. ΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Οι παραπάνω παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν συστηματικά ή μη συστηματικά γεωμετρικά σφάλματα.

Τα μη συστηματικά σφάλματα προέρχονται συνήθως από απρόβλεπτες μεταβολές στον προσανατολισμό, στο ύψος και την ταχύτητα κίνησης του δορυφόρου, και αλλαγές στο υψόμετρο της περιοχής που καταγράφεται. Έτσι, για τη διόρθωση των λαθών αυτών είναι απαραίτητη η γνώση μερικών **Επίγειων Σημείων Ελέγχου (Ground Control Points)** των οποίων γνωρίζουμε και τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες (δηλ. είναι δυνατό να προσδιοριστούν στην επιφάνεια του εδάφους) αλλά και την τοποθέτησή τους στη δορυφορική εικόνα, σα με μονωμένα ή σαν ομάδες από pixels (τοποθέτηση κατά γραμμή και κατά κολόνα).

Επειδή η αναγνώρισή τους στη δορυφορική εικόνα προϋποθέτει να είναι εύκολα αναγνωρίσιμα σε οποιαδήποτε εποχή του χρόνου (για διακριτική μελέτη) αλλά και για οποιοδήποτε φασματικό κανάλι (διαφασματική μελέτη) ακόμα και σε εικόνες διαφορετικών φορυφόρων που έχουν κοντινά μεγέθη pixels (π.χ. Landsat και SPOT), αυτά τα σημεία πρέπει να είναι χαρακτηριστικά και σχετικά αμετάβλητα ως προς τη σχετική τους ραδιομετρία με τα γειτονικά pixels.

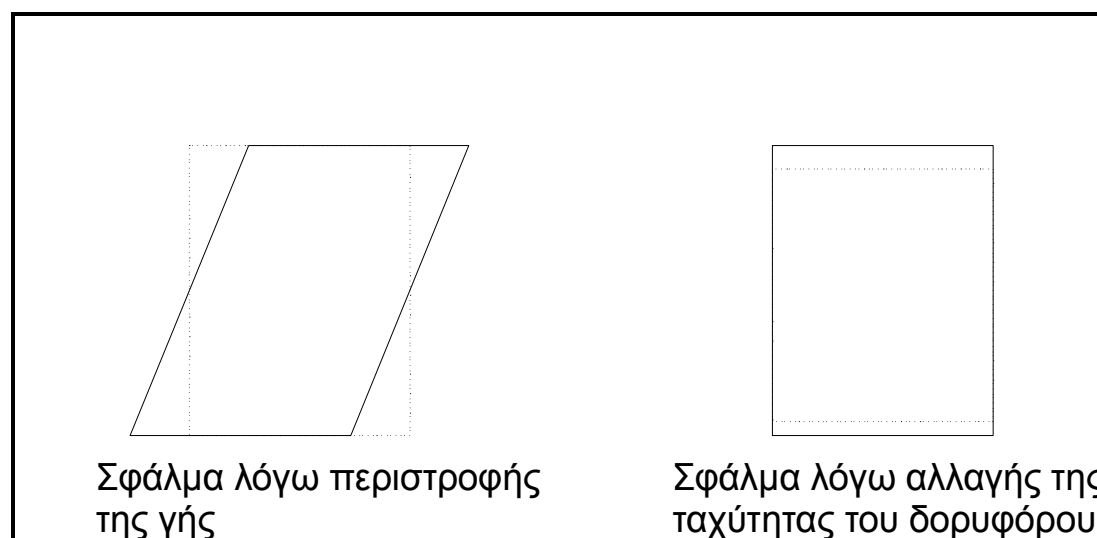
Έτσι, τέτοιου είδους σημεία θα μπορούσαν να είναι οι διασταυρώσεις ασφαλτοστρωμένων δρόμων, χαρακτηριστικά σημεία σε αεροδρόμια, λιμάνια, μεμονωμένα στίρια ή ακόμη και μικρές ακάλυπτες βραχώδεις εκτάσεις διάφορα άλλα.

Ωστόσο υπάρχουν και μη συστηματικά σφάλματα τα οποία για να διορθωθούν δε χρειάζεται να γνωρίζουμε **Επίγεια Σημεία Ελέγχου**. Δύο χαρακτηριστικά τέτοια μη συστηματικά σφάλματα προέρχονται από την **περιστροφή της γης**, και από την **αλλάγη της ταχύτητας του δορυφόρου**.

Στα παρακάτω σχήματα 2, 3 και 4 παρουσιάζονται με συνεχείς γραμμές οι παραμορφωμένες εικόνες λόγω γεωμετρικών σφαλμάτων, και με διακεκομμένες γραμμές οι διορθωμένες εικόνες.

Στο σχήμα 2 βλέπουμε τα δύο μη συστηματικά γεωμετρικά σφάλματα για τα οποία δε χρειάζονται **Επίγεια Σημεία Ελέγχου**.

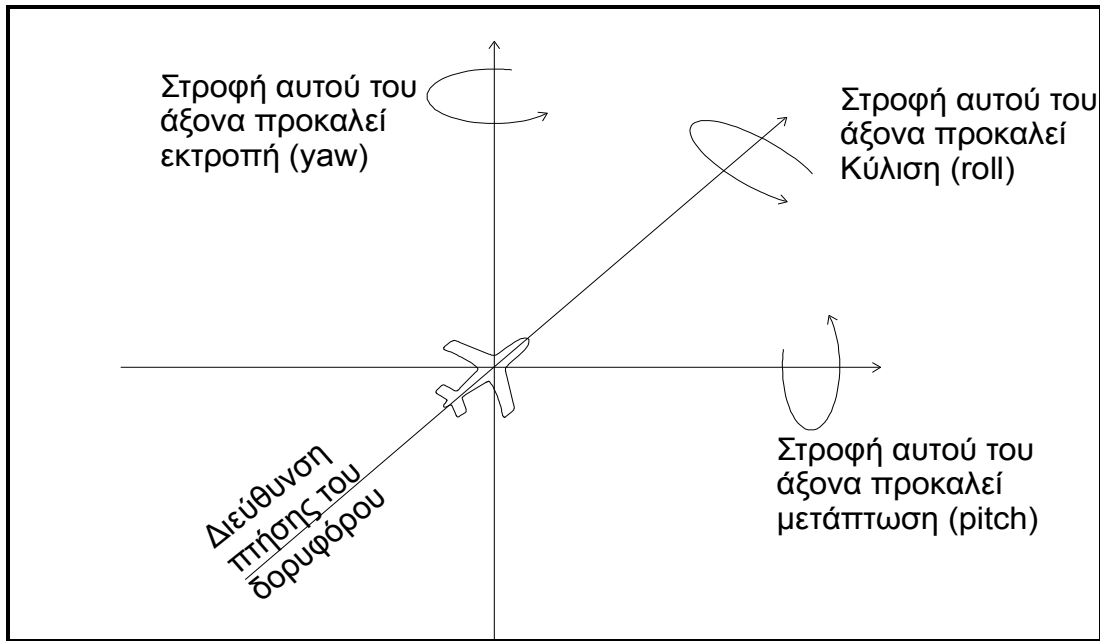
## ΣΧΗΜΑ 2



Αντίθετα με τα προηγούμενα, τα **γεωμετρικά σφάλματα** που για τη διόρθωσή τους **χρειάζονται** απαραίτητα **Επίγεια Σημεία Ελέγχου** είναι τα σφάλματα

που προέρχονται λόγω αλλαγής της υψομετρίας της καταγραφόμενης περιοχής ή λόγω στροφής του ενός από τους τρεις κάθετους άξονες που περνούν από το κέντρο του δορυφόρου. (Σχήμα 3) Τα τελευταία αυτά τρία σφάλματα προκαλούν τη μετάπτωση και την κύλιση (σε μικρό βαθμό) του δορυφόρου και προκαλούν παραμορφώσεις που φαίνονται καθαρά στο σχήμα 5.

ΣΧΗΜΑ 3



ΣΧΗΜΑ 4



### 3.3.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Τέσσερα είναι τα βασικά συστηματικά γεωμετρικά σφάλματα:

α) **Η λοξότητα στη σάρωση:** Επειδή η σάρωση από τα κάτοπτρα του σαρωτή στο δορυφόρο γίνεται κατά διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση πτήσης του δορυφόρου και επειδή για να ολοκληρωθεί μια σάρωση χρειάζεται κάποιος χρόνος  $t$  κατά τη διάρκεια του οποίου ο δορυφόρος έχει διανύσει κάποιο διάστημα, ενώ η μια διάσταση της καταγραφόμενης εικόνας θα έπρεπε να είναι κάθετη προς τη διεύθυνση πτήσης του δορυφόρου, αυτή παρουσιάζει μια σχετική κλίση ως προς τη μια από τις δύο διαστάσεις της, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1.

β) Επίσης, ενώ η ταχύτητα σάρωσης του κατόπτρου θα έπρεπε να είναι σταθερή αυτό δε συμβαίνει και έτσι η συνάρτηση γωνίας σάρωσης (ως προς την αρχική θέση του κατόπτρου) και χρόνου σάρωσης δεν είναι γραμμική όπως θα έπρεπε με συνέπεια σχετικές παραμορφώσεις στη δορυφορική εικόνα. όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2.

γ) **Η πανοραμική στρέβλωση:** Η αποτυπούμενη επιφάνεια του εδάφους είναι ανάλογη (της εφαπτομένης) της γωνίας που σχηματίζει το κάτοπτρο του σαρωτή με την κατακόρυφη. Έτσι, [βιβλιογρ. 18] αν ο σαρωτής απεικονίζει μια γήινη περιοχή μήκους  $x$  σε χρόνο  $1\text{sec}$ , η ταχύτητα καταγραφής του στην επιφάνεια της γης θα είναι  $V=xm/1\text{sec}$  και αν  $a$  είναι το ύψος πτήσης του δορυφόρου και  $\theta$  η γωνία που σχηματίζει το κάτοπτρο του σαρωτή με την κατακόρυφο που περνά από το κάτοπτρο θα έχουμε  $V= a \epsilon\phi(\text{m}/\text{sec})$  και αν παραγωγίσουμε ως προς  $\theta$

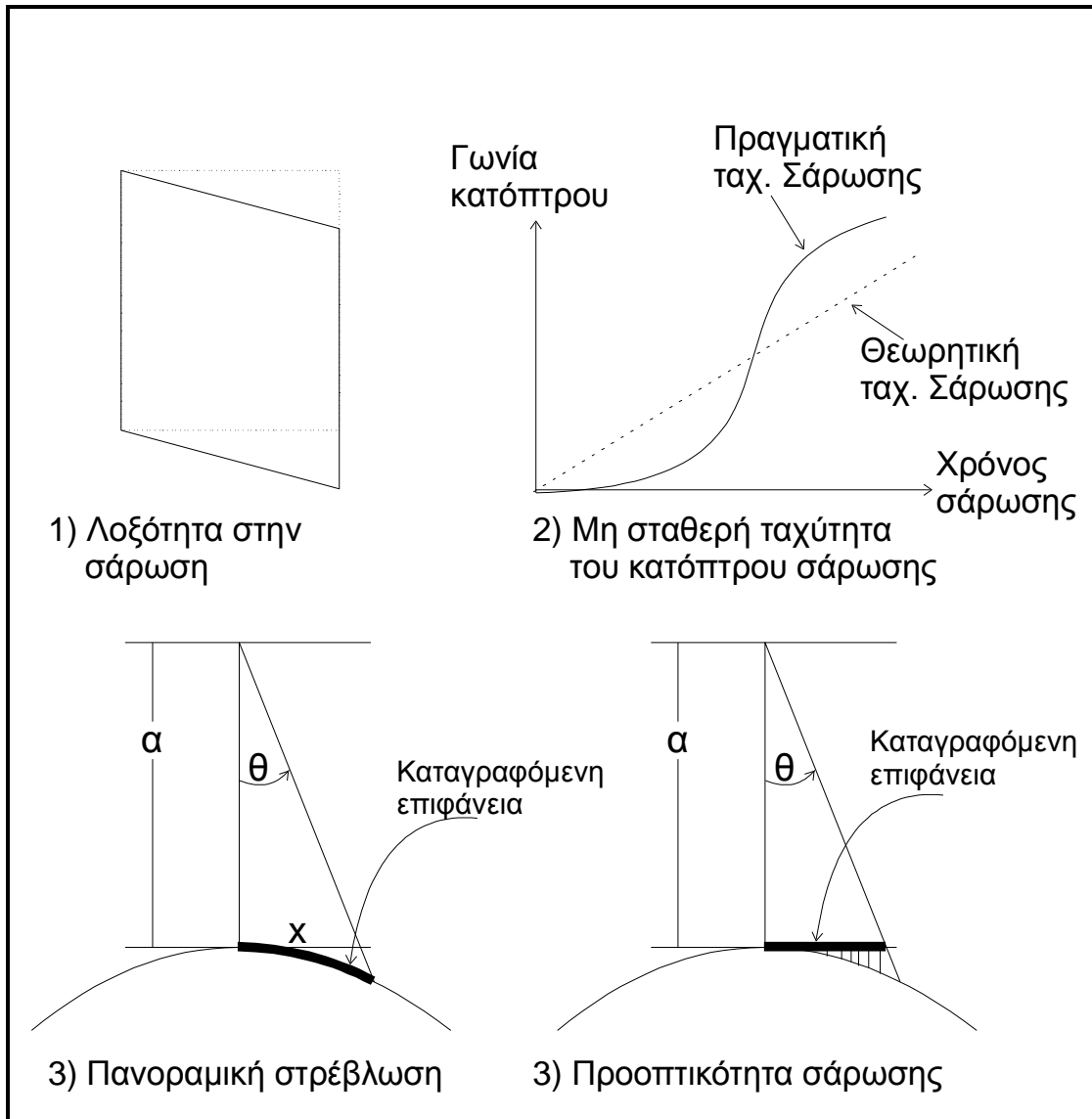
$$\Delta x/\Delta\theta = a/\cos\theta$$

$$\text{και άρα } \Delta x = \Delta\theta(a/\cos\theta)$$

Φυσικά, για σταθερό υψος πτήσης η γωνία σάρωσης αυξάνει συγχρόνως με την εφαπτομένη της (Σχ. 5.3.)

δ) **Η προοπτικότητα της σάρωσης:** Σε μερικές εφαρμογές είναι απαραίτητο να έχουμε εικόνες του πολυφασματικού σαρωτή (MSS) που θα προέρχονται από την προβολή σημείων της επιφάνειας της γης επάνω σ' ένα εφαπτόμενο στη γη (και τέτοιο ώστε οι γραμμές προβολής της γήινης επιφάνειας να είναι κάθετες σ' αυτό). Αυτό δημιουργεί παραμορφώσεις, όπως φαίνεται στο σχήμα 5

ΣΧΗΜΑ 5



# ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Η προσπίπτουσα στην επιφάνεια τής γης Η/Μ ακτινοβολία μπορεί να ανακλάθει, να διαχυθεί ή να απορροφηθεί. Η ποσότητα τής διαχεόμενης και ανακλώμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από τον τύπο κάλυψης γης της επιφάνειας που κάλυψε η αντίστοιχη προσπίπτουσα ακτινοβολία.

Οι αισθητήρες του δορυφόρου καταγράφουν ένα μέρος τής διαχεόμενης και εκπεμπομένης ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης, αυτό γιατί η διαχεόμενη και εκπεμπόμενη Η/Μ ακτινοβολία επηρεάζονται και αντιδρούν με τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας .

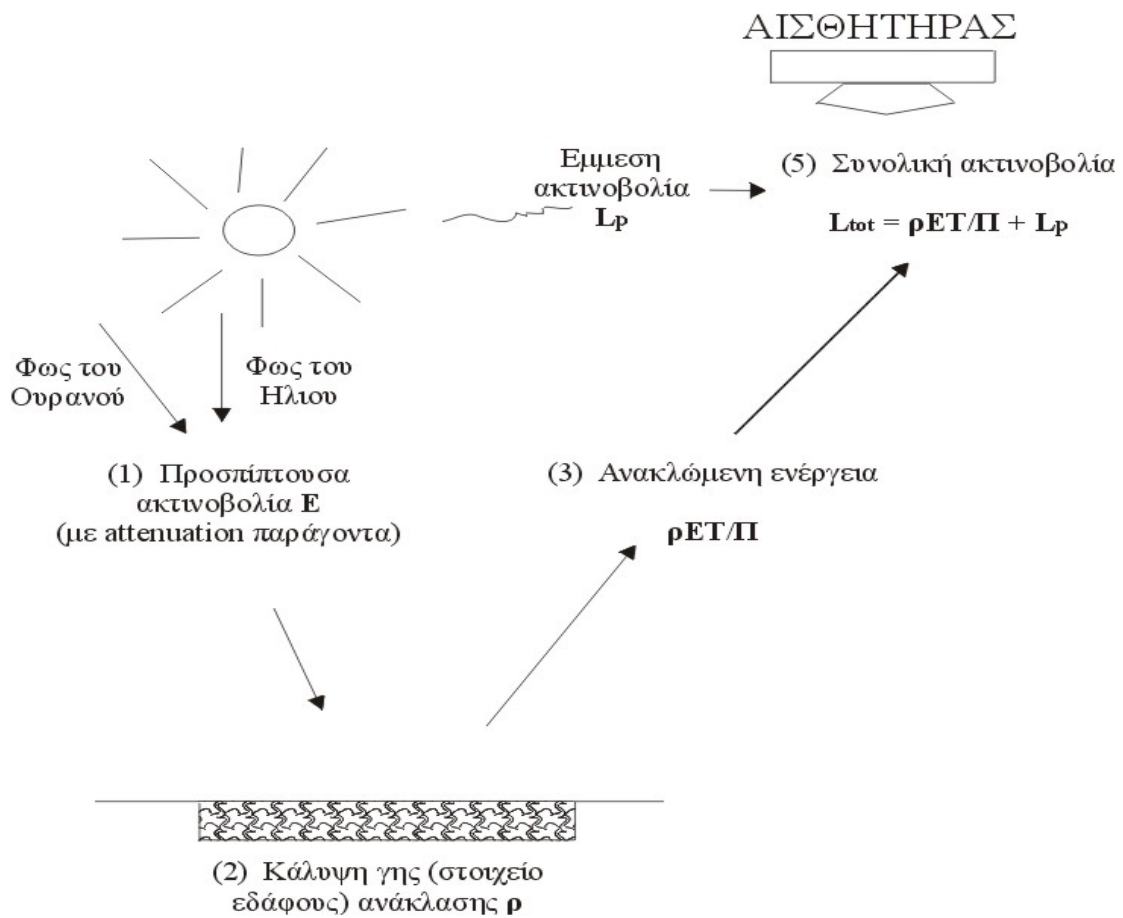
Έτσι, για κάθε εύρος ηλεκτρομαγνητικού κύματος [φασματικό κανάλι] που καταγράφεται από κάθε δορυφόρο, μία συγκεκριμένη κάλυψη γης παρέχει [μέτα από μία διαδρομή της στην ατμόσφαιρα και τις αντίστοιχες απώλειες] στον αντίστοιχο αισθητήρα του δορυφόρου μία ποσότητα Η/Μ ακτινοβολίας.

Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε κάποια ραδιομετρική τιμή. Ωστόσο κάθε pixel της ίδιας κάλυψης γης δεν παρέχει αναγκαστικά την ίδια ραδιομετρική τιμή στο ίδιο φασματικό κανάλι [οι τιμές τους όμως, εάν η μελετώμενη κάλυψη γης είναι ομογενής είναι κοντινές]. Για τον λόγο αυτό, όσο το δυνατό μεγαλύτερη συγκέντρωση pixels τής ίδιας κάλυψης γης, και εξαγωγή του μέσου όρου των ραδιομετρικών τους τιμών θα δώσει πιο σωστά αποτελέσματα για την ραδιομετρία μιας κάλυψης γης από ότι ένα ή λιγότερα pixels .

Το παραπάνω γεγονός ενισχύεται σημαντικά εάν οι ραδιομετρικές τιμές των pixels που αντιστοιχούν σε μία συγκεκριμένη κάλυψη γης, εμφανίζουν μικρή διακύμανση πράγμα που σημαίνει ότι η θεωρούμενη κάλυψη γης είναι αρκετά ομογενής.

Οι Lillesand και Kiefer [1994] δίνουν σχηματικά και ποσοτικά το σύνολο της ακτινοβολίας που φθάνει στον αισθητήρα του δορυφόρου από μία συγκεκριμένη κάλυψη γης.





Στο σχήμα φαίνεται πώς η ακτινοβολία που καταγράφεται από τον αισθητήρα επηρεάζεται άμεσα από τα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Η ποσοτικοποίηση του γεγονότος αυτού δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$L_{tot} = \rho ET/\Pi + L_p$$

- Οπου  $L_{tot}$  η συνολική ακτινοβολία που φτάνει στον αισθητήρα του δορυφόρου
- $P$  η συνολική ακτινοβολία μιας κάλυψης γης ή πιο ακριβέστερα, ενός αντικειμένου
- $E$  η προσπίπτουσα ακτινοβολία
- $T$  η εκπομπόμενη από την ατμόσφαιρα ακτινοβολία
- $L_p$  η έμμεσα παρεχόμενη ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα και όχι από τα αντικείμενα

## 2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΟΓΡΑΦΗΣ - ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Είναι ασύμφορο και πρακτικά πολύ δύσκολο να βρούμε την φασματική υπογραφή μιας κάλυψης γης μελετώντας όλη την έκταση γης που κατέχει σε μία δορυφορική εικόνα. Γι' αυτό και επιλέγουμε δειγματοληπτικές περιοχές ή όπως θα δούμε στις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις 'περιοχές εκπαίδευσης' [training sites] αντιπροσωπευτικές της κάλυψης γης που μελετούμε.

Χωρικά, οι δειγματοληπτικές αυτές περιοχές είναι οι ίδιες σ' όλα τα φασματικά κανάλια ενός δορυφόρου .

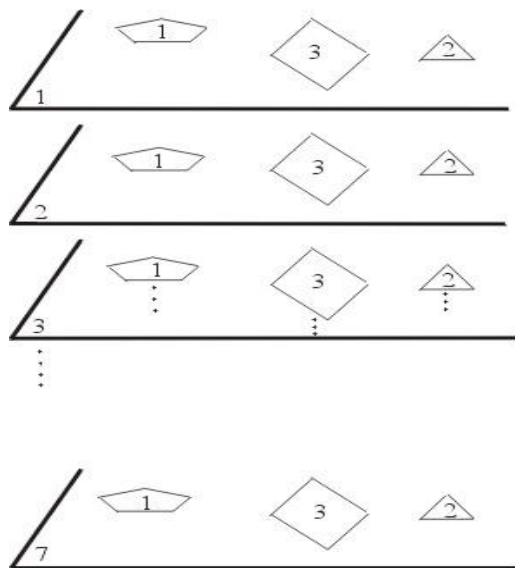
Η μέση ραδιομετρική τιμή των pixels όλων των δειγματοληπτικών περιοχών για κάθε κανάλι δημιουργεί ένα διάνυσμα το οποίο είναι χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης κάλυψης γης [με τόσες συνιστώσες όσα και τα φασματικά κανάλια].

Εάν τοποθετήσουμε τις μέσες αυτές τιμές σ' ένα σχεδιάγραμμα, δεχθούμε ότι η κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών από 0-255 [για 8-bit ψηφιακές δορυφορικές εικόνες] αντιστοιχεί σε μία κλίμακα ανακλαστικότητας, θεωρήσουμε σαν οριζόντιο άξονα του σχεδιαγράμματος το μήκος κύματος και κάθετο την ανακλαστικότητα, δημιουργούμε την φασματική υπογραφή της κάλυψης γης που μελετούμε.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ** Εστω ότι οι μέσες ραδιομετρικές τιμές όλων των pixels που περιέχονται στις τρεις δειγματοληπτικές περιοχές [όχι στα 6 κανάλια 1,2,3,4,5, και 7] του δορυφόρου Landsat, δίνονται στον πίνακα 1

### Πίνακας 1

Αριθμ. Φασμ. Καναλιών	Μέση ραδιομ. Τιμή	≈Αντίστοιχη % ανακλαστικότητα
1	28	12
2	22	8
3	50	20
4	120	48
5	100	43
7	40	18

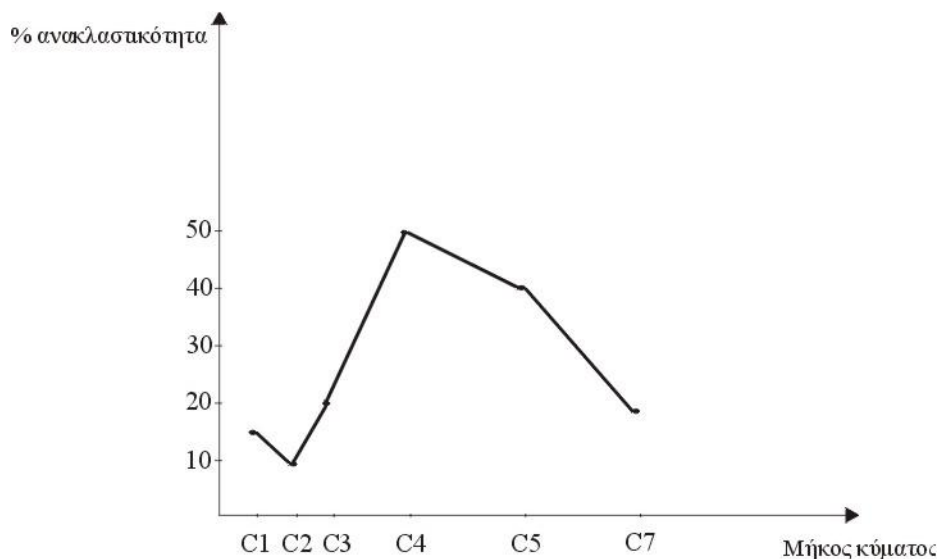


Σχ. 2 Οι δειγματοληπτικές περιοχές μιας κάλυψης γης είναι χωρικά ταυτόσημες στα φασματικά κανάλια

Πιο αναλυτικά για το 1 μόνο κανάλι έστω ότι η μία δειγματοληπτική περιοχή περιείχε 4 pixel με τιμές 26,30 , 29,27 η δεύτερη 3 pixels με τιμές 31,28,25 και η τρίτη 6 pixels με τιμές 25,26,27,29,30,31.

Έτσι η μέση ραδιομετρική τιμή για το 1 κανάλι θα είναι  $[26+30+29+27+31+28+25+25+26+27+29+30+31 / 13] = 28$

Το τελικό σχεδιάγραμμα που μας δίνει την φασματική υπογραφή της συγκεκριμένης κάλυψης γης δίνεται στο παρακάτω σχ. 3



όπου οι διαβαθμίσεις c1,c2 ,c3,c4,c5 και c7 αντιστοιχούν σημειακά και είναι τα εύρη μήκων κύματος των φασματικών κανάλιων του δορυφόρου Landsat δηλ.

C1: 0,45 – 0,52    C2: 0,52 – 0,60    C3: 0,63 – 0,69  
 C4: 0,75 – 0,90    C5: 1,55 – 1,75    C7: 2,08 – 2,35

Όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο για την φασματική υπογραφή που βρήκαμε, υπάρχουν σοβαρές πιθανότητες να είναι η φασματική υπογραφή της βλάστησης.

### 3. ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ

#### 3.1 Η ΒΛΑΣΤΗΣΗ.

Η έντονη αίσθηση ενός συγκεκριμένου και αμιγούς χρώματος όπως π.χ. του πράσινου από κάποια κάλυψη γης προκύπτει από το γεγονός ότι η συγκριμένη κάλυψη παρουσιάζει υψηλή απορρόφηση της ενέργειας που αντιστοιχεί στο μπλε και κόκκινο χρώμα ενώ αντίθετα, ανακλά πολύ στην περιοχή του φάσματος που αντιστοιχεί στο πράσινο χρώμα. Μία φυτική κάλυψη με έντονη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη παρουσιάζει αυτά τα χαρακτηριστικά.

Έτσι σχηματικά, περιμένουμε να δούμε στην φασματική υπογραφή της υγιούς βλάστησης και στην περιοχή του ορατού φάσματος μία καμπύλη που θα εμφανίζει τοπικά ελάχιστα στις περιοχές του ορατού φάσματος που αντιστοιχούν στο μπλε και κόκκινο χρώμα και τοπικό ελάχιστο στο πράσινο χρώμα. Ωστόσο, η ανακλαστικότητα της υγιούς βλάστησης σ' όλο το ορατό φάσμα είναι σχετικά χαμηλή και αυτό οφείλεται κυρίως στα συστατικά [pigments] των φύλλων. Ουσιαστικά, η απορρόφηση του μπλε και κόκκινου χρώματος στο ορατό κυμαίνεται σε ποσοστά 70-90 για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Στην συνέχεια, η φασματική υπογραφή της υγιούς βλάστησης και προς το τέλος του κόκκινου φάσματος αυξάνει απότομα και φθάνει μεταξύ 40-50% της ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο. Το κομμάτι της φασματικής υπογραφής που αντιστοιχεί σ' αυτήν την απότομη αύξηση είναι γνωστό και σαν 'κόκκινη ακμή' [Mather,1987]. Στη συνέχεια, η υγιής βλάστηση διατηρεί τις ψηλές τιμές ανακλαστικότητας στην φασματική της υπογραφή δημιουργώντας έτσι ένα πλατώ που κυμαίνεται από 0,75 έως 1,35  $\mu\text{m}$  και που οφείλεται κυρίως στην εσωτερική δομή των φύλλων των φυτών. Έτσι, ειδικά αυτή η περιοχή του φάσματος είναι ιδανική για τον διαχωρισμό των διαφόρων φυτικών ειδών.

Στην συνέχεια, η φασματική υπογραφή της βλάστησης παρουσιάζεται σαν μία καμπύλη που εμφανίζεται μία αλληλοδιαδοχή τοπικών ελάχιστων και μέγιστων.

Γενικά η μορφή της φασματικής υπογραφής της βλάστησης στο φάσμα από 1,35 έως και 2,7  $\mu\text{m}$  οφείλεται σε δύο παράγοντες που είναι θετικά συσχετισμένοι μεταξύ τους.

Στην περιεκτικότητα των φύλλων σε νερό [υγρασία] και στο πάχος τους. Οι παράγοντες αυτοί ενεργούν αντίστροφα από την ανακλαστικότητα των φυτών.

Ετσι παρατηρούμε τοπικά ελάχιστα γύρω στο 1,4 , 1,9 και 2,65 $\mu\text{m}$  που οφείλονται στην απορρόφηση από το νερό και τοπικά μέγιστα ανάμεσα από αυτά [2 σε αριθμό].

Αξιοσημείωτο είναι ότι ενώ οι ασθένειες των φυτών επηρεάζουν σημαντικά την φασματική υπογραφή της βλάστησης στο ορατό, με την ηλικία τους δεν συμβαίνει αυτό. Ετσι, για ηλικιωμένα φυτά το πλατώ που αναφέρθηκε στο εγγύς υπέρυθρο εμφανίζεται σε χαμηλότερη ανακλαστικότητα, ενώ η φασματική υπογραφή στο ορατό επηρεάζεται λίγο.

Επίσης, σημαντικό είναι ότι όσο περισσότερο αυξάνει η περιεκτικότητα σε υγρασία στα φυτά τόσο το ποσοστό ανακλαστικότητας μειώνεται σ' όλα τα μήκη κύματος [Thomas I, Benning V, Ching M., 1987].

Επίσης, η παρουσία οξειδίων του σιδήρου στο έδαφος μειώνει την επί τις % ανακλαστικότητα της βλάστησης τουλάχιστον στο ορατό φάσμα.

Τέλος, στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται και άλλοι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την φασματική υπογραφή της βλάστησης όπως:

- α. Το ποσοστό κάλυψης στην επιφάνεια του εδάφους
- β. Η γεωμετρία και η δομή της φυτοκάλυψης
- γ. Χαρακτηριστικά του φυτού εκτός από τα φύλλα όπως μίσχοι , ρίζες κ.α .
- δ. Εδαφικά χαρακτηριστικά της λήψης της δορυφορικής εικόνας
- ε. Σκιάσεις και επιμέρους περιβαλλοντικοί παραγόντες.

### 3.2 NEPO

Η τυπική φασματική υπογραφή του νερού εμφανίζεται σαν μία καμπύλη που εμφανίζει μόνον ένα τοπικό μέγιστο γύρω στα 0,5 $\mu\text{m}$  με την τιμή γύρω στα 10% ανακλαστικότητας [η καμπύλη φαίνεται μετατοπισμένη παράλληλα ως προς τον οριζόντιο άξονα των μηκών κύματος στις διάφορες βιβλιογραφικές αναφορές και για λόγους διαφορετικής ανακλαστικότητας του νερού που θα αναφερθούν παρακάτω [π.χ. Lillesand και Kiefer 1994, R. Schowencerd 1983 , P. Mather 1984].

Η Φ/ Υ μηδενίζεται σχεδόν γύρω στα 0,8-0,9 μm. Σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την Φ/Υ του νερού είναι: Η θολότητα που μπορεί να οφείλεται σε ρύπους ή ιζήματα, η αναταραχή της υδάτινης επιφάνειας από την οποία εξήχθη η Φ/Υ, η περιεκτικότητα σε βιομηχανικά ή γεωργικά απόβλητα [π.χ η εμφάνιση σε μεγάλο βαθμό πλαγκτόν στον Βόλο λόγο φυτοφαρμάκων που εκρέουν στον Παρασητικό κόλπο] και τέλος η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη [π.χ. φύκια] με αποτέλεσμα η Φ/Υ του νερού στο μπλε φάσμα και να αυξάνεται στο πράσινο.

### 3.3 ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.

Η Φ/Υ του εδάφους είναι μία μάλλον ομαλή αυξάνουσα καμπύλη που αρχίζει περιπου από 20 % ανακλαστικότητα και φθάνει περίπου 45% [γύρω στο 1,8 και 2,1 μm]. Εχει μερικά όχι σημαντικά μέγιστα και ελάχιστα που οφείλονται σε διάφορους παράγοντες όπως: Η τραχύτητα του εδάφους , οι σκιάσεις, η περιεκτικότητά του σε διάφορα στοιχεία όπως οξειδία του σιδήρου ή οργανικές ουσίες και η υφή του [αμμώδη, αλατούχα , αργιλώδη εδάφη κ.λ.π.]

## ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ

### 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Η έννοια της ταξινόμησης και η εφαρμογή μεθόδων ταξινόμησης είναι γνώστες και χρησιμοποιούνται σε πολλές επιστήμες.

Η κατά κάποιον τρόπο διαφοροποιούμενη έννοια της ταξινόμησης στην Τηλεπισκόπηση οφείλεται στο γεγονός ότι η ταξινόμηση που εφαρμόζεται εδώ είναι πολυφασματική. Με την έννοια πολυφασματική εννοούμε:

1ον. Οτι η ταξινόμηση ομαδοποιεί pixels τα οποία βάσει κάποιου αλγόριθμου θεωρείται ότι ανήκουν στην ίδια φασματική ομάδα [**πολύ φασματική**].

2ον. Οτι για κάθε pixel που ταξινομείται ο αλγόριθμος ταξινόμησης έχει χρησιμοποιήσει όλες τις πληροφορίες [τις τιμές] που δίνει το pixel σε κάθε φασματικό κανάλι [**πολύ φασματική**].

Γενικότερα όμως η ταξινόμηση έχει σαν σκοπό την ομαδοποίηση pixels σε ορισμένο αριθμό φασματικών ομάδων που κατά κανόνα πριν ή μετά την εφαρμογή κάποιας μεθόδου, ανήκουν σε κάποια κατηγορία κάλυψης γης.

Ετσι, η αρχική πληροφορία για κάθε pixel δίνεται σαν ένα διάνυσμα  $n$ -διαστάσεων [ραδιομετρικών τιμών όπου  $V$  ο αριθμός των φασματικών καναλιών και με τιμές για κάθε συνιστώσα του διανύσματος] από 0,255 ραδιομετρική τιμή [για τους δορυφόρους που δίνουν 8-bit εικόνες]. Μετά την εφαρμογή κάποιας μεθόδου ταξινόμησης το ίδιο pixel χωρικά, χαρακτηρίζεται από μία μόνο αριθμητική τιμή και μάλιστα από 1 έως  $k$ , [ $k$  ακέραιος αρκετα μικρότερος από το 25] όπου  $k$  ο αριθμός των διαφορετικών καλύψεων γης που ορίστηκαν από τον χρήστη, είτε βρέθηκαν με την ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας.

Κυρίως λόγω της εκ των προτέρων γνώσης αλλά και πρόσβασης στις υπάρχουσες κατηγορίες κάλυψης γης ώστε δειγματοληπτικές περιοχές από αυτές να είναι δυνατόν να εντοπισθούν χωρικά αναπτύχθηκε η πρώτη κατηγορία ταξινομήσεων γνωστή ως Επιβλεπόμενες Ταξινομήσεις [Supervised Classifications]. Η ορολογία αυτή προέκυψε από το γεγονός ότι ο αλγόριθμος εύρεσης των κάθε κάλυψης γης εκπαιδεύεται σύμφωνα με ομογενείς ή όχι δειγματοληπτικές περιοχές που έχουν επιλεγεί από πριν για κάθε κατηγορία κάλυψης γης. Ετσι, δημιουργούνται από τις δειγματολεοπτικές περιοχές οι φασματικές υπογραφές [βλ. Φασματικές υπογραφές]

για κάθε κάλυψη γης βάσει των οποίων θα αποφασιστεί και η ταυτότητα κάθε pixel σε σχέση με τις κατηγορίες κάλυψης γης .

Σε αντίποδα με τις προηγούμενες αναπτύχθηκε η 2η κατηγορία ταξινομήσεων γνώστη ως Μη Επιβλεπόμενες Ταξινομήσεις [Unsupervised Classifications].

Στην κατηγορία αυτή οι κλάσεις που θα προκύψουν μετά την ταξινόμηση δεν είναι γνώστες αρχικά.

Ετσι, και διαδικαστικά διαφέρουν μεταξύ τους οι δύο κατηγορίες ταξινόμησης. Στις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις:

1ον. Προσδιορίζονται αρχικά οι κλάσεις κάλυψης-χρήσης γης που θα χωριστεί η εικόνα

2ον. Εντοπίζονται χωρικά δειγματολογικές περιοχές από κάθε κάλυψη γης [στην εικόνα ή και επί εδάφους].

3ον. Εξάγονται οι φασματικές υπογραφές κάθε κατηγορίας κάλυψης γης που ορίστηκε εξ' αρχής από τις δειγματοληπτικές περιοχές και

4ον. Κάθε pixel της εικόνας βάσει ενός αλγόριθμου ταξινομείται σε μία από τις κατηγορίες που ορίστηκαν ή δεν ταξινομείται.

