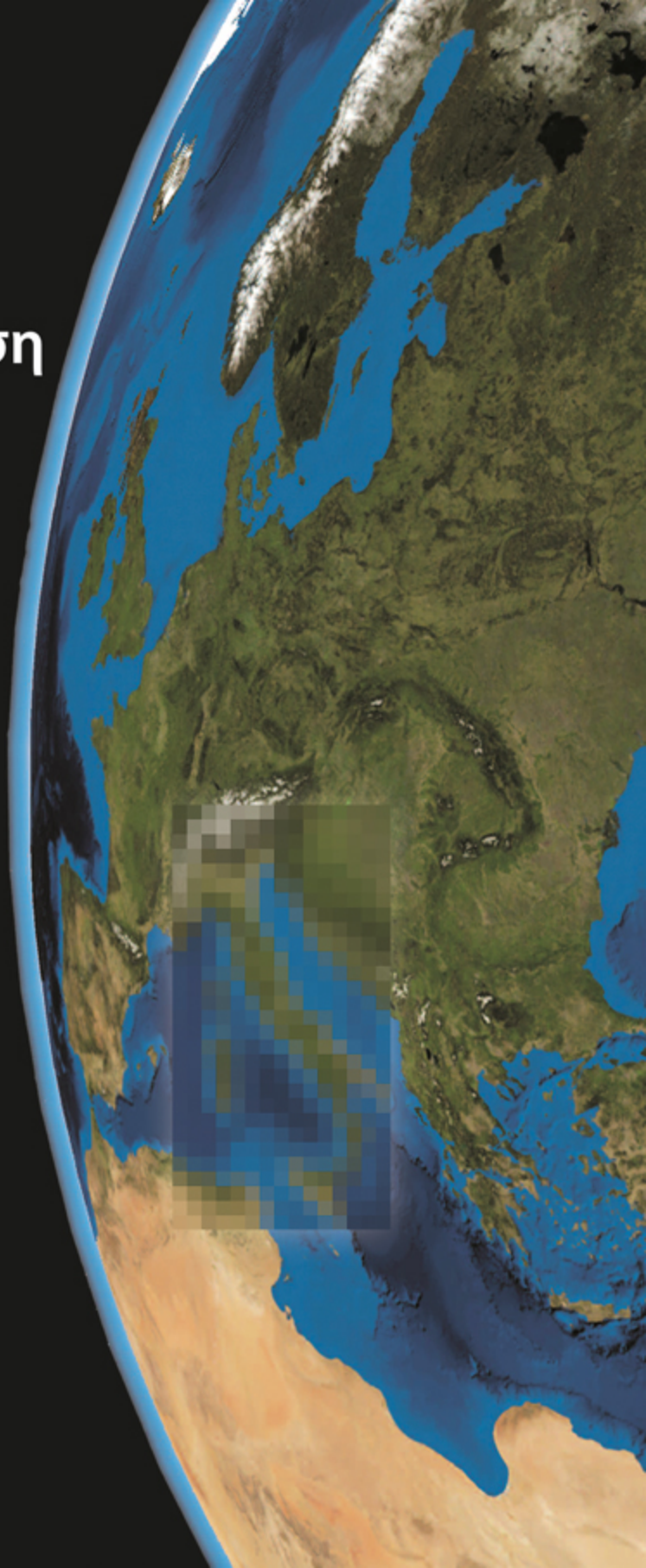


Δημήτριος Ε. Καϊμάρης

Τηλεπισκόπηση

Θεωρητική
προσέγγιση και
εργαστηριακές
ασκήσεις



Δημήτριος Ε. Καϊμάρης
Λέκτορας Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης
Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ.

ISBN 978-960-456-410-1

© Copyright 2014, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Δημήτριος Ε. Καϊμάρης

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευσή του συνόλου ή μέρους του έργου.

Φωτοστοιχειοθεσία

Εκτύπωση

Βιβλιοδεσία

Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ

18ο χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας

Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19

Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr



www.ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ:

Αρμενοπούλου 27, 546 35 Θεσσαλονίκη

Τηλ.: 2310.203.720, Fax: 2310.211.305 • e-mail: sales@ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΠΩΛΗΣΗ ΛΙΑΝΙΚΗ-ΧΟΝΔΡΙΚΗ:

Χαριλάου Τρικούπη 22, 106 79 Αθήνα

Τηλ.-Fax: 210.3816.650 • e-mail: athina@ziti.gr

ΣΤΟΑ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ - ΕΝΩΣΗ ΕΚΔΟΤΩΝ ΒΙΒΛΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:

Πεσμαζόγλου 5, 105 64 Αθήνα • Τηλ.-Fax: 210.3211.097

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ: www.ziti.gr

Πρόλογος

Το βιβλίο αυτό γράφτηκε για την υποστήριξη, κυρίως, της διδασκαλίας των μαθημάτων της Τηλεπισκόπησης και των Εφαρμογών της Γεωπληροφορικής του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Δομήθηκε, όμως, με τέτοιο τρόπο, που η χρήση του είναι δυνατή και σε αντίστοιχα μαθήματα άλλων Τμημάτων ή Σχολών, Ανώτατων ή Τεχνολογικών Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων της χώρας.