Στις μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις:

1ον. Εφαρμόζεται η μέθοδος ιεραρχικής ή μη ιεραρχικής ταξινόμησης κατά συστάδες [hierarchical or partitional clustering], δηλ. η δορυφορική εικόνα ταξινομείται σε ομάδες που έχει προσδιορίσει ο αλγόριθμος που εφαρμόστηκε χωρίς να είναι γνωστές τί παριστούν.

2ον. Ο χρήστης ορίζει για κάθε ομάδα τί αντιπροσωπεύει ως προς τις καλύψεις - χρήσης γης που μπορεί να υπάρχουν στη συγκεκριμένη περιοχή.

Διάφορες μέθοδοι ταξινόμησης έχουν αναπτυχθεί εκτός των παραπάνω, που όμως αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω ή παραλλαγές τους. Οι Lillesand και Kiefer [1994] τις αναφέρουν ως 'υβριδικές' μεθόδους. Ενδεικτικά αναφέρουμε την παρακάτω μέθοδο '**υβριδικής μη επιβλεπόμενης**' ταξινόμησης .

Η πολυφασματική εικόνα διατρέχεται από ένα παράθυρο σάρωσης μικρών διαστάσεων έστω 3x3. Η διακύμανση του παραθύρου (σ' όλα τα κανάλια) για κάθε



τοποθέτησή του θεωρείται 'ήπια' (μικρή) εάν δεν υπερβαίνει ένα όριο που ορίζεται από τον χρήστη αλλιώς 'τραχειά'.

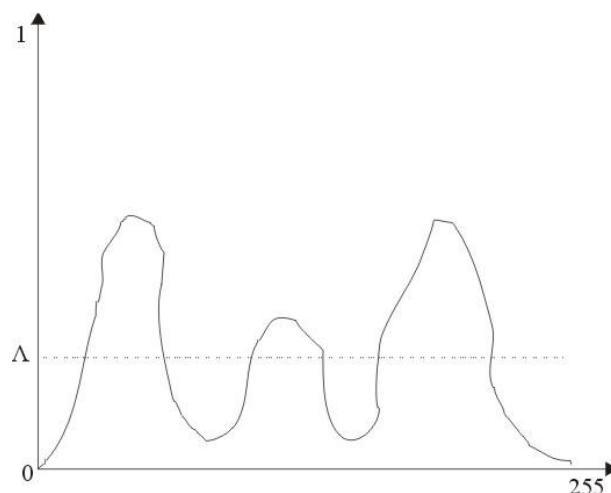
Η μέση τιμή του πρώτου παραθύρου με ήπια διακύμανση που θα βρεθεί θεωρείται το 1<sup>ο</sup> κέντρο cluster, του δεύτερου 2<sup>ο</sup> κέντρο κ.ο.κ. Ο χρήστης ορίζοντας τον μέγιστο αριθμό clusters που πρέπει να δημιουργηθεί, συνενώνει τα δύο κοντινότερα σε (ραδιομετρική – μέση) απόσταση παράθυρα και συνεχίζει έως ότου φθάσει στον επιθυμητό αριθμό clusters. Φυσικά κάθε φορά που πραγματοποιείται μια συνένωση ανανεώνονται τα στατιστικά στοιχεία του κάθε νέου cluster.

## 2. ΜΗ ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ

### 2.1 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Κάθε ιστόγραμμα ψηφιακής εικόνας εμφανίζει ορισμένο αριθμό τοπικών μεγίστων γύρω από τα οποία υπάρχει κάποια μικρή ή μεγάλη συγκέντρωση pixels.

Ορίζοντας (ο χρήστης ή ο αλγόριθμος) μια ελάχιστη συχνότητα πάνω από την οποία μια τιμή θεωρείται μέγιστο και λαμβάνοντας υπόψη όλα τα γύρων pixels με κριτήρια ραδιομετρικής απόστασης και διακύμανσης του cluster ορίζονται τα κέντρα (οι μέγιστες τιμές του ιστογράμματος) και υπολογίζονται τα pixels που ανήκουν σε κάθε cluster.



Στο διπλανό σχήμα βλέπουμε σχηματικά για ένα κανάλι τον διαχωρισμό τριών clusters. Αυτό γενικεύεται στον χώρο των κ-καναλιών.

Λ: Ελάχιστη συχνότητα επάνω από την οποία θεωρείται τοπικό μέγιστο ιστογράμματος (κέντρο cluster)

## 2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΩΝ Κ-ΜΕΣΩΝ (K-MEANS) ΚΑΙ ISODATA

Παραλλαγή και εξέλιξη της K-means ταξινόμησης η ISODATA διαφέρει στο ότι (MATHER) συνενώνει, διαχωρίζει και απορρίπτει ομάδες σε κάθε επανάληψη που γίνεται στην εφαρμογή της K-means μεθόδου. Επιπλέον μερικές παραμετροποιήσεις απαιτούνται στην ISODATA μέθοδο.

Η K-means μέθοδος βασικά συνίσταται από τα παρακάτω βήματα τα οποία επαναλαμβάνονται έως ότου σταθεροποιηθεί η ομαδοποίηση (clustering) δηλ. έως ότου δεν υπάρχουν pixels που να αλλάζουν ομάδα στην επόμενη επανάληψη.

Τα βήματα είναι:

1<sup>ο</sup> Ορίζονται αυθαίρετα κ- κέντρα ομάδων στα m κανάλια. Το κάθε κέντρο είναι ένα διάνυσμα που περιέχει τις ραδιομετρικές τιμές ενός συγκεκριμένου pixel στα m κανάλια.

2<sup>ο</sup> Κάθε pixel ταξινομείται σε μια από τις κ ομάδες και συγκεκριμένα σ' αυτήν που η απόστασή του είναι η μικρότερη. Ως απόσταση είναι συνήθως η Ευκλείδεια.

3<sup>ο</sup> Στις ομάδες που δημιουργούνται τελικά βρίσκεται το κέντρο βάρους (διάνυσμα με τις μέσες ραδιομετρικές τιμές όλων των pixels της ομάδας σ' όλα τα κανάλια.

Τα βήματα 2 και 3 επαναλαμβάνονται έως ότου σταθεροποιηθούν οι ομάδες.

Η ISODATA μέθοδος διαφοροποιείται στο ότι στο τέλος κάθε επανάληψης παρεμβαίνει με 3 τρόπους τροποποιώντας ελαφρά το αποτέλεσμα.

1) Συνενώνει τις ομάδες που τα κέντρα βάρους τους είναι πολύ κοντά (ορίζεται ένα όριο για την ελάχιστη απόσταση διαφορετικών ομάδων).

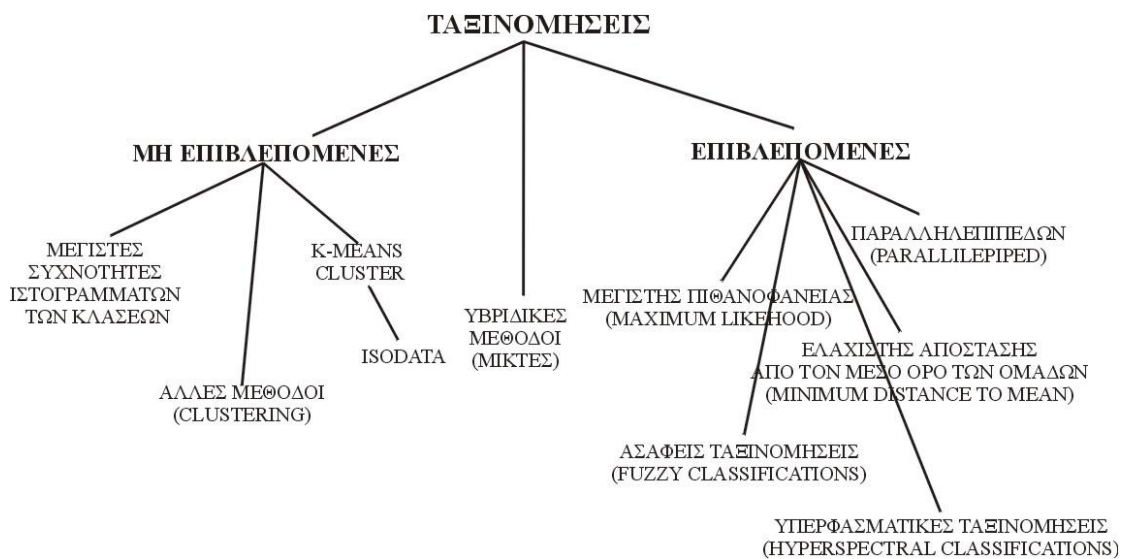
2) Διαχωρίζει σε δύο ομάδες κάποια ομάδα που έχει μεγάλη τυπική απόκλιση ραδιομετρικών τιμών (ορίζεται ένα όριο τυπικής απόκλισης ώστε πάνω από το οποίο μια ομάδα δεν θεωρείται ομογενής).

3) Θεωρεί αταξινόμητα τα pixels που δημιουργούν μικρές σε αριθμό pixels ομάδες (ορίζεται ένας ελάχιστος αριθμός pixels αρκετός για να δημιουργηθεί μια ομάδα)

### 3. ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ

Στην παρ.1 (ΕΙΣΑΓΩΓΗ) των ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ αναφέρθηκαν τα βήματα που ακολουθούνται σε μια επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Ωστόσο πρέπει μετά το 4<sup>ο</sup> βήμα όπου κάθε pixels της εικόνας ταξινομείται ή όχι να τονιστεί ότι αυτό ισχύει στις λεγόμενες ‘αυστηρές’ ή ‘σκληρές’ ταξινομήσεις. Σ’ αντίποδα μ’ αυτό οι λεγόμενοι ‘μαλακοί’ ταξινομητές (soft classifiers) αποτιμούν μια ‘συνάρτηση συμμετοχής’ ή ‘συνάρτηση προσάρτησης’ (membership function) η οποία χαρακτηρίζει κάθε pixel ως προς τον βαθμό που ανήκει σε κάθε ομάδα. Δηλ. μπορεί κάποιο pixel να είναι 80% αγρός οργωμένος και 20% αγροτικός χωματόδρομος. Τέτοιου είδους ταξινόμηση είναι η λεγόμενη ασαφής ταξινόμηση (Fuzzy classification).

Αν και θα έπρεπε να αναφερθεί στα γενικά περί ταξινόμησης παρατίθεται παρακάτω ένα γενικό σχεδιάγραμμα με τα διάφορα είδη των ταξινόμησης που εφαρμόζονται σήμερα:



#### 3.1 Η ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΜΕΣΟ

##### 1. ΕΥΚΛΕΙΔΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ

Η μέθοδος αυτή δεν λαμβάνει υπόψη την στατιστική κατανομή (στον χώρο των κ-καναλιών) κάθε κατηγορίας κάλυψης γης. Αντίθετα ταξινομεί το κάθε pixel στην κατηγορία εκείνη της οποίας η μέση (ραδιομετρική) τιμή είναι πλησιέστερα

στην τιμή του pixel. Εφ' όσον φυσικά βρισκόμαστε στον χώρο των κ-καναλιών η μέση ραδιομετρική τιμή κάποιας κατηγορίας όπως και η ραδιομετρία του pixel εκφράζονται σαν διανύσματα με κ-συνιστώσες. Επειδή όμως η μέση τιμή κάποιας κατηγορίας κάλυψης γης δεν είναι γνωστή, εκτιμάται από τις μέσες ραδιομετρίες των δειγματοληπτικών περιοχών που αναφέρονται στην κατηγορία αυτή και για όλα τα κανάλια.

**Παράδειγμα** Εστω τα διανύσματα των μέσων ραδιομετρικών τιμών που προέκυψαν από τις τιμές pixels δειγματοληπτικών περιοχών για μεν τον αστικό χώρο είναι

$$M_A = \begin{pmatrix} 90 \\ 100 \\ 110 \end{pmatrix} \text{ για δε το δάσος } M_\Delta = \begin{pmatrix} 30 \\ 50 \\ 40 \end{pmatrix}$$

Όπως φαίνεται το παραπάνω παράδειγμα αναφέρεται στον δορυφόρο SPOT (πολυφασματικός σαρωτής, 3 κανάλια – 3 συνιστώσες).

Ένα pixel με ραδιομετρικό διάνυσμα  $X = \begin{pmatrix} 60 \\ 70 \\ 70 \end{pmatrix}$  θα καταχωρηθεί στην

κατηγορία 'ΔΑΣΟΣ' γιατί : Η Ευκλείδεια απόστασή του από τον αστικό χώρο είναι:

$$d_A^2 = (X - M_A)^T (X - M_A) = (-30 - 30 - 40) \begin{pmatrix} -30 \\ -30 \\ -40 \end{pmatrix} = 900 + 900 + 1600 = 3200 \Rightarrow d_A = \sqrt{3200} \\ = \sqrt{2 \cdot 1600} = 40\sqrt{2}$$

ενώ από το δάσος είναι

$$d_M^2 = (X - M_\Delta)^T (X - M_\Delta) = (30 20 30) \begin{pmatrix} 30 \\ 20 \\ 30 \end{pmatrix} = 900 + 400 + 900 = 2200 \Rightarrow d_\Delta = \sqrt{2200} \\ = 10\sqrt{22}$$

και παρατηρούμε ότι  $d_\Delta < d_A$

Μπορούμε να εκφράσουμε και με πιο απλό τρόπο την Ευκλείδεια απόσταση

ενός σημείου  $X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$  από μια ομάδα  $M_A = \begin{pmatrix} m_{A1} \\ m_{A2} \\ m_{A3} \end{pmatrix}$

στο χώρο των τριών (ή και περισσότερων) καναλιών.

$$d^2(X, M_A) = (x_1 - m_{A1})^2 + (x_2 - m_{A2})^2 + (x_3 - m_{A3})^2$$

## 2. Η CITY BLOCK ΑΠΟΣΤΑΣΗ

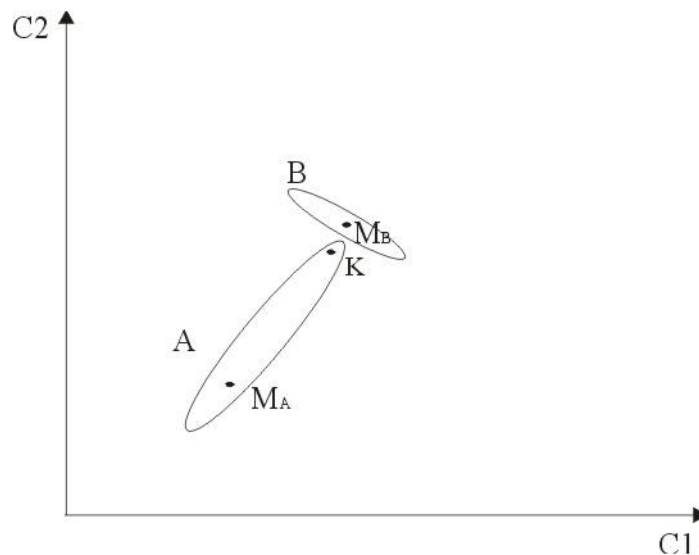
Μια παραλλαγή της Ευκλείδειας απόστασης είναι η ‘City Block’ ή ‘L1’ ή ‘Manhattan’ απόσταση :

$$d(X, M_A) = |x_1 - m_{A1}| + |x_2 - m_{A2}| + |x_3 - m_{A3}|$$

(Βιβλιογραφία Wayne Niblack ‘An Introduction to DIGITAL IMAGE PROCESSING’ Prentice Hall, 1986)

## 3. Η ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΑΗΑΛΑΝΟΒΙΣ

Οι μέχρι τώρα αποστάσεις δεν λαμβάνουν υπ’ όψη την διακύμανση μιας κλάσης. Έτσι στο παρακάτω σχήμα το pixel K θα ταξινομηθεί στην κλάση B και όχι στην A παρ’ όλο που η μεγάλη διακύμανση και η διεύθυνση του νέφους της A θα



συνηγορούσε γι’ αυτό (χώρος των 2 καναλιών)

(Βιβλιογραφία Hord M. ‘REMOTE SENSING: Methods and Applications’ John Wiley & Sons, 1986)

Έτσι ‘διαιρώντας’ κατά κάποιον τρόπο με την διακύμανση της κλάσης την Ευκλείδια απόσταση ενός pixel από το μέσο της κλάσης, ένα pixel σε παρόμοια θέση με το pixel του παραπάνω σχήματος θα ταξινομείτο πιο εύκολα στην κλάση A παρά στην B. Φυσικά στις πράξεις μεταξύ πινάκων η ‘διαίρεση’ αυτή εκφράζεται με τον πολ/σμό του αντίστροφου πίνακα της διακύμανσης της κλάσης.

Έτσι τροποποιήσαμε την Ευκλείδια απόσταση με τρόπο ώστε να λαμβάνει υπόψη την διακύμανση κάθε κλάσης:

$$d_A^2 = (x - M_A)^T \cdot S_A^{-1} \cdot (x - M_A)$$

Όπου  $S_A$ : Ο πίνακας διακυμάνσεων – συνδιακυμάνσεων της κλάσης A.

Ένα παράδειγμα πίνακα συνδιακύμανσης δίνεται στο βιβλίο του J. Thomas ‘Classification of Remotely Sensed Images’ V. Benning, N.P. Ching, Adam Hilger , Bristol 1987.

Παρακάτω παρατίθενται ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ οι πράξεις και τα στοιχεία του πίνακα συνδιακύμανσης, του παραδείγματος αυτού:

### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΣΥΝΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ

Τυχόν στοιχείο του πίνακα συνδιακύμανσης:

$$S_{kl} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_k)(x_{li} - \bar{x}_l)$$

όπου n: ο συνολικός αριθμός σημείων και  $x_{ki}$ : κ: α/α σημείου και i: άξονα φασματικού καναλιού.

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$$

Π.χ. για 2 σημεία ο πίνακας είναι

$$\text{Άρα } S_{11} = \frac{1}{2-1} \sum_{i=1}^2 (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{1i} - \bar{x}_1) + (x_{12} - \bar{x}_1)(x_{12} - \bar{x}_1)$$

Έτσι π.χ. το  $S_{11}=4,5$  του παραδείγματος με σημεία ( $x_{11}=3, x_{21}=1$ ) και ( $x_{12}=6, x_{22}=2$ ) βρίσκεται ως εξής:

$$\bar{x}_1 = (x_{11} + x_{12}) / 2 = (3 + 6) / 2 = 4,5, \bar{x}_2 = (x_{21} + x_{22}) / 2 = 1,5$$

$$S_{11} = (3-4,5)(3-4,5) + (6-4,5)(6-4,5) = 1,5^2 + 1,5^2 = 2,25 + 2,25 = 4,5$$

Αντίστοιχα

$$\begin{aligned} S_{12} &= (x_{11} - \bar{x}_1)(x_{21} - \bar{x}_2) + (x_{12} - \bar{x}_1)(x_{22} - \bar{x}_2) = (3 - 4,5)(1 - 1,5) + (6 - 4,5)(2 - 1,5) = \\ &= (-1,5)(-0,5) + (1,5)(0,5) = 0,75 + 0,75 = 1,5 \\ &= (1 - 1,5)^2 + (2 - 1,5)^2 = 0,25 + 0,25 = 0,5 \end{aligned}$$

και έτσι 
$$S = \begin{bmatrix} 4,5 & 1,5 \\ 1,5 & 0,5 \end{bmatrix}$$

### 3.2 Η ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΕΠΙΠΕΔΩΝ

Είναι η απλούστερη και οικονομικότερη από πλευράς υπολογιστικής ισχύος μέθοδος ταξινόμησης. Ο χρήστης μελετώντας ‘στατιστικά’ το ιστόγραμμα ορίζει μια κατώτερη και μια ανώτερη ραδιομετρική τιμή για κάθε κλάση. Αυτές οι τιμές μπορούν να είναι το μέγιστο και το ελάχιστο του ιστογράμματος μιας κλάσης, οι ακραίες τιμές του διαστήματος  $[m - κσ, m + κσ]$   $κ=1,2,3$ ,  $m$ : μέση τιμή  $σ$ : τυπική απόκλιση των ραδιομετρικών τιμών του ιστογράμματος μια κλάσης ή όποιες άλλες τιμές κρίνει ο χρήστης της μεθόδου κατάλληλες.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι pixels που βρίσκονται σε κοινή περιοχή παραλληλεπιπέδων θεωρούνται αταξινομήτα.

#### 3.3.3. Η ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΦΑΝΕΙΑΣ

##### 3.3.1 Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΙΘΑΝΟΦΑΝΕΙΑ

Τα παρακάτω γενικεύονται εύκολα στον χώρο των  $n$  καναλιών. Το παράδειγμα που ακολουθεί αναφέρεται σ’ ένα φασματικό κανάλι.

1) Έστω ότι από κάποια εικόνα με 2 καλύψεις γης ωερό κα δάσος επιλέγουμε δειγματοληπτικές περιοχές από κάθε μια και σχεδιάζουμε το ιστόγραμμά τους.

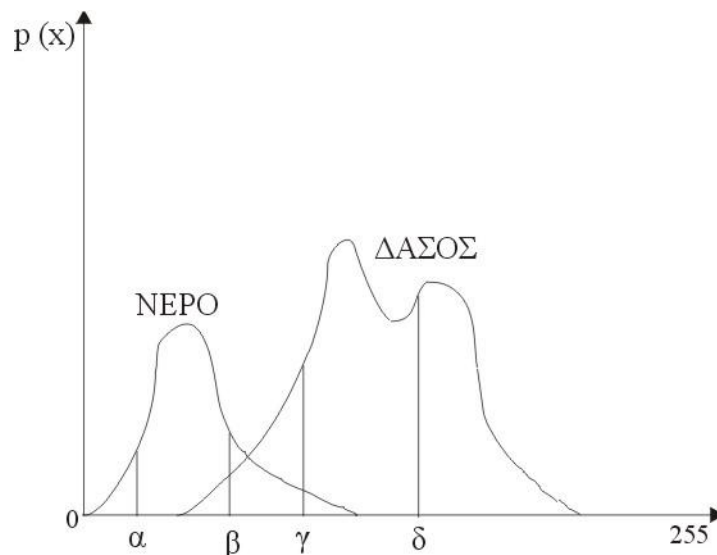
Ως γνωστό ένα ιστόγραμμα συχνότητων έχει για κάθετο άξονα τον άξονα συχνότητας εμφάνισης (των pixels) και για οριζόντιο τις τιμές της τυχαίας

μεταβλητής (ραδιομετρικές τιμές στην περίπτωση της Τηλεπισκόπησης και μάλιστα με τιμές από 0-255 για 8-bit εικόνες).

2) Για να αποκτήσουμε τώρα ένα ιστόγραμμα πιθανοτήτων για κάθε ραδιομετρική τιμή, που να προκύπτει επίσης από πραγματική δεδομένα (δηλ. τις δειγματοληπτικές περιοχές που επιλέχθηκαν προηγουμένως) αρκεί να διαιρέσουμε κάθε συχνότητα του ιστογράμματος των συχνοτήτων, με την ολική συχνότητα (το πλήθος όλων των pixels όλων των δειγματικών περιοχών).

Όμως προφανώς η αναλογία pixels των δειγματοληπτικών περιοχών του νερού προς τα pixels των δειγματοληπτικών περιοχών του δάσους δεν είναι η ίδια μ' αυτήν που ισχύει σ' όλη τη εικόνα μας. Έτσι για να δώσουμε το βάρος που αξίζει κάθε κατηγορία κάλυψης γης πολ/με κάθε πιθανότητα από κάθε κάλυψη γης (νερό – δάσος ) με το ποσοστό που καταλαμβάνει σ' όλη την εικόνα π.χ. για το δάσος 0,7 και 0,3 για το νερό (η εικόνα καλύπτεται κατά 70/100 από δάσος και 30/100 από νερό).

Το τελικό ιστόγραμμα πιθανοτήτων που προέκυψε από τις δειγματοληπτικές περιοχές των 2 καλύψεως γης με ποσοστά βάρους για την κάθε μια είναι εκτιμητής των πιθανοτήτων για το ερώτημα σε ποια από τις δύο κλάσεις ανήκει κάθε pixel (κάθε ραδιομετρική τιμή).



Έτσι:

$$p_N(\alpha) > p_\Delta(\alpha) = 0$$

$$p_N(\beta) > p_\Delta(\beta)$$

$$p_N(\gamma) < p_\Delta(\gamma)$$

$$p_N(\delta) = 0 < p_\Delta(\delta)$$



Οι ραδιομετρίες  $\alpha, \beta$  θεωρείται ότι ανήκουν στο νερό ενώ οι  $\gamma$  και  $\delta$  στο δάσος.

Βέβαια δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι όλες οι πιθανότητες προήλθαν από τον πολ/σμό της πιθανότητας για κάθε ραδιομετρική τιμή και για κάθε κατηγορία επί την πιθανότητα του βάρους κάθε κατηγορίας.

Πιο συγκεκριμένα αν  $p_N(\alpha) = \frac{1}{6}$

Το αποτέλεσμα αυτό προήλθε από τον πολ/σμό  $\frac{3}{10} * \frac{5}{9}$  όπου  $p_N = \frac{3}{10}$  η  $\alpha$

priori πιθανότητα ραδιομετρικής τιμής να ανήκει στο νερό και  $\frac{5}{9} = p_N(\alpha)$  η πιθανότητα η ραδιομετρική τιμή  $\alpha$  να ανήκει στο νερό.

Φυσικά όλες οι πιθανότητες  $p_N(\chi)$  και  $p_\Delta(\chi)$  (νερού και δάσους) για κάθε ραδιομετρική τιμή  $\chi$  προήλθαν από την μετατροπή του ιστογράμματος συχνοτήτων των δειγματοληπτικών περιοχών νερού και δάσους σε ιστόγραμμα πιθανοτήτων.

Ετσι, γενικά ο κανόνας απόφασης ταξινόμησης μιας ραδιομετρικής τιμής  $\chi$  στην κλάση  $I$  και όχι στην κλάση  $j$  είναι σύμφωνα με τις δειγματοληπτικές πιθανότητες που εκφράστηκαν παραπάνω :

$$p(x/c_i) p(c_i) > p(x/c_j) p(c_j) \quad (1)$$

όπου  $p(x/c)$  η πιθανότητα ένα pixel που ανήκει στην κατηγορία  $c$  να έχει ραδιομετρική τιμή  $\chi$  (ή η πιθανότητα της ραδιομετρικής τιμής  $\chi$  να ανήκει στην κατηγορία  $c$ ) και  $p(c_i)$  η a priori πιθανότητα της κατηγορίας  $c$

### 3.3.2 Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΙΘΑΝΟΦΑΝΕΙΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΟ ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΟΥ BAYES

Η πιθανότητα που ζητάμε σε μια ταξινόμηση και που κρίνει εάν ένα pixel ραδιομετρικής τιμής  $\chi$ , θα ταξινομηθεί στην κλάση  $c_i$  και όχι στην  $c_j$  σε μια εικόνα είναι

$$P(c_i/x) > P(c_j/x)$$

Δηλ. η πιθανότητα εφ' όσον έχουμε την ραδιομετρική τιμή  $x$  να έχουμε την κλάση  $c_1$  ή καλύτερα η πιθανότητα να είναι μιας κλάσης  $c_1$  μια συγκεκριμένη ραδιομετρική τιμή  $x$

Όμως σύμφωνα με το θεώρημα του Bayes

$$P(c_i/x) = P(x/c_i) P(c_i)/P(x)$$

Όπου  $p(x)$  η πιθανότητα ύπαρξης κάθε pixel στην θέση  $x$  (δηλ  $1/N$  όπου  $N$  συνολικός αριθμός των pixels της εικόνας).

Σύμφωνα με την επεξεργασία του δειγματοληπτικού ιστογράμματος της προηγούμενης παραγράφου θεωρούμε ότι το γινόμενο

$p(x/c_1) p(c_1)$  από τις δειγματοληπτικές περιοχές και για οποιαδήποτε κλάση  $c_1$  ότι είναι ένας ικανοποιητικός εκτιμητής του γινομένου  $P(x/c_1) P(c_1)$  για ολόκληρη την εικόνα και για οποιαδήποτε κλάση της  $c_1$ .

Έτσι ο γενικός κανόνας της Bayesian ταξινόμησης μεγίστης πιθανοφάνειας είναι ότι το pixel ραδιομετρικής τιμής  $x$  ταξινομείται στην κλάση  $c_1$  εάν

$$P(x/c_1) P(c_1) > P(x/c_j) P(c_j) \quad (1)$$

Όπου  $c_1$  οποιαδήποτε άλλη κλάση εκτός της  $c_1$ .

### 3.3.3 ΟΙ ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ

Η κατανομή πιθανότητας  $P(x/c_1)$  δεν είναι γνωστή. Όμως λόγω του σχετικά μεγάλου αριθμού pixels κάθε κλάσης σε μια εικόνα και του πλήθους των παραγόντων που επηρεάζουν την ραδιομετρική τιμή ενός pixel η κατανομή αυτή θεωρείται κανονική

$$\text{Έτσι } P(x/c_1) = \frac{1}{2\pi\sigma_i} \exp\left(-\frac{1}{2}(x - m_i)^2 / \sigma_i^2\right)$$

$$\text{Όπου : } \sigma_i^2 = \frac{1}{m_i - 1} \sum_{j=1}^{m_i} (x_j - m_i)^2 \quad \text{εκτιμητής της διακύμανσης της}$$

κλάσεως  $i$  με αριθμό pixels  $m_i$ .

Ωστόσο δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι στην Τηλεπισκόπηση βρισκόμαστε και εργαζόμαστε στον χώρο των  $n$  φασματικών καναλιών.

Έτσι το κάθε pixel  $\mathbf{x}$  είναι διάνυσμα με τόσες τιμές όσες και οι ραδιομετρίες του στο κάθε ένα φασματικό κανάλι. Το ίδιο και η μέση ραδιομετρική τιμή της κλάσης  $i$  που παριστάνεται με το διάνυσμα  $\mathbf{m}_i$  σ' όλο τον πληθυσμό. Ένας εκτιμητής της διακύμανσης της κλάσης  $i$  δίνεται από τον τύπο:

$$V_i = \frac{1}{m_i - 1} \sum_{j=1}^{m_i} [(x_j - m_i)(x_j - m_i)^T]$$

Όπου  $m_i$ : Ο αριθμός των pixels των δειγματικών περιοχών της κλάσης  $i$ .

Επειδή η τυπική απόκλιση  $\sigma$  είναι η ρίζα της διακύμανσης  $\sigma^2$  και στον τύπο της μονοδιάστατης κατανομής έχουμε ως συντελεστή  $\frac{1}{2\pi\sigma}$  αυτό μετατρέπεται στην πολυδιάστατη κανονική κατανομή σε  $\frac{1}{(2\pi)^{N/2}} \cdot |V_c|^{-1/2}$

και ο εκθέτης  $-\frac{1}{2}(x - m)^T (V_i)^{-1}(x - m_i)$  οπότε η πιθανότητα το pixel (με ραδιομετρική τιμή)  $\mathbf{x}$  να ανήκει στην κλάση  $C_i$  είναι

$$p(x/C_i) = \frac{1}{(2\pi)^{N/2}} \cdot |V_c|^{-1/2} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}(x - m)^T (V_i)^{-1}(x - m_i)\right]$$

όπου τα μεγέθη  $V_i$ ,  $x$ ,  $m_i$  κάθε κλάσης εκτιμώνται από τα αντίστοιχα δείγματα που λήφθηκαν από την κλάση αυτή

$m_i$ : το διάνυσμα μέσων ραδιομετρικών τιμών της κλάσης  $i$  σε όλα τα κανάλια

$V_i$ : ο πίνακας διακύμανσης – συνδιακύμανσης της κλάσης  $i$  σε όλα τα κανάλια (ο οποίος δίνει βάρος στην πιθανότητα  $p(x/C_i)$  ανάλογα με το αν τα φασματικά κανάλια είναι συσχετισμένα ή όχι).

## 4. ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ

### 4.1 ΟΜΟΓΕΝΕΙΑ – ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Εάν αποφασιστεί τα pixels τα οποία χαρακτηρίζονται ως «αταξινόμητα» μετά την εφαρμογή μιας μεθόδου ταξινόμησης να πάρουν τον χαρακτηρισμό «Α», ένα απλό κριτήριο για την σωστή επιλογή των δειγμ. περιοχών είναι να εξεταστεί ο αριθμός των pixels “Α” εν σχέση με τον συνολικό αριθμό των ταξινομημένων pixels της εικόνας. Έτσι, εάν ο λόγος αυτός είναι αρκετά μεγάλος (περίπου 1) τότε θεωρείται η επιλογή των training sites για κάθε κάλυψη γης είναι λανθασμένη. Γιατι ;

Αλλά ο πιο συνηθισμένος τρόπος για να κρίνουμε τα αποτελέσματα μιας ταξινόμησης πιο αναλυτικά είναι οι πίνακες σύμπτωσης ή διασταυρωμένοι πίνακες (crosstabulation tables).

Το πώς δημιουργούνται φαίνεται καθαρά στο παρακάτω παράδειγμα.

Έστω ότι σε μια δειγματοληψία από 100 pixels έχουμε δύο κατηγορίες κάλυψης γης: Α από 70 pixels και Β από 30 pixels. Μετά την εφαρμογή κάποιας ταξινόμησης από τα 70 pixels της κατηγορίας Α, 50 χαρακτηρίστηκαν ως Α και 20 έως Β ενώ από τα 30 της Β, 20 έως Β και 10 έως Α. Τα αποτελέσματα αυτά δίνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	A	B
A	50	20
B	10	20

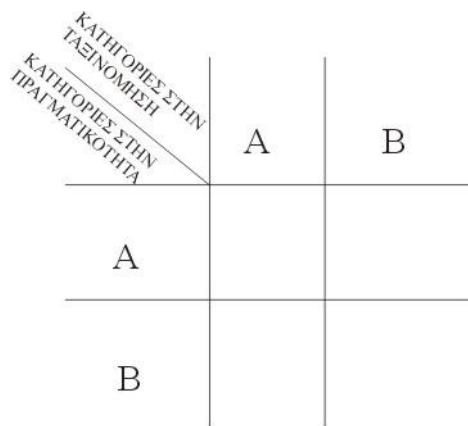
- Συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης

$$50+20/100 = 70/100$$

- Ακρίβεια ως προς ομάδα Α: 50/70

- Ακρίβεια ως προς ομάδα Β: 20/30

## 4.2 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ



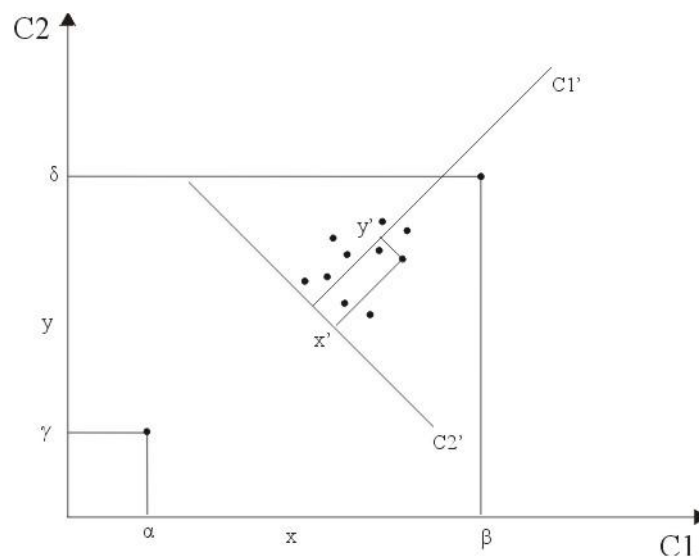
Η επεξεργασία είναι η ίδια με προηγουμένως μόνον που τώρα τα pixels που χαρακτηρίζονται A ή B από την ταξινόμηση ελέγχονται με την βοήθεια G(lobal) P(ositioning) S(ystems) εάν ανήκουν στην πραγματικότητα (ύπαιθρο) στην κατηγορία A ή B.

## 5. Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΚΥΡΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ

Είναι μια μέθοδος : 1<sup>ο</sup> συμπίεσης του όγκου των πληροφοριών των δορυφορικών δεδομένων (δηλ. π.χ. συγκέντρωσης σχεδόν όλης της οπτικής πληροφορίας από 7 σε 3 νεοκανάλια του Landsat) 2<sup>ο</sup> εξαγωγής γραμμικών σχέσεων που ισχύουν μεταξύ των αρχικών και των νέο-καναλιών.

Η οπτική χρωματική πληροφορία (αντίθεση) δίνεται στατιστικά από την διασπορά του ιστογράμματος της εικόνας. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε 2 κανάλια C1 και C2 και ένα νέφος ραδιομετρικών τιμών. Η διασπορά του νέφους που το χαρακτηρίζει και στα 2 κανάλια είναι περίπου από α έως β στο C1 και από γ έως δ στο C2.

Θα είχαμε συμπύκνωση πληροφορίας αν μπορούσαμε να συγκεντρώσουμε το νέφος έτσι ώστε η διασπορά του σε κάποιον νέο άξονα να είναι μεγάλη και μικρή.



Έτσι, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, η μεταφορά και η στροφή του αρχικού συστήματος (C1,C2) στο σύστημα (C1', C2') συγκεντρώνει όλη τη διασπορά του νέφους στον άξονα C1' ενώ αφήνει μικρή διασπορά στον άξονα C2'.

Εάν  $x,y$  είναι οι ραδιομετρίες ενός pixel στα αρχικά κανάλια C1 και C2, οι νέες ραδιομετρίες στα κανάλια C1' και C2' θα εκφράζονται από γραμμικές σχέσεις της μορφής :

$$x' = kx + ly$$

$$y' = mx + ny$$

Σημειώτέο ότι το 1<sup>ο</sup> νεοκανάλι θα συγκεντρώνει μεγάλο ποσοστό διασποράς του νέφους π.χ. >80%.

Θεματικά, η σημασία της Α.Κ.Σ. είναι ότι λόγω της συσχέτισης των φασματικών καναλιών π.χ. 1 και 2 του δορυφόρου SPOT στα κανάλια αυτά συλλέγουμε την ίδια οπτική πληροφορία με ανάλογες διαφορές φωτεινότητας, ενώ στο 3<sup>ο</sup> διαφορετική.