Το πόνημα αποτελείται από δύο μέρη: της θεωρίας και των εργαστηριακών ασκήσεων στην Τηλεπισκόπηση.

Στο πρώτο μέρος προσεγγίζονται εν συντομία θεωρητικά στοιχεία της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης. Ουσιαστικά, παρέχεται στον αναγνώστη το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο για την ομαλή μετάβασή του στο δεύτερο μέρος.

Στο δεύτερο μέρος του βιβλίου αναλύονται δύο εργαστηριακές ασκήσεις στον αστικό χώρο, βήμα προς βήμα. Αποσκοπούν αφενός στην κατανόηση της θεωρίας της Τηλεπισκόπησης και αφετέρου στην παροχή ενός «εγχειριδίου» λογισμικού Τηλεπισκόπησης, γραμμένο με απλό και κατανοητό τρόπο. Η 1^η εργαστηριακή άσκηση αποτελεί μια μελέτη ενημέρωσης χάρτη, μέσω της γεωμετρικής διόρθωσης, και σύγκρισης διαχρονικών τηλεπισκοπικών δεδομένων και προσδιορισμού των χρήσεων μέσω της ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων. Η 2^η εργαστηριακή άσκηση αποτελεί μια μελέτη υπολογισμού του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους αστικής/περιαστικής περιοχής από σύγχρονες δορυφορικές εικόνες.

Πιστεύω πως το περιεχόμενο, η διάταξη της ύλης και οι εφαρμογές θα συνεισφέρουν στην κατανόηση των βασικών αρχών μιας σημαντικής επιστημονικής περιοχής στο γνωστικό αντικείμενο του Χωροτάκτη, Πολεοδόμου και Περιβαλλοντολόγου Μηχανικού. Η υπόσχεσή μου είναι ότι το βιβλίο θα ενημερώνεται συνεχώς, κυρίως με νέες εργαστηριακές ασκήσεις, με στόχο τη σταδιακή κάλυψη όλο και περισσότερων πεδίων εφαρμογής της Τηλεπισκόπησης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον δάσκαλό μου, κ. Πέτρο Πατιά, καθηγητή του Τμήματος των Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την ηθική και πρακτική του βοήθεια, ο οποίος συνέβαλε ουσιαστικά στη συνέχιση της συγγραφικής προσπάθειας και στην αποφυγή λαθών σε όλο το κείμενο. Ευχαριστώ τη δασκάλα μου, κ. Όλγα Γεωργούλα, καθηγήτρια του Τμήματος των Αγρονόμων & Τοπο-

γράφων Μηχανικών, και τον συνάδελφο και φίλο, Ευστράτιο Στυλιανίδη, Επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, οι οποίοι, διαβάζοντας το αρχικό κείμενο, έκαναν παρατηρήσεις στο θεωρητικό του μέρος. Την ευθύνη για τα λάθη που απομένουν στο βιβλίο έχει αποκλειστικά ο συγγραφέας, ο οποίος θα ήταν ευγνώμων για οποιαδήποτε παρατήρηση ή κριτική.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φοιτητές και τις φοιτήτριές μου, τον κινητήριο μοχλό όλων των ακαδημαϊκών εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων μου, οι οποίοι, χάρη στην ουσιαστική συμμετοχή τους στα μαθήματα της Τηλεπισκόπησης, έδωσαν το έναυσμα για τη γέννηση των βασικών ιδεών της αρχιτεκτονικής αυτού του βιβλίου. Επίσης, τους φοιτητές και φοιτήτριές μου στο μάθημα Εφαρμογές Γεωπληροφορικής του 7ου εξαμήνου του ακαδημαϊκού έτους 2011-12, για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους σε τμήματα της 1ης εργαστηριακής άσκησης. Τέλος, ευχαριστώ την κ. Σοφία Μακρή για την επιμέλεια του κειμένου, και τον κ. Θεόδωρο Παπαϊωάννου για τη βοήθεια στη σχεδίαση του εξωφύλλου.

Μάρτιος 2014

Ο συγγραφέας

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Θεωρητική Προσέγγιση | 13 |
| Τηλεπισκόπηση | 15 |
| Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία-φάσμα | 15 |
| Κύριες αλληλεπιδράσεις με την ΗΜΑ | 16 |
| Εισαγωγή | 16 |
| Έδαφος | 17 |
| Αστικός χώρος | 18 |
| Βλάστηση | 19 |
| Η εξέλιξη των εικονοληπτικών δορυφορικών συστημάτων | 20 |
| Τομείς εφαρμογών της Τηλεπισκόπησης | 25 |
| Εικονοληπτικά συστήματα | 31 |
| Παθητικά και ενεργητικά συστήματα | 31 |
| Αναλογικό σύστημα/εικόνα | 31 |
| Εισαγωγή | 31 |
| Πηγή Δεδομένων | 31 |
| Γαλάκτωμα-Φιλμ | 32 |
| Χωρική ανάλυση – Κλίμακα | 32 |
| Είδος λήψης και Προσανατολισμοί | 34 |
| Εποχή, Χρονική στιγμή της λήψης | 38 |
| Ψηφιοποίηση αναλογικών εικόνων | 38 |
| Ψηφιακή φωτογραμμετρική επεξεργασία | 39 |
| Εισαγωγή | 39 |
| Αναγωγή | 40 |
| Ορθοαναγωγή | 41 |
| Από το DSM στο DTM | 43 |
| Ορθοφωτοχάρτης | 44 |
| Ψηφιακό δορυφορικό σύστημα/εικόνα | 45 |
| Εισαγωγή | 45 |
| Τροχιά δορυφόρου, εποχή λήψης | 46 |