Με την εφαρμογή της Α.Κ.Σ. θα μπορούσαμε να συγκεντρώσουμε ένα μεγάλο ποσοστό της οπτικής πληροφορίας (π.χ. αντικείμενα που φαίνονται σε διαφορετικά αρχικά κανάλια) σε ένα μόνο νέο κανάλι.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] **Paine P. David**, “Aerial photography and Image Interpretation for Resource Management”, *John Wiley and Sons*, 1981.
- [2] **Συλλαίος Γ. Νικόλαος**, “Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης στην Γεωργία”, *Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη Ο.Ε. Θεσ/νίκη* 1990.
- [3] **American Society of photogrammetry**, “Manual of photographic interpretation” *The George Banta Company Inc. Menasha, Wisconsin, USA*, 1960.
- [4] **J. Carre**, “Lecture et exploitation des photographies aeriennes” *TOME I, Collection technique de l’Insitut géographique national, Editions Eyrolles*, 1971.
- [5] **G.C. Dickinson**, “Maps and Air Photographs”, *Edward Arnold Publishers, LTD, London*, 1969.
- [6] **Couzy Allain**, “LA TELEDETECTION”, *Que sais-je Presses Universitaires de France*, 1981, Paris.
- [7] **Rees W.G.**, “Phisical Principles og Remote Sensing” *Cambridge Univesity Press, Cambridge*.
- [8] **Harris Ray**, “Sattelite Remote Sensing-An Introduction”, *Routlege and Kegan Paul, London and New York*, 1987.
- [9] **Richards A. John**, “Remote Sensing Digital Image Analysis-An Introduction”, *Springer-Verlag, Berlin*, 1986.
- [10] **CNES**, “Dossier d’information-SPOT-1, Un sattelite pour l’ observation de la terre” *CNES-Centre National d’etudes spatiales*.
- [11] **Αστάρης Θ.**, “Φωτοερμηνεία (Τηλεπισκόπηση) στις Γεωεπιστήμες (Σημειώσεις)”, *Θεσ/νίκη* 1995.
- [12] **Bradford University, Research Limited**, “NOAA AVHRR Receiving and Prossessing System”
- [13] **Καρτέρης Α. Μιχάλης**, “Τηλεπισκόπηση Φυσικών Πόρων και Γ.Σ.Π. ”, *Α.Π.Θ. Θεσ/νίκη* 1992.
- [14] **Floys S. Sabins, JR.**, “Remote Sensing Principles and Interpretation” 2<sup>nd</sup> Edition, *W.H. Freeman and Company, New York*, 1987.
- [15] **Showengerdt A. Robert.**, “Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing”, *Academic Press*, 1983.

- [16] **Muller Jan-Peter**, “Digital Image Processing in Remote Sensing”, *Taylor and Francis, London and Philadelphia*, 1988.
- [17] **Duggin M.J. & Philipson W.R.**, “Relating Ground Aircraft and satellite radiance measurements” *International Journal of Remote Sensing* 6, pp 1665-1670, 1985.
- [18] **Τσακίρη Στρατή Δ. Μαρία**, “Ανάπτυξη Αλγόριθμου για την ψηφιακή επεξεργασία πολυφασματικών εικόνων” *Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ., Επιστημονική Επετηρίδα Πολυτεχνικής Σχολής, Παράρτημα 30, Τόμος ΣΑ, ΤΑΤΜ, Θεσ/νίκη*, 1989.
- [19] **Jensen R. John**, “Introductory digital Image Processing- A remote sensing perspective”, *Prentice - Hall*, 1986.
- [20] **Campbell J.B.**, “Introduction to Remote Sensing”, *Guilford Press*, 1987.
- [ ] **Thomas, I. , Benning V, Ching N** “Classification of Remotely Sensed Images”, Adam Hilger, *Bristol*, 1987
- [ ] **Niblack W.** “ An introduction to digital image processing” *Prentice/Hall International*, 1986
- [ ] **Gose E., Johnsonbaugh R., Jost St.** “Pattern Recognition and Image Analysis” *Prentice Hall PTR*, 1996
- [ ] **Hord M.** “ Remote sensing, methods and applications” *J. Wiley & Sons*, 1986
- [ ] **Lillesand T., Kiefer R.** “Remote sensing and image interpretation” *J. Wiley & Sons, Inc.* 1994





## **ΜΕΡΟΣ 3ο**

### **ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ-ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

**Α) ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΕΙΚΟΣΑΕΤΙΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ.**

**Γκέσκου Ιφιγένεια**

**Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Νομού Μαγνησίας**

**Μπεριάτος Ηλίας**

**Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας**

**Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης**

**Περάκης Κωνσταντίνος**

**Λέκτορας Πανεπιστημίου Θεσσαλίας**

**Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης**

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η εργασία αυτή πραγματοποιείται στο πλαίσιο του κοινοτικού προγράμματος LIFE, και έχει ως αντικείμενο την ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής διάστασης στην οργάνωση και διαχείριση του χώρου του νομού Μαγνησίας της περιφέρειας Θεσσαλίας. Η κύρια μεθοδολογία που χρησιμοποιείται βασίζεται σε δορυφορικές εικόνες στις οποίες πραγματοποιείται μια διαχρονική ανάλυση των πέντε κυριότερων κατηγοριών κάλυψης γης, αφού οριστούν οι δειγματοληπτικές τους περιοχές. Το μεθοδολογικό εργαλείο είναι στην περίπτωση αυτή η επιβλεπόμενη ταξινόμηση με την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Τέλος, προκύπτει η παραγωγή θεματικών χαρτών που απεικονίζουν τις διαχρονικές αλλαγές, ένας για κάθε κατηγορία, για το χρονικό διάστημα από το 1986 έως το 1993.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη διαχείρισης των ακτών μέσα από ολοκληρωμένα σχέδια παρουσιάστηκε από την δεκαετία του '80 στην Ελλάδα και αρκετά νωρίτερα στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες. Σήμερα η Ευρωπαϊκή Ένωση κατανοώντας την ανάγκη για την ολοκληρωμένη διαχείριση του παράκτιου χώρου, αλλά και τις δυσκολίες του εγχειρήματος έχει εντατικοποιήσει και συστηματοποιήσει τις προσπάθειες της, εντάσσοντας τις σχετικές ενέργειες σ'ενα Πρόγραμμα Επίδειξης για την ολοκληρωμένη διαχείριση των παρακτίων ζωνών, από το οποίο αναμένεται να προκύψουν συγκεκριμένες προτάσεις πολιτικής για τον παράκτιο χώρο.

Η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Μαγνησίας συμμετέχει σ'αυτό το Πρόγραμμα Επίδειξης και υλοποιεί με την συγχρηματοδότηση της Γ.Δ. ΧΙ της Ε.Ε. (πρόγραμμα *Life*) έργο τίτλο "Πληροφόρηση και Συναίνεση. Προϋποθέσεις για αειφόρο διαχείριση του παράκτιου χώρου του νομού Μαγνησίας".

Το έργο εντάσσεται στην αντίληψη για ολοκληρωμένο σχεδιασμό των παρακτίων περιοχών. Αφορά το νομό Μαγνησίας στο σύνολό του λόγω:

- των φυσικών χαρακτηριστικών του νομού και της περιορισμένης ενδοχώρας του,
- της θέσης ότι η βιώσιμη ανάπτυξη του παράκτιου χώρου πρέπει να βασίζεται στην αρχή του "εις βάθος χωροταξικού σχεδιασμού", άρα στον συνολικό και ενιαίο χωροταξικό σχεδιασμό του παράκτιου χώρου και της ενδοχώρας του,
- του ότι τέλος ο νομός μπορεί ν'αποτελέσει τυπικά και ουσιαστικά βασική χωρική μονάδα για την εφαρμογή χωροταξικής πολιτικής.

Στόχος του προγράμματος είναι η ένταξη της περιβαλλοντικής διάστασης στη διαχείριση του παράκτιου χώρου στο Νομό Μαγνησίας. Πιο απλά στοχεύει στην έναρξη μιας διαδικασίας διαχείρισης του παράκτιου χώρου κατά την οποία θα λαμβάνονται πλέον υπόψη παράμετροι οι οποίοι μέχρι σήμερα αγνοούνταν.

Το γενικά πλαίσιο με βάση το οποίο θεωρούμε ότι μπορούμε να προσεγγίσουμε σταδιακά τους παραπάνω στόχους αρθρώνεται γύρω από:

- τη δημιουργία ενός εργαλείου (Βάση Δεδομένων) πληροφόρησης για τη διαμόρφωση πολιτικών και την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σχετικά με τη διαχείριση του παράκτιου χώρου.

- τη δημιουργία ενός πλαισίου αναφοράς για την ιεράρχηση των προβλημάτων, την τοποθέτηση προτεραιοτήτων και την ανάπτυξη πολιτικών για τη διαχείριση του παράκτιου χώρου.
- την εμπλοκή των παραγόντων (δρώντων) που επιδρούν στη διαμόρφωση του παράκτιου χώρου σε διαδικασίες επικοινωνίας και διαπραγμάτευσης και η ένταξή τους στη λογική της αειφορίας.

## **Η ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

Η περιγραφή και ανάλυση του παράκτιου χώρου του Νομού αποτελεί την καταρχήν δράση του προγράμματος. Περιλαμβάνει την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για τη συλλογή και επεξεργασία φυσικών και ανθρωπογενών στοιχείων και τη συγκρότηση μιας Βάσης Δεδομένων, η οποία θα μπορεί να χρησιμοποιείται σε πολλά επίπεδα. Στο επίπεδο της παροχής πληροφοριών στην Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση και στα Συμβούλια Περιοχής για την εκπόνηση χωροταξικών σχεδίων και αναπτυξιακών προγραμμάτων. Στο επίπεδο του εντοπισμού των κρίσιμων προβλημάτων του παράκτιου χώρου, των τάσεων, αλλά και στο επίπεδο του σχεδιασμού της ολοκληρωμένης διαχείρισής του.

Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται οργανώνει την υπάρχουσα διάσπαρτη πληροφόρηση και με οριζόντιες συνεργασίες δημιουργεί τις προϋποθέσεις ενημέρωσης της Βάσης Δεδομένων και πέρα από τον χρονικό ορίζοντα του προγράμματος. Η δημιουργία της στηρίζεται σε υλικό που αντλείται από Δημόσιες Υπηρεσίες, σε υλικό, (χάρτες, εικόνες), που έχει ήδη επεξεργασθεί ή που θα συμπληρώσει το Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας καθώς και από πρωτογενή έρευνα όπου το διαθέσιμο υλικό δεν επαρκεί. Επιχειρείται επομένως η οργάνωση σε τοπικό επίπεδο ενός δικτύου συνεργασιών ανάμεσα σε φορείς και εσωτερικά στη Δημόσια Διοίκηση για τη δημιουργία και την συνεχή τροφοδότηση και ενημέρωση της Βάσης Δεδομένων.

Η συμμετοχή των τελικών χρηστών δεν περιορίζεται στην ενημέρωσή τους σχετικά με το τελικό προϊόν και τους τρόπους χρήσης, αλλά εμπλέκονται ήδη στην διαμόρφωση του περιεχομένου της Βάσης Δεδομένων. Σημαντική εμπλοκή έχουν

μέχρι σήμερα οι Υπηρεσίες του Νομού που δραστηριοποιούνται στον παράκτιο χώρο, ενώ οι ΟΤΑ και λοιποί φορείς προβλέπεται να εμπλακούν σε μεταγενέστερη φάση.

## **ΟΙ ΧΑΡΤΕΣ**

Εκτός από μια σειρά χαρτών που θα προκύψει από την επεξεργασία στοιχείων σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών με προφανές αναλυτικό ενδιαφέρον, προβλέπεται η επεξεργασία μιας σειράς χαρτών που θ'απεικονίζουν τη διαχρονική εξέλιξη βασικών καλύψεων γης σε επιλεγμένες πιλοτικές περιοχές του νομού καταρχήν και στο σύνολο του νομού σε δεύτερη φάση.

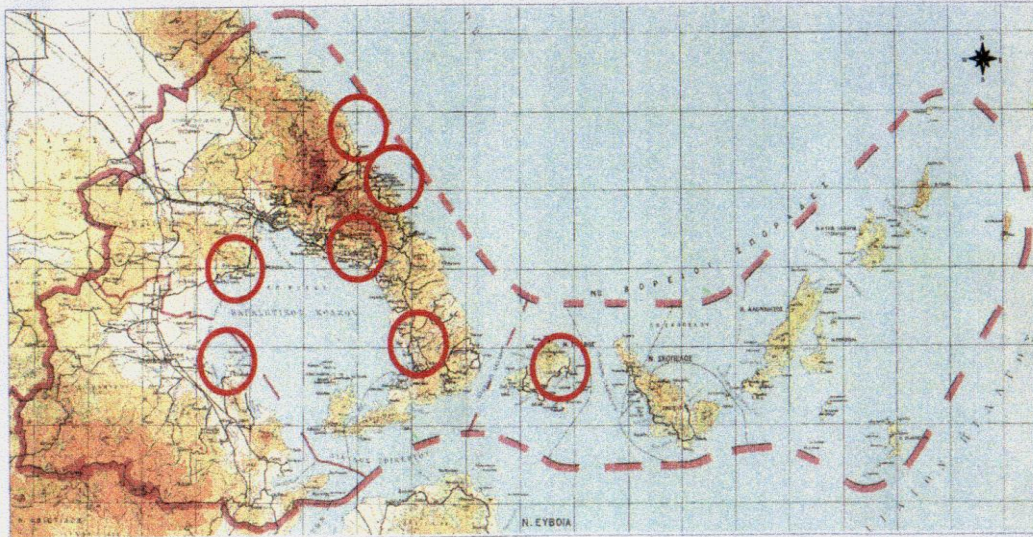
Οι πιλοτικές περιοχές έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να καλύπτουν ικανοποιητικά μια βασική τυπολογία του παράκτιου χώρου του Νομού.

1. Περιοχή από Αγριά - Άφησσο, (περιαστική περιοχή, γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας με έντονες συγκρούσεις ανάμεσα σε γεωργικές και οικιστικές χρήσεις).
2. Ζαγορά - Πουρί - Χορευτό, (σχετικά ισόρροπες παραγωγικές και τουριστικές δραστηριότητες)
3. Άγιος Ιωάννης (έντονη τουριστική πίεση)
4. Νότιο Πήλιο, Αργαλαστή (μονοκαλλιέργεια ελιάς, πυρκαγιές)
5. Παράλια ζώνη Νέας Αγχιάλου (αυθαίρετη δόμηση)
6. Παράλια επαρχίας Αλμυρού, (ήπια τουριστική, γεωργική και βιομηχανική χρήση)
7. Νήσος Σκιάθος, (έντονες τουριστικές πιέσεις)

Η μελέτη των διαχρονικών εξελίξεων βασικών κατηγοριών χρήσεων γης και κυρίως η χαρτογραφική τους απεικόνιση τους θεωρούμε ότι θα αποτελέσει σημαντικό εργαλείο εκτίμησης των τάσεων, αλλά κυρίως θα υποβοηθήσει το διάλογο για βασικά θέματα του παράκτιου χώρου με Υπηρεσίες, ΟΤΑ, λοιπούς εμπλεκόμενους φορείς.

### Κατηγορίες καλύψεων γης που θα αναλυθούν διαχρονικά

Συνεχής αστική οικοδόμηση (1)
Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση (2)
Βιομηχανικές ζώνες (3)
Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα (4)
Ζώνες λιμένων (5)
Χώροι εξορύξεως ορυκτών (6)
Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη (7)
Μόνιμα αρδευόμενη γη (8)
Αμπελώνες (9)
Οπωροφόρα δέντρα (10)
Ελαιώνες (11)
Δάση (12)
Συνδυασμοί θαμνώδους και ποώδους
Παραθαλάσσιοι βάλτοι (14)



## ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΟΝ ΔΟΡΥΦΟΡΟ LANDSAT

Σαν πρώτο στάδιο του ερευνητικού προγράμματος “LIFE” πραγματοποιήθηκε μία διαχρονική ανάλυση και μελέτη των αλλαγών σε 5 βασικές καλύψεις γης που προκύπτουν από την συγχώνευση των παραπάνω κατηγοριών κάλυψης γης. Οι πέντε κατηγορίες που δημιουργήθηκαν με σκοπό να μελετηθούν και να εντοπισθούν πρώτα οι βασικές αλλαγές στο σύνολο του νομού είναι : (εκτός του νερού-θαλάσσιων περιοχών(14)) αστικός χώρος (1), περιαστικός χώρος (2) έως και (6), αγροτική γη(7) έως και (11) και δασικές-περιδασικές περιοχές(12) και (13). Με τον εντοπισμό των βασικών αλλαγών αυτών σε κάθε μία από τις βασικές κατηγορίες :

- αφ' ενός οριοθετούνται οι αλλαγές στο σύνολό τους και σε μία σε πρώτο επίπεδο προσέγγιση,
- αφ' ετέρου ομαδοποιούνται οι αλλαγές διαφόρων συγγενικών κατηγοριών κάλυψης γης που συνιστούν την κάθε μία από τις μεγάλες βασικές κατηγορίες.

Έτσι για παράδειγμα εντοπίζοντας χωρικά αλλαγές στο εσωτερικό της κατηγορίας περιαστικός χώρος συμπεραίνουμε ότι υπάρχουν αλλαγές στην συγκεκριμένη περιοχή και για τις κατηγορίες: διακεκομμένη αστική οικοδόμηση, βιομηχανικές ζώνες, ζώνες λιμένος, χώροι εξορύξεως ορυκτών και οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα.

Η πολυφασματικότητα του δορυφόρου LANDSAT βοηθά στην διαφορική διάγνωση των αλλαγών κάθε κατηγορίας. Για τον λόγο αυτό και γνωρίζοντας ότι οι φασματικές απαντήσεις κάθε μιας από τις διαφορετικές βασικές κατηγορίες είναι λιγότερο ή περισσότερο διαφορετικές στα επτά κανάλια του δορυφόρου LANDSAT απαιτείται η χρήση ταξινομήσεων που βασίζονται στο γεγονός αυτό.

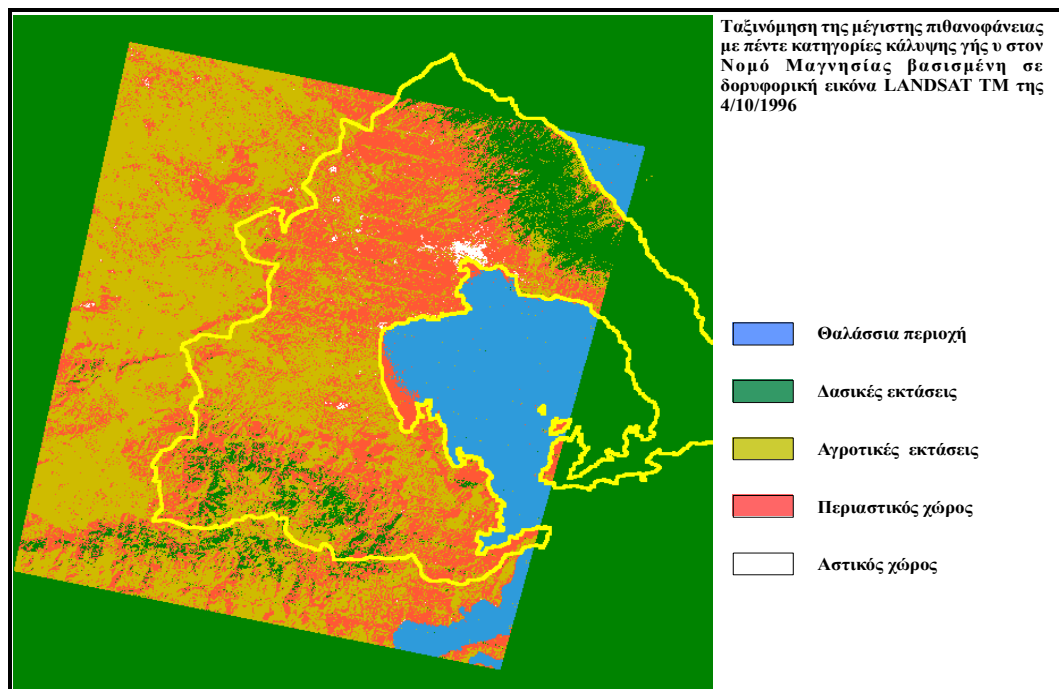
## **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ**

Λόγω της μεγαλύτερης ακρίβειας των αποτελεσμάτων (Eastman 1997) χρησιμοποιήθηκε η ταξινόμηση της μέγιστης πιθανοφάνειας. Για την μεγαλύτερη πιστότητα των φασματικών υπογραφών, εντοπίστηκαν δειγματοληπτικές περιοχές με την μεγαλύτερη δυνατή ομογένεια από κάθε κλάση. Μεγαλύτερη δυσκολία στην φάση αυτή της παρούσας εργασίας υπήρξε στην εύρεση αμιγών δειγματοληπτικών περιοχών για τον περιαστικό και τον αγροτικό χώρο λόγω της μικτής τους σύστασης από υποομάδες η κάθε μία της άλλης κατηγορίας.

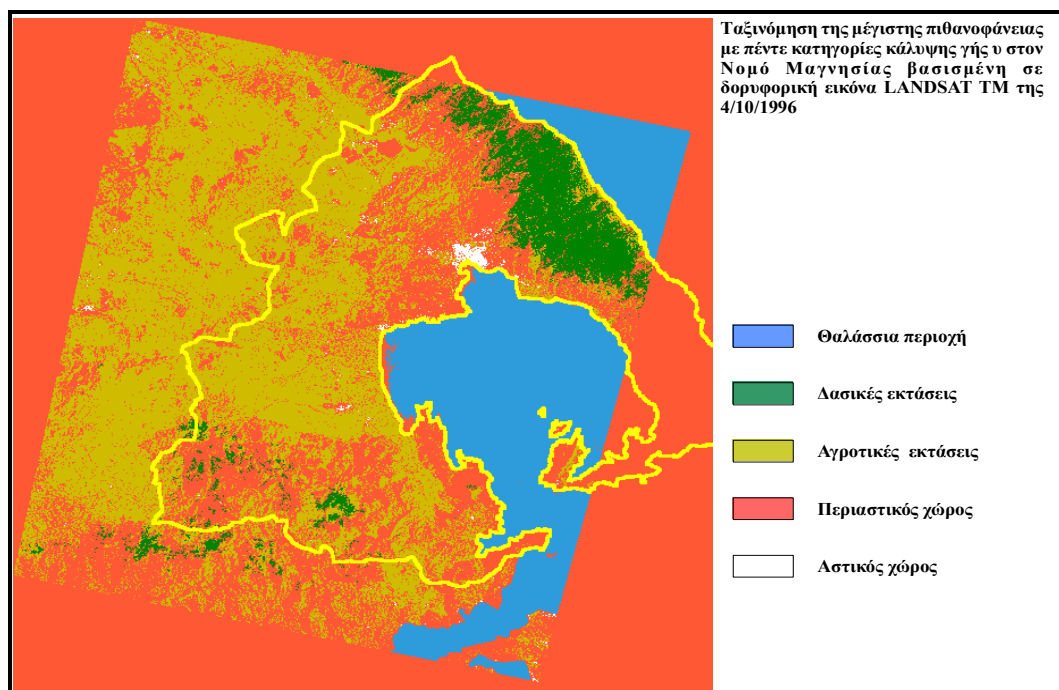
Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας εφαρμόστηκε διαδοχικά σε δύο δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου LANDSAT του νομού Μαγνησίας που χρονολογούνται την 04/10/86 και την 03/07/1993 που προηγουμένως υπερτέθηκαν μεταξύ τους (Εικόνες 1 και 2) . Δημιουργήθηκαν με αυτόν τον τρόπο δύο ταξινομημένες εικόνες από επιβλεπόμενη ταξινόμηση που βασίστηκαν σε φασματικές υπογραφές που δημιουργήθηκαν από τις ίδιες δειγματοληπτικές περιοχές.



Εικόνα 1η



Εικόνα 2η



Στην συνέχεια απομονώθηκαν οι πέντε κατηγορίες που δημιουργήθηκαν με την βοήθεια φίλτρων και δημιουργήθηκαν πέντε εικόνες που η κάθε μία περιείχε σε δυαδική μορφή (παρουσία - απουσία ) κάθε κατηγορία, για κάθε μία από τις δύο ημερομηνίες δηλ. σε σύνολο δέκα εικόνες.

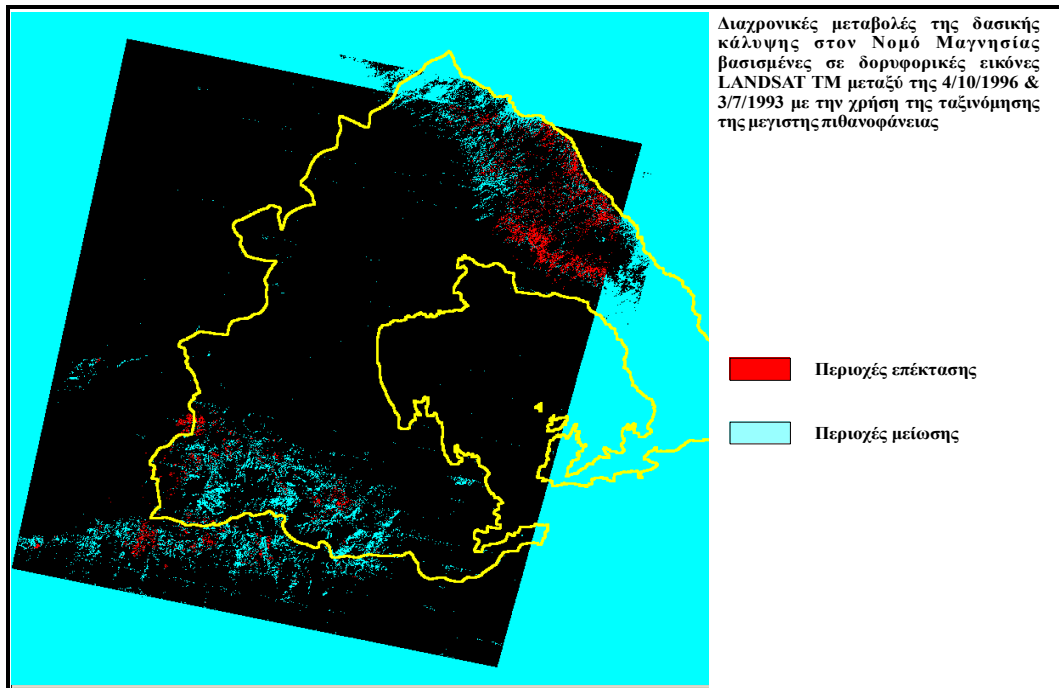
Η δυαδική (Boolean) πράξη AND μεταξύ εικόνων μας δίνει ουσιαστικά την τομή δύο εικόνων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η πράξη αυτή και στα πέντε

διαχρονικά ζεύγη εικόνων για κάθε κατηγορία, προσδιορίζει χωρικά τις περιοχές κάθε κατηγορίας που είναι κοινές στις δύο ημερομηνίες, δηλ. ουσιαστικά τις περιοχές που παραμένουν διαχρονικά αμετάβλητες μεταξύ των δύο ημερομηνιών.

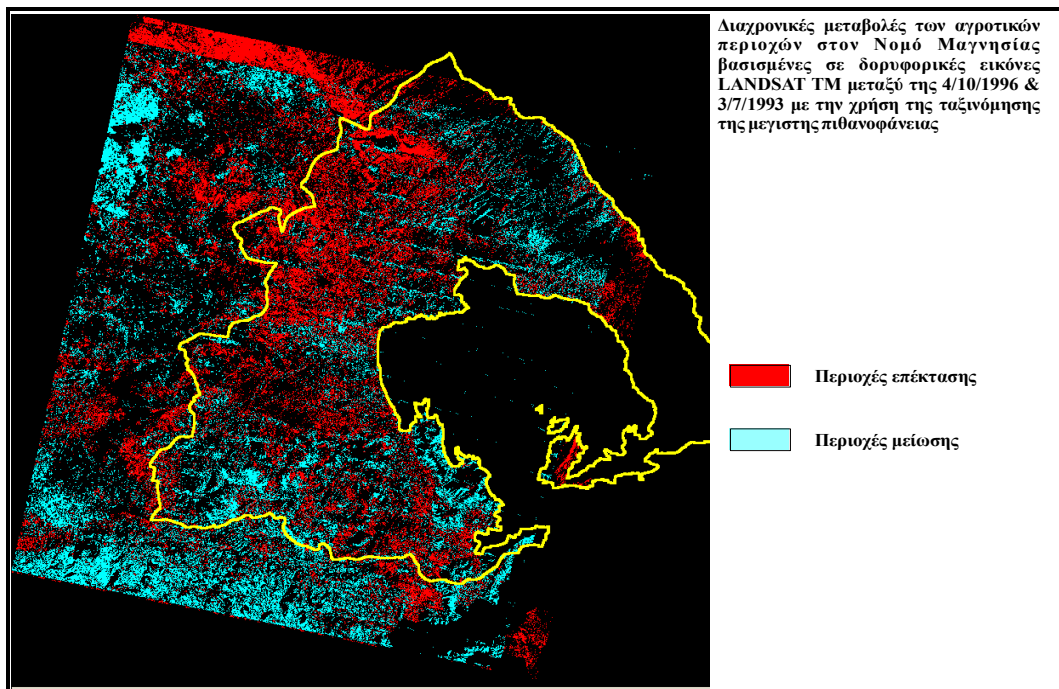
Η αφαίρεση των παραπάνω εικόνων αφ' ενός από τις αντίστοιχες δυαδικές εικόνες του 1986 προσδιορίζει εκείνες τις περιοχές που υπέστησαν μείωση το διάστημα αυτό, ενώ η αφαίρεσή τους από το 1993 δείχνει τις επεκτάσεις της αντίστοιχης κατηγορίας.

Τέλος η αριθμητική πρόσθεση των δύο παραπάνω εικόνων (που είναι ουσιαστικά μια επίθεση μεταξύ των δύο αυτών εικόνων) δίνει το τελικό αποτέλεσμα - εικόνα που περιέχει συγχρόνως τις χωρικές μειώσεις και επεκτάσεις για κάθε μία από τις τέσσερις (χωρίς την θαλάσσια περιοχή) βασικές κατηγορίες (Εικόνες 2 έως 6). Ειδικότερα στην εικόνα 6 γίνεται μία μεγέθυνση που δείχνει λεπτομερέστερα τις αλλαγές γύρω από το πολεοδομικό συγκρότημα του Βόλου. Σημειώνουμε ότι η αριθμητική πρόσθεση μεταξύ των εικόνων αυτών είναι δυνατή διότι δεν είναι δυνατόν να συμπίπτουν χωρικά περιοχές που δείχνουν αύξηση ή μείωση μιας από τις βασικές κατηγορίες κάλυψης γης οπότε δεν υπάρχει χωρική επικάλυψη μεταξύ των τιμών που χαρακτηρίζουν την μείωση ή την αύξηση.

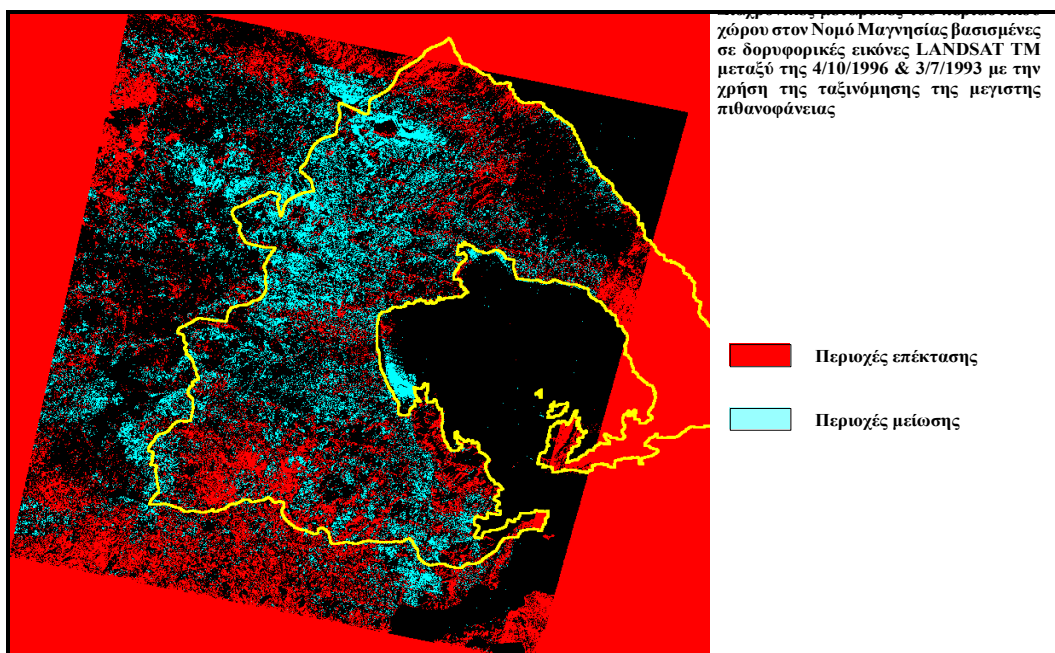
Εικόνα 3η



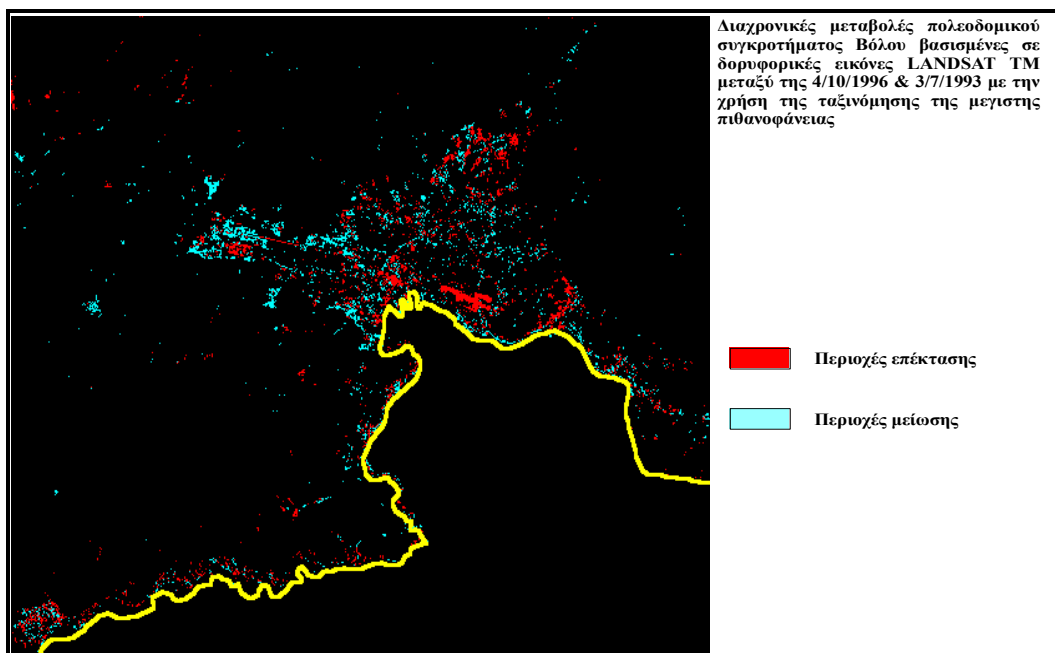
Εικόνα 4η



Εικόνα 5η



Εικόνα 6η



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο της ανάγκης διαχείρισης παράκτιων περιοχών σε ευρωπαϊκό επίπεδο για την Ελλάδα επιλέχθηκε ο Νομός Μαγνησίας επειδή πλήρη συγκεκριμένες προϋπόθεσης. Το κοινοτικό ερευνητικό πρόγραμμα “LIFE” έχοντας σαν στόχο την ένταξη της περιβαλλοντικής διάστασης στην διαχείριση της παράκτιας περιοχής του Νομού, αποτελεί ένα σημαντικό κίνητρο για την ικανοποίηση της ανάγκης αυτής.

Την εκπόνηση του προγράμματος αναλαμβάνει η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Μαγνησίας και το Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Στόχος η δημιουργία βάσης δεδομένων, και πλαισίου ιεράρχησης προβλημάτων.

Απαραίτητη η μελέτη χαρτογραφικών δεδομένων σε όποια μορφή είναι διαθέσιμα. Η μελέτη δορυφορικών εικόνων του Νομού δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τις διαχρονικές μεταβολές στον Νομό.

Ακολουθείται συγκεκριμένη μεθοδολογία ταξινόμησης των υπό μελέτη κατηγοριών κάλυψης γης.

Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας ενδείκνυται για υπόβαθρο μελέτης διαχρονικών μεταβολών. Η απομόνωση κάθε κατηγορίας που μελετάται οδηγεί στην μετατροπή της εικόνας που την περιέχει σε δυαδική έτσι ώστε να είναι δυνατές λογικές (boolean) πράξεις μεταξύ των εικόνων. Τα αποτελέσματα των διαχρονικών μεταβολών είναι αρκετά ικανοποιητικά όταν έχει προηγηθεί επιλογή ομογενών δειγματοληπτικών περιοχών για κάποια κατηγορία κάλυψης γης. Στην εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτής στον Νομό Μαγνησίας από τις τέσσερις ουσιαστικά κατηγορίες που εξετάστηκαν ο αστικός χώρος και οι δασικές εκτάσεις έδωσαν τα περισσότερα αξιόπιστα αποτελέσματα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**BEAUBIEN J.**,(1979) “Forest type mapping from Landsat Digital Data”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 45, No 8*, p.1135-1144.

**CZ DEMO 96-2** “Implementing the Demonstration Programme on Integrated on Integrated Management of Coastal Zones”, *DG XI*, November 1996.

**CZ DEMO 96-3** “Ensuring a Common Understanding of ICZM Concepts within the Teams of the European Demonstration Program on Integrated on Integrated Management of Coastal Zones”, *DG XI*, November 1996

**EASTMAN R.**, IDRISI for windows, Source Code, Version 2, *Clark University, 1997*  
**EUCC**, “Coastal Management and Habitat Conservation”, Leiden, *The Netherlands*, 1995

**SRINIVASAN, A., RICHARDS,J.A.**, (1990) “Knowledge-based techniques for multi-source classification”. *International Journal of GIS,11,3*, 505-525.

**STOFFLE, R., HALMO, D. EDS.** (1991) “ Satellite Monitoring of Coastal Marine Ecosystems : A Case from the Dominican Republic” (*Saginaw Michigan : Consortium for Integrated Earth Science Information Network (CIESIN)*).

**UNEP, MAP**, “Integrated Planning and Management of the Mediterranean coastal zones”, *MAP Technical Reports Series No. 61*, Split 1991.