| | |
|--|-----------|
| Φασματική ανάλυση | 47 |
| Εισαγωγή | 47 |
| Παγχρωματική εικόνα | 47 |
| Πολυφασματική εικόνα | 48 |
| Υπερφασματική εικόνα | 49 |
| Εικόνα Radar | 49 |
| Εικόνα Lidar | 50 |
| Ραδιομετρική ανάλυση | 50 |
| Χωρική ανάλυση | 53 |
| Αναγνωριστική ικανότητα | 55 |
| Γεωμετρικά μοντέλα δορυφόρων | 56 |
| Γεωμετρική διόρθωση παγχρωματικής και πολυφασματικής εικόνας | 59 |
| Διαδικασία | 59 |
| Επανασύσταση εικόνας | 61 |
| Ψηφιακό φίλτρο | 62 |
| Βελτίωση της εικόνας | 62 |
| Μετασχηματισμός της εικόνας | 64 |
| Εισαγωγή | 64 |
| Ψηφιακά Φίλτρα | 64 |
| Μετασχηματισμός Fourier | 67 |
| Σύνθεση εικόνας: Ορισμός, μετασχηματισμός σε κύριες συνιστώσες, τεχνικές | 69 |
| Δείκτες | 72 |
| Ταξινόμηση εικόνας | 80 |
| Εισαγωγή | 80 |
| Αυτόματη ταξινόμηση | 80 |
| Καθοδηγούμενη ταξινόμηση | 81 |
| Ταξινόμηση με δενδρόγραμμα κανόνων και αντικειμενοστραφής ταξινόμηση | 85 |
| Εργαστηριακές ασκήσεις | 87 |
| 1η εργαστηριακή άσκηση: Ενημέρωση χάρτη και προσδιορισμός χρήσεων | 89 |
| Εισαγωγή | 89 |
| Αναλογικά δεδομένα | 89 |
| Ψηφιακά δεδομένα | 92 |
| Εισαγωγή των αεροφωτογραφιών στο Erdas | 95 |
| Καθορισμός του συστήματος αναφοράς συντεταγμένων | 99 |
| Έναρξη LPS και δημιουργία ψηφιακού αρχείου βαθμονόμησης της φωτομηχανής | 102 |
| Εσωτερικός προσανατολισμός | 107 |

| | |
|---|-----|
| Αεροτριγωνισμός | 111 |
| Λίστα φωτοσταθερών | 111 |
| Το όριο του αεροτριγωνισμού | 115 |
| Μαρκάρισμα φωτοσταθερών και σημείων ελέγχου | 115 |
| Δημιουργία σημείων σύνδεσης | 119 |
| Ιδιότητες και ενεργοποίηση αεροτριγωνισμού | 121 |
| Αποτελέσματα αεροτριγωνισμού και επιλογή βέλτιστης λύσης | 128 |
| Έλεγχος της ακρίβειας του αεροτριγωνισμού | 129 |
| Παραγωγή DSM, DTM | 131 |
| Διαδικασία παραγωγής DSM, DTM | 131 |
| Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων | 136 |
| Ορθοαναγωγή αεροφωτογραφιών | 138 |
| Παραγωγή φωτομωσαϊκού | 141 |
| Εκλέπτυνση φωτομωσαϊκού | 144 |
| Σύνθεση (datafusion) παγχρωματικής και πολυφασματικής εικόνας | 146 |
| Διαδικασία σύνθεσης | 146 |
| Έλεγχος διατήρησης της αρχικής φασματικής πληροφορίας | 147 |
| Διαδικασία γεωμετρικής διόρθωσης δορυφορικής εικόνας | 155 |
| Παραγωγή ορθοανηγμένης δορυφορικής εικόνας | 160 |
| Ταξινόμηση εικόνας | 161 |
| Κοπή της ορθοανηγμένης σύνθετης δορυφορικής εικόνας | 161 |
| Πλήθος και είδος των τάξεων | 161 |
| Λήψη των δειγμάτων από κάθε τάξη | 161 |
| Δημιουργία ταξινομημένης εικόνας (επιβλεπόμενη ταξινόμηση) | 167 |
| Ακρίβεια της ταξινομημένης εικόνας | 169 |
| Αυτοματοποιημένη εξαγωγή των εμβαδών των χρήσεων | 175 |
| 2η εργαστηριακή άσκηση: Παραγωγή DTM από δορυφορικές εικόνες | 179 |
| Εισαγωγή | 179 |
| Ψηφιακά δεδομένα | 179 |
| Εκκίνηση του LPS | 180 |
| Εσωτερικός και εξωτερικός προσανατολισμός δορυφορικών εικόνων | 183 |
| Τριγωνισμός | 188 |
| Λίστα φωτοσταθερών | 188 |
| Το όριο του τριγωνισμού | 189 |
| Μαρκάρισμα φωτοσταθερών και σημείων ελέγχου | 189 |
| Δημιουργία σημείων σύνδεσης (Tie points) | 191 |