**ΥΠΕΧΩΔΕ**, “Εξειδίκευση Προδιαγραφών Ειδικών Χωροταξικών Μελετών για το Κοινοτικό Πρόγραμμα *ENVIREG*, Αθήνα 1992.

## **Β) ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ.**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Σύμφωνα με τον ορισμό της Τηλεπισκόπησης σαν μιάς επιστήμης που καταγράφει και αναλύει εικόνες που έχουν ληφθεί από απόσταση, κύριο μέρος της αποτελεί η καταγραφή και ανάλυση τόσο μεθοδολογικά όσο και θεματικά των δορυφορικών εικόνων.

Τις τελευταίες δεκαετίες η δορυφορική τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται σαν ένα από τα βασικά εργαλεία στην μελέτη και τον σχεδιασμό του αστικού χώρου. Οντας μία επιστήμη που καταγράφει από απόσταση, μελετά και συμπεραίνει σχετικά με τις καλύψεις και ενδεχομένως χρήσεις της επιφάνειας της γής τόσο για το φυσικό όσο και για το δομημένο περιβάλλον συμβάλλει πολύ με την συνεχή εξέλιξή της στην μελέτη του αστικού χώρου. Ωστόσο και ειδικότερα στην μελέτη του δομημένου περιβάλλοντος πρέπει, για να υπάρχει μία πληρέστερη εικόνα της υπό μελέτη περιοχής η χρήση της τηλεπισκόπησης πρέπει να συνδιαστεί με τις μέχρι τώρα παραδοσιακές πηγές πληροφορίας σχετικά με την επιφάνεια της γής που είναι οι αεροφωτογραφίες και οι επί τόπου μελέτες και δειγματοληπτικές έρευνες . Έτσι η χρήση των αεροφωτογραφιών κρίνεται απαραίτητη λόγω της μεγαλύτερης ανάλυσης που έχουν από τις δορυφορικές εικόνες τουλάχιστον μέχρι σήμερα, ενώ οι επί τόπου δειγματοληπτικές μελέτες περιοχών που μελετούνται με δορυφορική τηλεπισκόπηση αποτελούν ένα ακλόνητο κριτήριο για την αξιοπιστία και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων που έχουν εξαχθεί από την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων.

Γενικότερα όμως, για να μην υπάρχει μονοεπίπεδη πληροφορία που αφορά την κάλυψη της επιφάνειας της γής και που να προέρχεται από τις τρεις παραπάνω πηγές, είναι σύνηθες οι παραπάνω πληροφορίες να εντάσσονται σε κάποιο πολυεπίπεδο σύστημα πληροφοριών που αφορά την μελετούμενη περιοχή και που είναι γνωστό σαν Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. Έτσι για παράδειγμα, εκτός από τις δορυφορικές εικόνες, τις αεροφωτογραφίες και τις επιγείες παρατηρήσεις θα μπορούσαν να υπάρχουν για την ολοκληρωμένη μελέτη ενός συγκεκριμένου αστικού

χώρου, διάφορα άλλα επίπεδα πληροφοριών όπως α) χωρικά δηλ. χάρτες διάταξης κτιρίων ανάλογα με την παλαιότητά τους, τον αριθμό των ορόφων τους η χάρτες του οδικού δικτύου η ακόμα και του δικτύου ύδρευσης η ηλεκτροδότησης και β) ποσοτικά όπως δημογραφικοί κατάλογοι που προέκυψαν από την τελευταία απογραφή.

Ετσι, η ολοκληρωμένη μελέτη μιάς αστικής περιοχής ανατρέχει στα διάφορα στάδια πραγματοποίησής της, τόσο σε χωρικές όσο και ποσοτικές πληροφορίες διαφορετικής προέλευσης.

Στην παρούσα μελέτη δημιουργείται ένα επίπεδο χωρικής πληροφορίας σχετικά με το πολεοδομικό συγκρότημα του Βόλου, από δορυφορικές εικόνες δύο διαφορετικών ημερομηνιών.

## **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ**

Οι δορυφορικές εικόνες είναι αρχεία τα οποία αποτελούνται από στοιχειώδη κομμάτια εικόνας (pixels) τα οποία στους δορυφόρους LANDSAT και SPOT είναι χαρακτήρες ASCII και παίρνουν ακέραιες τιμές από 0 έως και 255 που ονομάζονται ραδιομετρικές τιμές. Κάθε pixel εικόνας παριστάνει μία στοιχειώδη τετραγωνική επιφάνεια στο έδαφος που ποικίλλει ανάλογα με τον δορυφόρο και τον σαρωτή που πραγματοποιεί την καταγραφή της επιφάνειας του εδάφους. Η τιμή του κάθε pixel είναι μία συνάρτηση που κατά το μεγαλύτερο μέρος της εξαρτάται από την ακτινοβολία του ήλιου που ανακλάται από την επιφάνεια του εδάφους που αντιπροσωπεύει το pixel αυτό. Για τον σαρωτή του δορυφόρου LANDSAT γνωστό με το όνομα Θεματικός Χαρτογράφος (Thematic Mapper) η επιφάνεια του pixel που αντιστοιχεί στο έδαφος είναι 30 m x 30 m δηλ. η διακριτική ικανότητα του δορυφόρου είναι 900 τετραγωνικά μέτρα. Αυτό σημαίνει ότι αντικείμενα στο έδαφος που έχουν επιφάνεια μικρότερη από 900 τ.μ. δεν διακρίνονται από τον δορυφόρο. Ωστόσο το μεγάλο πλεονέκτημα της καταγραφής των ραδιομετρικών τιμών από τους πολυφασματικούς σαρωτές είναι ότι την ίδια χρονική στιγμή το κάθε pixel καταγράφεται σε διαφορετικά μήκη κύματος έτσι ώστε να παίρνει τόσες τιμές όσα και τα φασματικά κανάλια στα οποία καταγραφεί ο αντίστοιχος σαρωτής του δορυφόρου. Για τον δορυφόρο SPOT και για τον πολυφασματικό του σαρωτή τα φασματικά



κανάλια καταγραφής είναι τρία ενώ για τον θεματικό χαρτογράφο του LANDSAT είναι επτά. Τέλος η διακριτική ικανότητα του πολυφασματικού σαρωτή του δορυφόρου SPOT είναι 20 m x 20 m δηλ. 400 τετρ. μέτρα στην επιφάνεια του εδάφους.

Τόσο η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας όσο και οι ειδικές ανάγκες για την χρησιμοποίηση των μεγαλύτερης διακριτικής ικανότητας σαρωτών οδήγησε στην δημιουργία σαρωτών που δίνουν pixel με αρκετά μικρότερες διαστάσεις αλλά σ'ένα μόνο φασματικό κανάλι. Έτσι ο πανχρωματικός σαρωτής του δορυφόρου SPOT δίνει pixel διαστάσεων 10 m x 10 m δηλ. διακριτική ικανότητα 100 τετρ. μέτρα στο έδαφος ενώ ο αντίστοιχος του Ινδικού δορυφόρου IRS 1C 5,8 m x 5,8 m. Τέτοιου είδους ανάγκη δημιουργεί και η χρήση δορυφορικών εικόνων για την μελέτη πολεοδομικών συγκροτημάτων και περιαστικών χώρων [Bertand M., 1989]. Στην περίπτωση τέτοιων εφαρμογών μεγάλο ρόλο παίζει ο διαχωρισμός αντικειμένων από ομοειδή τους π.χ. κτιρίων ή στην γενικότερη περίπτωση η ομαδοποίηση όμοιων μεταξύ τους αντικειμένων π.χ. εντοπισμός ομογενών οικοδομικών τετραγώνων. Παρ' όλα αυτά πολλοί παράγοντες παίζουν ρόλο στον παραπάνω διαχωρισμό, όπως η ραδιομετρική αντίθεση των αντικειμένων με γειτονικά τους, η συγκέντρωση τους χωρικά, η μορφή και η ομογένειά τους.

Ενώ η ακρίβεια στην ανίχνευση μεγάλων δρόμων και ποταμών από δορυφορικές εικόνες μπορεί να φθάσει στο εντυπωσιακό ποσοστό του 90% για τα κτίρια το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 21% έως 67% [Paulsson B.,1992]. Στις ιδανικότερες περιπτώσεις που υπάρχουν περιοχές κτισμένες με ορθογώνιο σχέδιο στο εσωτερικό κάποιου πολεοδομικού συγκροτήματος, το ποσοστό αυτό μπορεί να φθάσει ακόμα και να ξεπεράσει λίγο το 80%. Τέλος είναι προφανές ότι εικόνες με μικρότερων διαστάσεων pixel όπως π.χ. το πανχρωματικό κανάλι του δορυφόρου SPOT προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια από εκείνες των πολυφασματικών καναλιών.

## **Ο ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΟΣ “ΘΟΡΥΒΟΣ” ΣΤΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΚΑΙ Η ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΩΝ “ΦΙΛΤΡΩΝ”. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ LANDSAT ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΤΟ 1986.**

Συχνά στις δορυφορικές εικόνες εμφανίζονται συστηματικά σφάλματα δηλ. αλλοιώσεις στις ραδιομετρικές τιμές της εικόνας που εμφανίζονται σ’όλα τα δορυφορικά κανάλια και μάλιστα κατά συστηματικό τρόπο. Οι συστηματικές αυτές ραδιομετρικές αλλοιώσεις είναι είτε πολύ χαμηλές ραδιομετρικές τιμές εν σχέσει με τις γειτονικές τους, είτε πολύ υψηλές. Το οπτικό αποτέλεσμα αυτών των σφαλμάτων είναι η ύπαρξη πολύ σκοτεινών ή φωτεινών περιοχών σε σχήματα κανονικά-συνήθως γραμμικά- με επακόλουθο να αλλοιώνεται στις περιοχές αυτές η ραδιομετρική φύση των περιοχών της εικόνας που έχουν καταγραφεί.

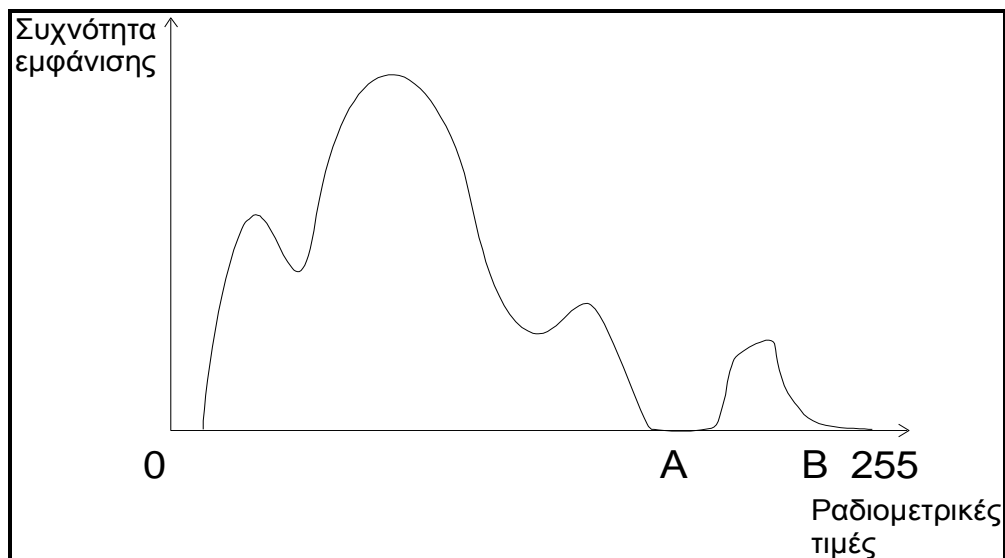
Μία από τις βασικές τεχνικές διόρθωσης τών ραδιομετρικών σφαλμάτων αυτού του είδους είναι η χρησιμοποίηση “φίλτρων”. Με τον όρο “φίλτρα” στην απλή εκδοχή του όρου εννοούμε τετραγωνικά πλαίσια 3X3, 5X5, 7X7 ή και μεγαλύτερων διαστάσεων που σαρώνουν την εικόνα και αποσκοπούν στην διόρθωση ή στην βελτίωση της εικόνας [Richards J.,1993].

Ένα γραμμικό φίλτρο είναι ένα φίλτρο το οποίο μετασχηματίζει μια δεδομένη ραδιομετρική τιμή ενός pixel σύμφωνα με κάποιο γραμμικό σχεδιασμό ραδιομετρικών τιμών από pixels που βρίσκονται σε κάποιες γειτονικές θέσεις με αυτό.

Η ανάλυση του Fourier διαχωρίζει τις συνιστώσες των χωρικών συχνοτήτων μιας εικόνας, τονίζει μερικές από αυτές (εξασθενίζοντας άλλες) και ξαναδημιουργεί την εικόνα που εμφανίζεται οπτικά ενισχυμένη.

Οι αλγόριθμοι που πραγματοποιούν την διεργασία αυτή λέγονται φίλτρα, διότι εξασθενούν ορισμένες ραδιομετρικές και επόμενως εντάσεις χρωμάτων στην εικόνα και ενδυναμώνουν άλλες.

Σχηματικά π.χ. έστω ότι το ιστόγραμμα μιας εικόνας είναι



και έστω ότι οι θέσεις των pixels που έχουν συχνότητα από A έως B κοντά στην μέγιστη τιμή των 255 για μία 8-bit εικόνα είναι διεσπαρμένες σε ολόκληρη την εικόνα σαν μικρά φωτεινά στίγματα.

Ένα φίλτρο που μπορεί να εφαρμοστεί για την αφαίρεση του θορύβου αυτού είναι το φίλτρο της κινητής χωρικά μέσης τιμής (spatial moving average filter) το οποίο αντικαθιστά κάθε ραδιομετρική τιμή pixel της εικόνας, με την μέση τιμή των γειτονικών του που βρίσκονται σ'ένα πλαίσιο 3x3 ή 5x5 ή 7x7 ή γενικά  $(2n+1) \times (2n+1)$  με  $n \in \mathbb{N}$  pixels.

Στην εργασία αυτή και στην εικόνα του 1986 εμφανίζεται ένας συστηματικός θόρυβος ο οποίος δεν έχει ούτε οριζόντια ούτε κάθετη διεύθυνση ως προς τις διαστάσεις της εικόνας. Ο θόρυβος αυτός εμφανίζεται ως γραμμικές διακοπτόμενες σειρές από pixels διαγώνια στην εικόνα. Οι ραδιομετρικές τιμές των “χαλασμένων” pixels είναι πολύ χαμηλές σε σχέση με τα γειτονικά τους. Αυτό έχει διαπιστωθεί από μία έρευνα pixel-pixel των ραδιομετρικών τιμών της εικόνας στις περιοχές εμφάνισης του θορύβου. Έτσι, τα φίλτρα που εξομαλύνουν τις ραδιομετρικές διαφορές σε όλη την έκταση της εικόνας όπως της κινητής μέσης τιμής διαπιστώθηκε ότι δεν εξαλείφουν τον παραπάνω θόρυβο.

Αντίθετα, το φίλτρο το οποίο αντικαθιστά την τιμή κάθε pixel της εικόνας με την μέγιστη ραδιομετρική τιμή εντός του πλαισίου που κινεί με 2 ή μία διαδοχική εφαρμογή, εξαλείφει τον παραπάνω θόρυβο.

Οι καλύτερες διαστάσεις του πλαισίου στην συγκεκριμένη εφαρμογή του φίλτρου της μέγιστης τιμής (mode filter) βρέθηκαν να είναι 7x7. Αυτό εξηγείται διότι το μέγεθος του ομαδοποιημένου θορύβου που αναφέρθηκε παραπάνω ξεπερνά κατά

πολύ κάθε φορά που εμφανίζεται στην εικόνα ένα πλαίσιο 3x3 ή 5x5 ή και μερικές φορές 7x7. Ένα παράδειγμα του θορύβου αυτού δίνεται σχηματικά στο παρακάτω πλαίσιο

98	<b>5</b>	94	93	88	<b>2</b>	96
97	96	<b>7</b>	95	89	94	<b>3</b>
95	93	<b>2</b>	9	90	<b>1</b>	<b>4</b>
88	87	<b>5</b>	<b>4</b>	91	92	<b>5</b>
86	88	99	<b>3</b>	<b>7</b>	97	98
90	93	92	94	95	96	94
89	88	90	93	92	97	96

## Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΣΤΗΚΕ

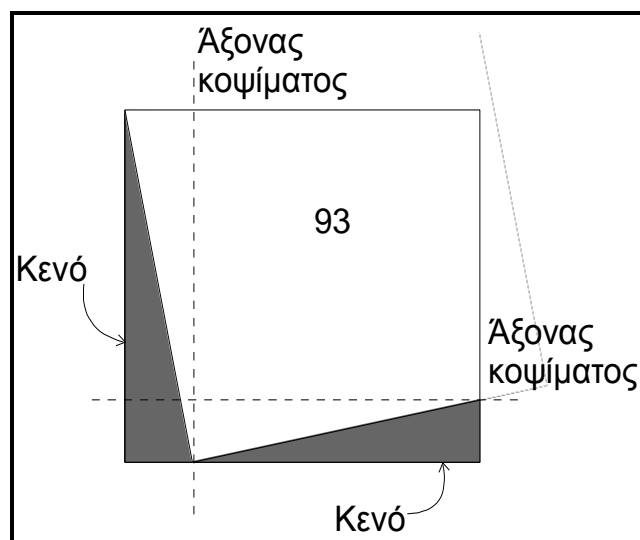
Έχοντας για δεδομένα στην παρούσα εργασία τις δορυφορικές εικόνες Landsat του 1986 και 1993, εφαρμόστηκαν οι παρακάτω επεξεργασίες για να δημιουργηθούν οι χάρτες των διαφορών των δύο εικόνων

Προπαρασκευαστικές εργασίες

### α) ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

- 1) Γεωμετρική διόρθωση των εικόνων ώστε να καταστούν υπερθέσιμες. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την κλασσική μέθοδο του εντοπισμού και οπτικής αναγνώρισης τοποσταθερών σημείων τα οποία είναι κοινά και στις δύο εικόνες. Μία γραμμική παλινδρόμηση με την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων κατέστησε την εικόνα του 1986 απόλυτα υπερθέσιμη σε αυτή του 1993.

1) Η εικόνα του 1993 κόπηκε έτσι ώστε να μην υπάρχουν κενά τα οποία εμφανίστηκαν μετά την γεωμετρική διόρθωση (Σχηματικά). Ακριβώς ο ίδιος αριθμός γραμμών και στηλών που κόπηκε στην



εικόνα του 1993, κόπηκε και στην εικόνα του 1986. Έτσι, καταλήξαμε να

**Δορυφορική εικόνα ευρύτερης περιοχής Βόλου  
απο δορυφορό Landsat TM 5ο κανάλι 1986**



έχουμε δύο εικόνες απόλυτα υπερθέσιμες και ίδιων διαστάσεων.