| | |
|--|-----|
| Ιδιότητες και ενεργοποίηση τριγωνισμού | 192 |
| Έλεγχος της ακρίβειας του τριγωνισμού | 197 |
| Παραγωγή DSM, DTM | 199 |
| Διαδικασία παραγωγής DSM, DTM | 199 |
| Αξιολόγηση αποτελεσμάτων | 201 |
| Παράρτημα: Εικονοληπτικά δορυφορικά συστήματα υψηλής χωρικής ανάλυσης | |
| (ενδεικτικά) | 205 |
| Συντομογραφίες | 259 |
| Βιβλιογραφία | 265 |



Θεωρητική προσέγγιση

Τηλεπισκόπηση

Η Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη της παρατήρησης των φαινομένων και των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση. Βασίζεται στην αλληλεπίδραση της ύλης με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Από τα εκατοντάδες ενεργά τηλεπισκοπικά συστήματα (τηλεπικοινωνιακά, μετεωρολογικά-κλιματολογικά, στρατιωτικά κ.ά.), αυτό το βιβλίο μελετά τα εικονοληπτικά εμπορικά τηλεπισκοπικά συστήματα, δηλαδή τα συστήματα που λαμβάνουν εικόνες της γήινης επιφάνειας και των αντικειμένων της.

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία-φάσμα

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που εκπέμπεται υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τα οποία διαδίδονται στο κενό με ταχύτητα φωτός ($c=299.792.458\text{m/s}$), ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ΗΜΑ). Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι συγχρονισμένα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, τα οποία ταλαντώνονται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης και σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους. Ανάλογα με τη συχνότητα των κυμάτων και την ενέργεια που μεταφέρεται, η ΗΜΑ διακρίνεται στις φασματικές περιοχές (πιν. 1) των ραδιοκυμάτων, των μικροκυμάτων, στην υπέρυθρη, ορατή, στην υπεριώδη περιοχή και στις ακτίνες Χ και Γ.

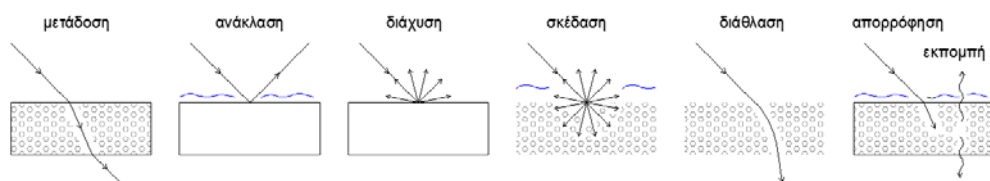
Πίνακας 1. Περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

| Φασματική περιοχή | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------------|---------------|-------------|----------------|-------------|------------------------------|-------------|---|----|---|---|---|-------------|---|
| Μήκος κύματος | Ακτίνες Γ | Ακτίνες Χ | Υπεριώδης | Ορατή | | | Υπέρυθρη | | | | Μικροκύματα | | | | | | Ραδιοκύματα | |
| | | | | Μπλε (BLUE) | Πράσινη (GREEN) | Κόκκινη (RED) | Εγγύς (NIR) | Βραχεία (SWIR) | Μέση (MWIR) | Μακρά ή Θερμική (LWIR ή TIR) | Ka | K | Ku | X | C | S | | L |
| < 0.03 nm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.03-300 nm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.30-0.38 μm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.38-0.50 μm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.50-0.60 μm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.60-0.72 μm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.72-1.30 μm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.30-3.00 μm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.00-8.00 μm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.00-15.0 μm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75-1.10 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.10-1.67 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.70-2.40 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.40-3.80 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.80-7.69 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.69-15.00 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15.00-30.00 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30.00-100.00 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Κύριες αλληλεπιδράσεις με την ΗΜΑ

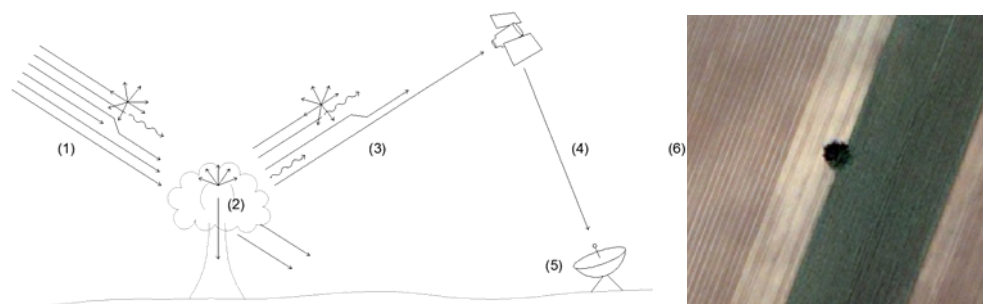
Εισαγωγή

Στις εικόνες των εικονοληπτικών τηλεπισκοπικών συστημάτων, καταγράφεται το αποτέλεσμα της αμοιβαίας επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας και με την ατμόσφαιρα. Τα είδη αυτής της αλληλεπίδρασης είναι η μετάδοση, η ανάκλαση, η διάχυση, η σκέδαση, η διάθλαση, η απορρόφηση και η εκπομπή της ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα τη μεταβολή του μεγέθους, της διεύθυνσης, του μήκους κύματος, της πόλωσης και της φάσης (εικ. 1 και 2).



Εικόνα 1. Αποτελέσματα κύριων αλληλεπιδράσεων με την ΗΜΑ.

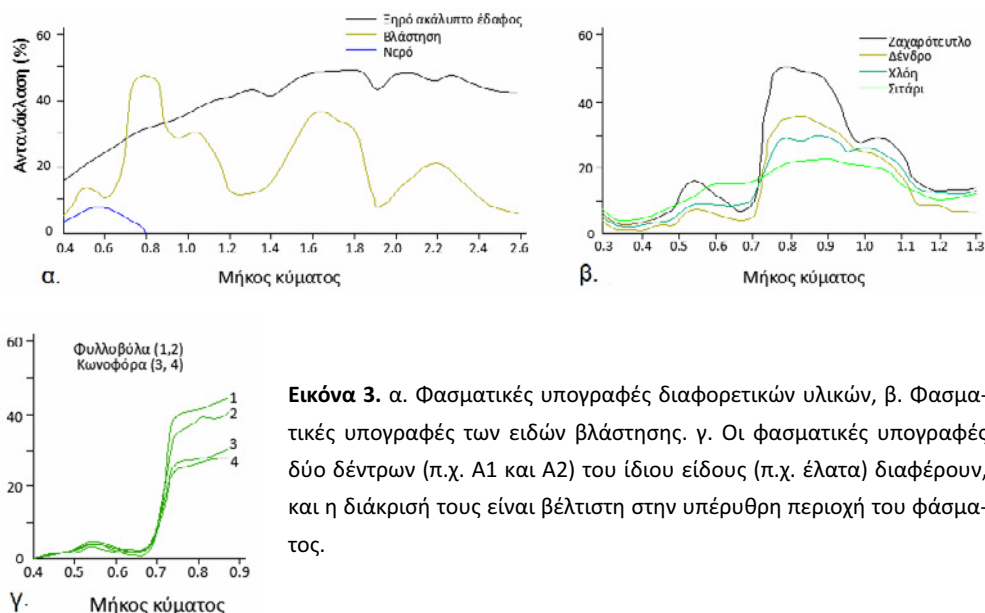
Τετράγωνο = στερεό, κυματοειδές = υγρό, κύκλοι = αιωρούμενα σωματίδια, μόρια.



Εικόνα 2. Η ΗΜΑ, καθώς διανύει την ατμόσφαιρα (1), υφίσταται μετάδοση, σκέδαση, διάθλαση, απορρόφηση και εκπομπή (παρουσία σωματιδίων/μορίων). Φτάνοντας στη γήινη επιφάνεια, σαφώς υποβαθμισμένη (περίπου το 50% της αρχικής ενέργειας), μεταδίδεται, ανακλάται, διαχέεται, απορροφάται και εκπέμπεται (ως θερμότητα) από τα φύλλα του δέντρου (2). Η ενέργεια που κατευθύνεται (3) προς το εικονοληπτικό δορυφορικό σύστημα δέχεται από την ατμόσφαιρα εκ νέου υποβάθμιση, σύμφωνα με το στάδιο (1). Επίσης, προς τον δορυφόρο κατευθύνεται μέρος της ακτινοβολίας που σκεδάζεται στο στάδιο (1) ή/και ανακλάται, διαχέεται και εκπέμπεται από άλλα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας. Η συνισταμένη όλων αυτών των αλληλεπιδράσεων συλλέγεται από τον δορυφόρο, ο οποίος μεταδίδει (4) τις πληροφορίες στον επίγειο σταθμό (5). Η επεξεργασία που πραγματοποιείται στον όγκο του συστήματος θα επιτρέψει τη δημιουργία της τελικής εικόνας (6) που λαμβάνει ο χρήστης.

Τα ποσοστά των μεταβολών της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας εξαρτώνται από τη φύση της επιφάνειας, το μήκος κύματος και τη γωνία πρόσπτωσης. Κάθε αντικείμενο έχει δι-

αφορετική κατανομή ανακλώμενης, απορροφούμενης ή εκπεμπόμενης ακτινοβολίας συναρτήσει του μήκους κύματος λ . Η μελέτη αυτής της φασματικής διαφορετικότητας σε διάφορα μήκη κύματος εξασφαλίζει τη διάκριση των αντικειμένων μεταξύ τους (εικ. 3 και 4). Η μορφή της φασματικής καμπύλης του αντικειμένου, συναρτήσει του μήκους κύματος λ , ονομάζεται *φασματική ταυτότητα* ή *φασματική υπογραφή* του αντικειμένου. Σήμερα, υπάρχουν διαθέσιμες βιβλιοθήκες φασματικών απαντήσεων εκατοντάδων αντικειμένων της γήινης επιφάνειας.