## Δορυφορική εικόνα ευρύτερης περιοχής Βόλου απο δορυφόρο Landsat TM 5ο κανάλι 1993

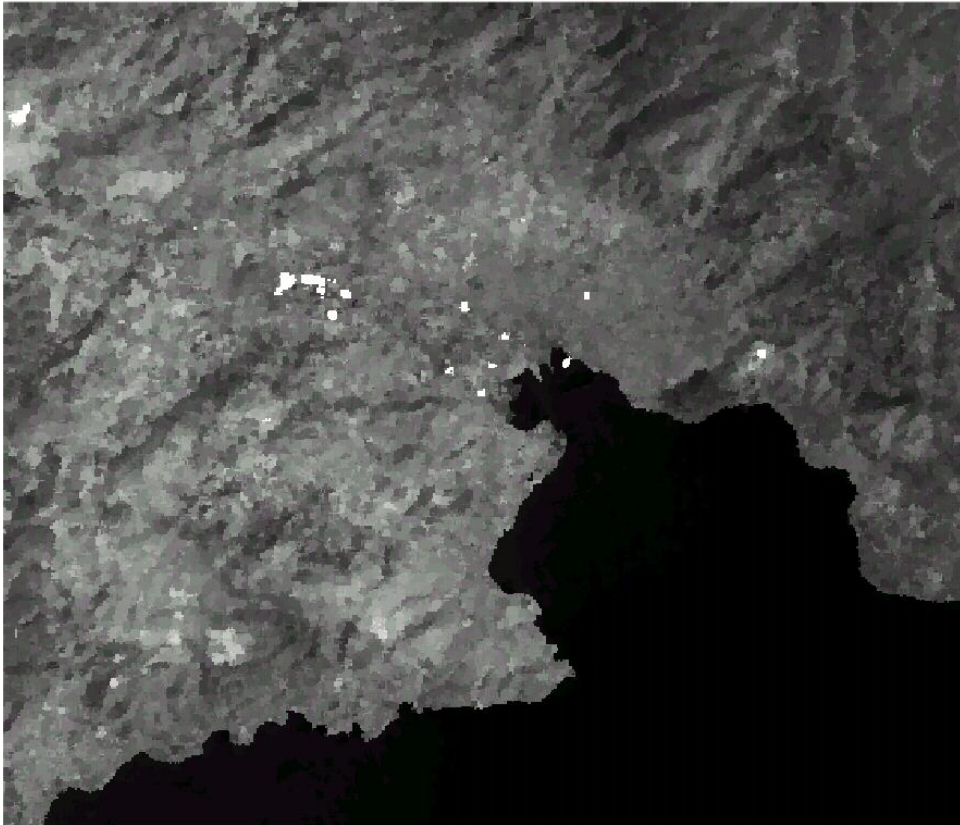


### β) ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

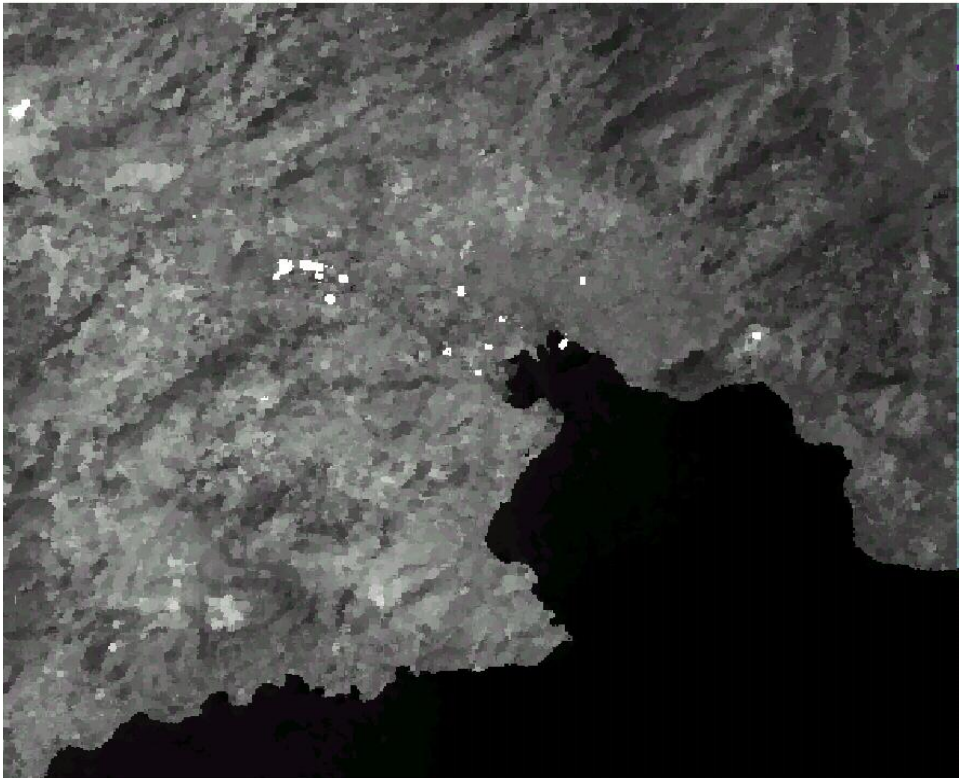
Λόγω της εμφάνισης θορύβου στην εικόνα του 1986 και για τους λόγους που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, εφαρμόστηκε το mode filter ή φίλτρο της μέγιστης τιμής διαστάσεων 7x7 στην εικόνα του 1986.

Επειδή, όμως, με την εφαρμογή οποιουδήποτε φίλτρου παρατηρείται και κάποια αλλοίωση στις αρχικές ραδιομετρίες της εικόνας και για τον λόγο της συμβατότητας μεταξύ των εικόνων 86 και 93, το φίλτρο αυτό εφαρμόστηκε και στην εικόνα του 1993.

Ραδιομετρικά διορθωμένη εικόνα του Βόλου, Landsat TM  
5ο κανάλι του 1986 με την χρήση φίλτρου  
μεγιστής τιμής διαστάσεων 5X5 Pixels



Ραδιομετρικά διορθωμένη εικόνα του Βόλου, Landsat TM  
5ο κανάλι του 1993 με την χρήση φίλτρου  
μεγίστης τιμής, διαστάσεων 5X5 Pixels



## ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΡΑΦΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΩΝ

Επειδή, όπως αναφέρθηκε, η καταγραφή της επιφάνειας της γης από τους δορυφόρους όχι σε ένα αλλά σε πολλά φασματικά κανάλια, δηλαδή σε διάφορα μήκη κύματος του οράτου και του υπέρυθρου φάσματος [Richards J., 1993] οι διάφορες καλύψεις γης π.χ. νερά, βλάστηση, αστικό περιβάλλον, αντιδρούν διαφορετικά σε κάθε ένα από αυτά. Έτσι, επιλέγοντας μόνο αμιγείς περιοχές, από κάθε μία από τις διαφορετικές καλύψεις που ορίζονται εκ των προτέρων, με την βοήθεια πολυγώνων (αρχείων σε διανυσματική μορφή- vector files) έχουμε π.χ. για τα 7 φασματικά κανάλια του δορυφόρου Landsat μια “φασματική υπογραφή” για τον αστικό χώρο. Η φασματική υπογραφή μιας κατηγορίας κάλυψης γης δημιουργείται από τον μέσο όρο ραδιομετρικών τιμών pixels που ανήκουν στην κατηγορία αυτή. Έτσι, στις συγκεκριμένες εικόνες του πολεοδομικού συγκροτήματος του Βόλου για το 1986 και το 1993, σχηματίζονται πολύγωνα τα οποία περιέχονται σε αμιγείς αστικές-δομημένες περιοχές. Στη συνέχεια, και για κάθε φασματικό κανάλι-εικόνα, βρίσκεται ο μέσος όρος των ραδιομετρικών τιμών των pixels που ανήκουν στα πολύγωνα αυτά.

Έτσι, δημιουργείται μια πολυγωνική γραμμή -η λεγόμενη φασματική υπογραφή- χαρακτηριστική του πολεοδομικού συγκροτήματος του Βόλου για το 1986. Η ίδια ακριβώς διαδικασία πραγματοποιείται για το 1993. Οι δύο φασματικές υπογραφές παρουσιάζονται συγχρόνως στο σχ. 5

Η καλύτερη επιλογή φασματικών καναλιών είναι σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα του 5<sup>ου</sup> καναλιού [Batty M. & Hower D., 1995] και στις δύο ημερομηνίες για τον λόγο ότι στα κανάλια αυτά η ίδια περιοχή εμφανίζει την μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των ραδιομετρικών τιμών.

## Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ

Διάφοροι τρόποι και μέθοδοι υπάρχουν για την μελέτη των διαφοροποιήσεων μεταξύ δύο απόλυτα υπερθέσιμων εικόνων [Lo c. & Shipman R., 1990]. Με την βοήθεια των μεθόδων αυτών είναι δυνατόν να μελετηθούν χωρικά τόσο οι αλλαγές στην ραδιομετρία μεταξύ διαφορετικών καναλιών της ίδιας ημερομηνίας όσο και οι



διαχρονικές αλλαγές μιας κάλυψης γης μεταξύ των ίδιων φασματικών καναλιών σε διαφορετικούς χρόνους λήψης των δορυφορικών εικόνων.

Μερικές από τις μεθόδους αυτές είναι η διαφορά των εικόνων, δηλαδή το πηλίκο μεταξύ των εικόνων, η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ των εικόνων και η εφαρμογή της μεθόδου της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες.

Στην παρούσα εργασία, εφαρμόστηκε η μέθοδος της διαφοράς μεταξύ των εικόνων [Fung T. & LeDrew E., 1988] όπου, αφαιρούνται οι ραδιομετρικές τιμές των αντίστοιχών, χωρικά, pixels και έτσι προκύπτει μια εικόνα των διαφορών των ραδιομετρικών τιμών των δύο εικόνων.

### **Εικόνα των διαφορών που προέκυψαν από την αλγεβρική αφαίρεση των ραδιομετρικά διορθωμένων εικόνων του 1993 μείον του 1986**



Σχηματικά, για ένα πολύ μικρό “παράθυρο εικόνων” (3x3) η μέθοδος δίνεται ως εξής:

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline 56 & 62 & 75 \\ \hline 82 & 68 & 49 \\ \hline 54 & 56 & 62 \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|c|c|} \hline 48 & 55 & 68 \\ \hline 60 & 64 & 54 \\ \hline 56 & 54 & 65 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 8 & 7 & 7 \\ \hline 22 & 4 & -5 \\ \hline -2 & 2 & -3 \\ \hline \end{array}$$

Το πρόβλημα που εμφανίζεται είναι η ποσοτικοποίηση των διαφορών που βρέθηκαν. Επειδή τα παράθυρα που επιλέχθηκαν είναι διαστάσεων  $561 \times 481 = 249841$  pixels δηλαδή το σύνολο των ατόμων είναι  $561 \times 481 = 249841$ , δεχόμαστε ότι η κατανομή των διαφορών των ραδιομετρικών τιμών των δύο εικόνων ακολουθεί την κανονική κατανομή.

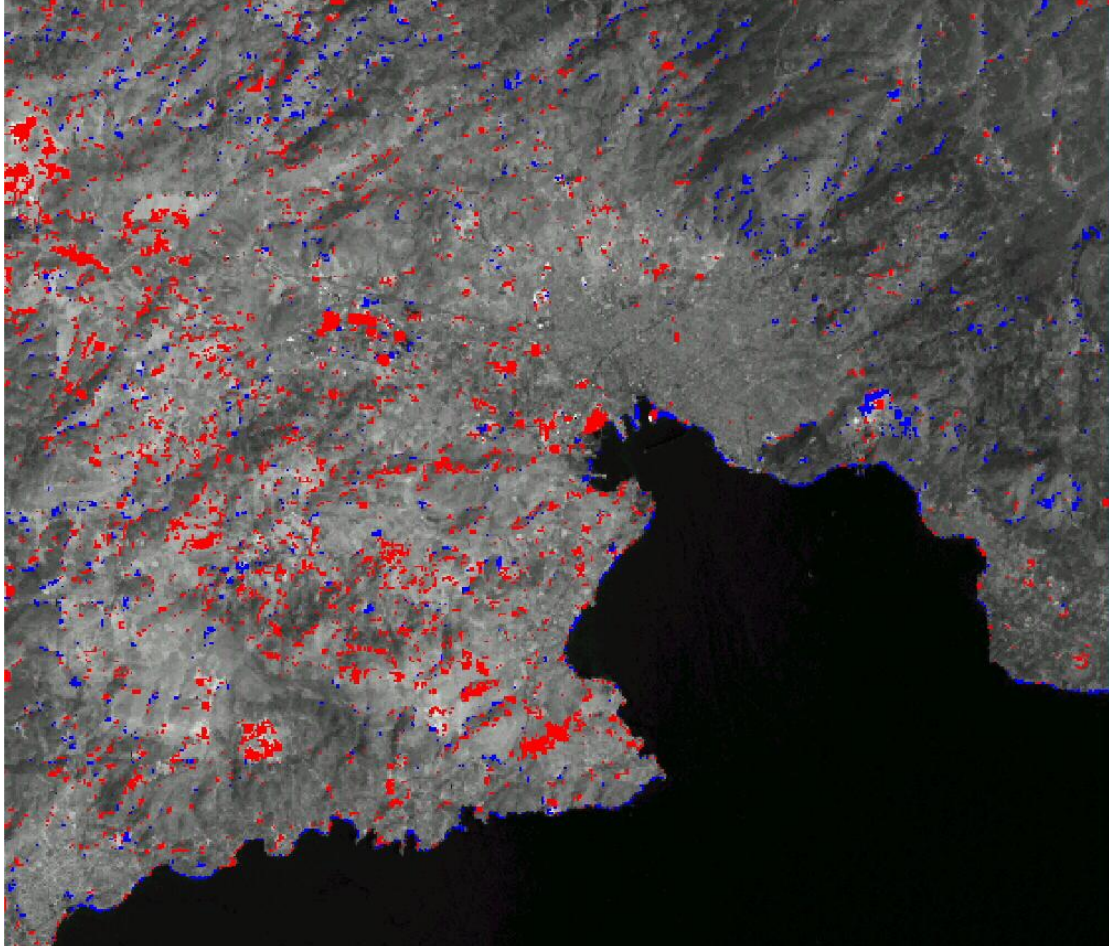
Με αυτόν τον τρόπο, αφαιρώντας και προσθέτοντας δύο (ή τρεις κατ' άλλους συγγραφείς, βλ. Lehlers 1990) τυπικές αποκλίσεις από την μέση τιμή της εικόνας των διαφορών, βρίσκουμε τις σημαντικές διαφορές ραδιομετρικών τιμών μεταξύ των δύο εικόνων. Οι διαφορές που είναι μικρότερες από  $\mu - 1,2\sigma$ , εκφράζουν πρακτικά τις ραδιομετρικές τιμές που, ενώ ήταν ψηλότερες στην εικόνα, μειώθηκαν στην εικόνα του 93, ενώ οι ραδιομετρικές τιμές που είναι μεγαλύτερες από  $\mu + 1,2\sigma$ , το αντίθετο.

Θεωρητικά, η μέση τιμή των διαφορών πρέπει να είναι 0. Ωστόσο, στην συγκεκριμένη περίπτωση και για αφαίρεση της εικόνας του 1986 από του 1993 και του καναλιού 5 βρέθηκε ίση με 20.

Τέλος, επιλέχτηκε να δημιουργηθούν τρεις, συνολικά, κατηγορίες pixel στην εικόνα- αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθόδου οπότε, το μπλε δείχνει διαφορές στο διάστημα με τιμές  $< \mu - 2\sigma$ , το , το έντονο κόκκινο τις διαφορές που είναι μεγαλύτερες από  $\mu + 2\sigma$ .

Η εικόνα 6 δείχνει τις κατηγοριοποιημένες, με αυτόν τον τρόπο, διαχρονικές αλλαγές μεταξύ του 1986 και του 1993 στον αστικό και στον περιαστικό χώρο του Βόλου [Gastellu-Etcheberry J.P., 1990] που περιέχεται στις δεδομένες δορυφορικές εικόνες.

Εικόνα των στατιστικά σημαντικών μεταβολών στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου κατά την χρονική περίοδο 1986-1993  
Το κόκκινο χρώμα χαρακτηρίζει μεταβολές που οφείλονται σε αύξηση των ραδιομετρικών τιμών το 1993 σε σχέση με αυτές του 1986  
Το μπλε χρώμα χαρακτηρίζει μεταβολές που οφείλονται σε μείωση των ραδιομετρικών τιμών το 1993 σε σχέση με αυτές του 1986



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑ

Είναι σίγουρο ότι, οποιοδήποτε φίλτρο που εφαρμόζεται σε δορυφορική εικόνα, αλλοιώνει την αρχική ραδιομετρική πληροφορία. Στην παρούσα εργασία, η αλλοίωση αυτή είναι αμαγκαστική, διότι η απώλεια πληροφορίας από τον συστηματικό θόρυβο στην δορυφορική εικόνα του 1986 είναι δυνατόν να προξενήσει μεγάλες αλλοιώσεις και στην ταξινόμηση της εικόνας της διαφοράς.

Η συμβατότητα πληροφορίας οδήγησε, στην αναγκαστική εφαρμογή του φίλτρου και στην δορυφορική εικόνα του 1993.

Η επιλογή των 5ων φασματικών καναλιών για την ευρεση των διαφορών μεταξύ των δύο εικόνων έγινε με κριτήριο την μεγαλύτερη ραδιομετρική απόσταση που έχουν τα δύο αυτά κανάλια εν σχέση με τα άλλα στις φασματικές υπογραφές.

Η επιλογή του διαστήματος  $[m-2\sigma, m+2\sigma]$  που εκφράζει τις περιοχές που δεν υπέστησαν αλλαγές, επιλέχθηκε αντί του διαστήματος  $[m-3\sigma, m+3\sigma]$  γιατί, ο αριθμός των pixels με τιμές εντός του διαστήματος αυτού είναι ελάχιστος.

Η εικόνα-αποτέλεσμα έχει ως υπόβαθρο το 5ο φασματικό κανάλι του 1993 όπου με μπλε χρώμα εμφανίζονται περιοχές με ψηλότερες ραδιομετρικές τιμές το 1986 και χαμηλότερες το 1993 και με κόκκινο το αντίθετο. Στην εικόνα αυτή, θα ήταν δυνατό να συμπεριληφθούν, το οδικό δίκτυο και οι ΟΤΑ (vector αρχεία), για τον καλύτερο χωρικό προσδιορισμό των διαχρονικών αλλαγών.

Τέλος, μια πιο προχωρημένη έρευνα θα μπορούσε με διάφορα κριτήρια, όπως δειγματοληψίες εδάφους και δείκτες συμφωνίας, να εξετάσει τον βαθμό ακριβείας των αποτελεσμάτων.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**Batty M. & Howes D.**, “Predicting Temporal Pattern in Urban Development from Remote Imagery”, *GISDATA Specialist Meeting on Remote Sensing and Urban Analysis, Strasbourg, France, 8-10 June, 1995.*

**Bertaud M.A.**, “The use of Sattelite Images for Urban Planning: A case study from Carachi, Pakistan” *Infrastructure and Urban Development Department Discussion Paper INU 42. Washington D.C., The World Bank, 1989.*

**Ehlers, M.,M.A. Jadcowski, R.R. Howard, and D.E. Brostuen**, “Application of SPOT Data for Regional Growth Analysis and Local Planning” *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(2)* pp. 175-180, 1990.

**Fung T., & Le Drew E.**, “The Determination of Optimal Threshold Levels for Change Detection Choosing Various Accuracy Indices” *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(10)* pp. 1449-1454, 1988.

**Gastellu-Etchegorry J.P.**, (ed.) “An assesment of SPOT XS and Landsat MMS data for digital classification of near-urban land cover” *International Journal of Remote Sensing , 11(2)* pp 225-235, 1990.

**Lo C.P. & R.L. Shipman**, “A GIS approach to Land Use Change Dynamics Detection” *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(11)* pp. 1483-1491, 1990.

**Paulsson Bengt**, “Urban Applications of Sattelite Remote Sensing and GIS Analysis” *UNDP/World Bank/UNCHS (Habitat) UMP#9. Washington D.C.;The World Bank, 1992.*

**Richards John A.**, “Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction”, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, London, Paris, Tokyo, 1993.*