Εικόνα 3. α. Φασματικές υπογραφές διαφορετικών υλικών, β. Φασματικές υπογραφές των ειδών βλάστησης. γ. Οι φασματικές υπογραφές δύο δέντρων (π.χ. A1 και A2) του ίδιου είδους (π.χ. έλατα) διαφέρουν, και η διάκρισή τους είναι βέλτιστη στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος.

Έδαφος

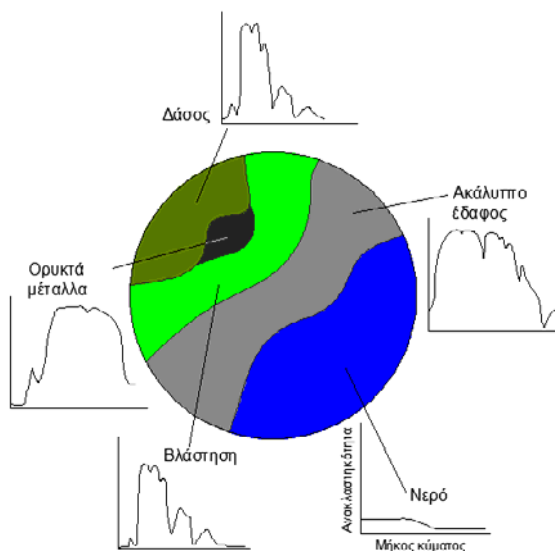
Οι παράγοντες που επηρεάζουν την *εδαφική* αντανακλαστικότητα είναι η *υγρασία*, η *υφή*, η *τραχύτητα* του εδάφους, η *περιεκτικότητα σε οξείδιο του σιδήρου* και σε *οργανικές ουσίες*.

Η υφή εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων που συνθέτουν το έδαφος. Η τραχύτητα επηρεάζει τη γωνία ανάκλασης της ακτινοβολίας· για παράδειγμα, η επίπεδη επιφάνεια επιφέρει κατοπτρική ανάκλαση, ενώ η τραχεία επιφάνεια τη διάχυση της ακτινοβολίας προς όλες τις διευθύνσεις. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ύλη, τόσο μειώνεται η ανάκλαση της ακτινοβολίας (λόγω απορρόφησης). Αντίθετα, η παρουσία οξειδίων του σιδήρου αυξάνουν την ανάκλαση στην ορατή κόκκινη (RED) και την μειώνουν στην εγγύς υπέρυθρη (NIR) περιοχή του φάσματος.

Η παρουσία υγρασίας στο έδαφος μειώνει την αντανακλαστικότητά του. Η υφή του εδάφους είναι άμεσα συσχετισμένη με την περιεχόμενη υγρασία σε αυτό· για παράδειγμα,

μα, σε χονδρόκοκκο έδαφος παρατηρείται υψηλή ικανότητα αποστράγγισης και, κατ' επέκταση, μεγάλη ανάκλαση, ενώ στο λεπτόκοκκο έδαφος υψηλή συγκράτηση υγρασίας και μικρή ανάκλαση.

Οι παρατηρήσεις της ανακλαστικότητας είναι εντονότερες στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος, λόγω της μέγιστης απορρόφησης της ενέργειας από το νερό (εικ. 3.α). Γενικότερα, ο προσδιορισμός της διαφοράς της εδαφολογικής υγρασίας επιτυγχάνεται δύσκολα με αισθητήρες στην ορατή περιοχή του φάσματος. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται αισθητήρες και δείκτες (σελ. 73, 75, δείκτες SR, NDVI, LST, κ.ά.) στη NIR και στη θερμική υπέρυθρη (LWIR ή TIR) περιοχή του φάσματος, για τη διάκριση των διαφορετικών ειδών του εδάφους και τον προσδιορισμό της εδαφολογικής υγρασίας, η οποία προκύπτει έμμεσα από τη διαφορά της εδαφολογικής θερμοκρασίας. Τέλος, έρευνες έχουν δείξει ότι η εδαφολογική υγρασία υπολογίζεται βέλτιστα στη συχνότητα C-Band (πέρα από τη χρήση της συγκεκριμένης συχνότητας σε εφαρμογές στη θάλασσα και στους πάγους) και για γωνία πρόσπτωσης 10° - 20° , κατά την οριζόντια αποστολή και συλλογή της ακτινοβολίας από το σύστημα Radar.



Εικόνα 4. Φασματικές καμπύλες διαφορετικών υλικών της γήινης επιφάνειας.

Αστικός χώρος

Το αστικό μικροκλίμα διαμορφώνεται από τη συνισταμένη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, των δομικών υλικών των κατασκευών, της αρχιτεκτονικής της πόλης και των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν. Η θερμοκρασία της πόλης είναι κατά μερικούς βαθμούς ($1-2^{\circ}\text{C}$ την ημέρα, $6-8^{\circ}\text{C}$ τη νύχτα) μεγαλύτερη από αυτήν των γειτονικών, μη αστικών περιοχών. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *αστική θερμική νησίδα*, και οι κύριες αιτίες εμφάνισης

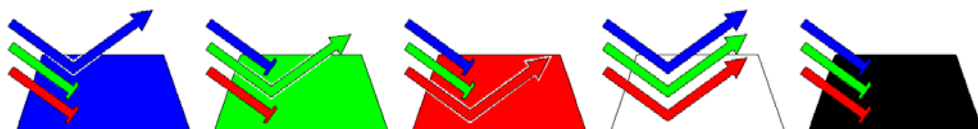
νισής του συνίστανται στις μεγάλες θερμικές ιδιότητες (θερμοχωρητικότητα η ικανότητα των υλικών να αποθηκεύουν θερμότητα, θερμική αγωγιμότητα ο ρυθμός με τον οποίο ένα υλικό μεταφέρει θερμότητα) των αστικών κατασκευών, στη μεγάλη έκταση και στην αστική πυκνότητα των πόλων, στην αυξημένη απορρόφηση και στην κάθετη ανάκλαση ή/και εκπομπή της ακτινοβολίας από τις κάθετες πλευρές των κτιρίων, στην ταχύτατη αποστράγγιση των υδάτων, στην τραχύτητα των πόλεων, στην ανθρωπογενή εκπεμπόμενη θερμότητα κ.α. Η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ αστικού και μη αστικού χώρου ονομάζεται *ένταση της αστικής θερμικής νησίδας*. Για τον προσδιορισμό της επιφανειακής θερμοκρασίας των πόλεων (και όχι μόνο, όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη §), χρησιμοποιούνται αισθητήρες κυρίως στην LWIR (ή TIR) περιοχή του φάσματος και δείκτες, όπως, για παράδειγμα, η επιφανειακή θερμοκρασία (T_s , σελ. 74).

Λόγω της απορρόφησης της ακτινοβολίας από τα μόρια των αερίων της ατμόσφαιρας, χρησιμοποιούνται στην Τηλεπισκόπηση περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ατμοσφαιρικά παράθυρα), στις οποίες ο συντελεστής εξασθένησης $K_{\text{μop}}^{\text{απορ}}$ της ακτινοβολίας είναι πολύ μικρός. Στην περίπτωση υπολογισμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τη χρήση δορυφορικών εικόνων, ο συντελεστής εξασθένησης $K_{\text{μop}}^{\text{σκέδ}}$, εξαιτίας της μοριακής σκέδασης, λαμβάνει μεγάλες τιμές, ακόμη και στην περίπτωση μη ρυπασμένης ατμόσφαιρας. Συνεπώς, απομένει η παρατήρηση των μικρό μεταβολών των συντελεστών εξασθένησης της σωματιδιακής απορρόφησης $K_{\text{σωμ}}^{\text{απορ}}$ και σκέδασης $K_{\text{σωμ}}^{\text{σκέδ}}$, για την εκτίμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η ποσοτική εκτίμηση της θόλωσης (αποτέλεσμα απορρόφησης) και της συσκότισης (αποτέλεσμα σκέδασης των σωματιδίων) της εικόνας επιτρέπει τον υπολογισμό του ολοκληρώματος των δύο συντελεστών εξασθένησης, από την επιφάνεια της Γης ($h=0$) έως το ύψος ($h=H$) του δορυφόρου, για ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος (οπτικό πάχος αερολύματος τ_σ , Δείκτες, σελ. 74).

Βλάστηση

Στην ορατή περιοχή της ακτινοβολίας, η μέγιστη απορρόφηση της ενέργειας από τη χλωροφύλλη παρατηρείται στην περιοχή από 0.45 έως 0.64 μm (ορατή μπλε-BLUE και RED). Γι' αυτόν τον λόγο ο άνθρωπος βλέπει την υγιή βλάστηση πράσινη (απορρόφηση από τα φύλλα της μπλε και κόκκινης ενέργειας και ανάκλαση της πράσινης, εικ. 5). Ποικίλοι παράγοντες που είναι παρόντες κατά την ανάπτυξη του φυτού, όπως η έλλειψη υγρασίας στο έδαφος, μειώνουν την παραγωγή χλωροφύλλης, με αποτέλεσμα την ελάττωση της απορρόφησης της μπλε και κόκκινης ενέργειας, την αύξηση της ανάκλασης και την εξασθένηση του φυτού. Συχνά, η κόκκινη ανάκλαση δίνει κίτρινο χρώμα στο φυτό, που είναι ο συνδυασμός του κόκκινου και του πράσινου χρώματος. Το ίδιο ακριβώς φαινόμενο παρατηρείται κατά την ωρίμανση-γήρανση του φυτού, λόγω όμως της φυσιολογικής εξέλιξής του (φαινολογικός κύκλος). Αντίθετα, η αύξηση της εδαφολογικής υγρασίας επιφέρει

γρήγορη ανάπτυξη του φυτού, χάρη στην παραγωγή περισσότερης χλωροφύλλης και στην απορρόφηση περισσότερης ενέργειας για την πραγματοποίηση της φωτοσύνθεσης. Η ανάκλαση μειώνεται, επίσης, στις περιοχές 1.4, 1.9 και 2.6μm του φάσματος λόγω της μεγάλης απορρόφησης της ακτινοβολίας από την υγρασία των φύλλων (εικ. 3α). Γενικότερα, η ανάκλαση των φύλλων είναι συνάρτηση της υγρασίας και της λεπτότητάς τους.



Εικόνα 5. Ο σχηματισμός των χρωμάτων.

Συνεπώς, μεγάλες ή μέτριες διαφορές της ανακλαστικότητας των φυτών της ίδιας βλάστησης μπορούν να προσδιοριστούν στην ορατή περιοχή του φάσματος και στις περιοχές γύρω από τα μήκη κύματος 1.4, 1.9 και 2.6μm. Μικρές, όμως, διαφορές είναι δύσκολο να προσδιοριστούν στις αντίστοιχες θέσεις, εξαιτίας ακριβώς της μεγάλης απορρόφησης της ακτινοβολίας. Οι καταλληλότερες ζώνες για τον προσδιορισμό αυτών των μικρών διαφορών είναι οι περιοχές μεγάλης ανάκλασης, όπως η περιοχή από 0.7 έως 1.1μm του φάσματος (NIR, εικ. 3β,γ) και η περιοχή από 1.5 έως 1.8μm (βραχεία υπέρυθρη-SWIR). Σε αυτήν την περίπτωση, μπορούν όχι μόνο να διαχωριστούν τα είδη της βλάστησης μεταξύ τους (εικ. 3β), τα οποία είναι δυνατό να έχουν το ίδιο χρώμα στο ορατό φάσμα, αλλά να προσδιοριστούν και οι λεπτές διαφορές στην ποιότητα του ίδιου είδους (εικ. 3γ). Τέλος, έρευνες έχουν δείξει ότι η μελέτη της βλάστησης μπορεί να πραγματοποιηθεί στη συχνότητα L-Band (μεγαλύτερη διείσδυση στο εσωτερικό του φυτού σε σχέση με την C-Band) και για γωνία πρόσπτωσης $>23^\circ$, κατά την οριζόντια αποστολή και συλλογή της ακτινοβολίας από το σύστημα Radar.

Η εξέλιξη των εικονοληπτικών δορυφορικών συστημάτων




Για πρώτη φορά, διατυπώθηκε η άποψη της χρήσης πυραύλου ως πλατφόρμας για την εξάρτηση φωτογραφικών μηχανών από τον Rahtmann το 1891. Οι πρώτες λήψεις φωτογραφιών από μικρό πύραυλο, σε ύψος περίπου 100m, πραγματοποιήθηκαν το 1897 από τον Alfred Nobel. Το 1904, ο Alfred Maul's κατασκεύασε έναν μικρό πύραυλο και πραγματοποίησε λήψεις από ύψος 600m. Με την εκτόξευση του πυραύλου V-2, το 1946, (γερμανικής προέλευσης) από τον στρατό των Η.Π.Α., αποκτήθηκαν οι πρώτες πλάγιες εικόνες της επιφάνειας της Γης (περιοχές στο Νέο Μεξικό) από το διάστημα.

Η διαστημική παρατήρηση της επιφάνειας της Γης ξεκίνησε με την κατασκευή του πρώτου δορυφόρου *SPUTNIK-1* (πρώην Ε.Σ.Σ.Δ.) στις 4 Οκτωβρίου του 1957. Παράλληλα,

σημειώθηκε πρόοδος στην τεχνολογία των πολυφασματικών αισθητήρων και αερομεταφερόμενων side-looking radar. Η πρώτη φωτογραφία της Γης από το διάστημα λήφθηκε τον Αύγουστο του 1959 από τον δορυφόρο *Explorer-6* (Η.Π.Α.). Το 1960, ενεργοποιήθηκε το στρατιωτικό κατασκοπευτικό πρόγραμμα CORONA από τις Η.Π.Α., που είχε ως αποτέλεσμα την εκτόξευση 100 δορυφόρων από το 1960 έως το 1972 και τη λήψη 800,000 ασπρόμαυρων εικόνων χωρικής ανάλυσης 2m.

Το 1961, λήφθηκαν φωτογραφίες από το τηλεκατευθυνόμενο διαστημικό σκάφος «MA-4» και, στη συνέχεια, από τα σκάφη «MA-8» και «MA-9». Το 1965, πραγματοποιήθηκε η πρώτη επανδρωμένη πτήση «*Gemini GT-3*», για τη λήψη έγχρωμων φωτογραφιών της επιφάνειας της Γης. Το 1967, ξεκίνησαν οι τροχιακές πτήσεις με τις επανδρωμένες αποστολές «*Apollo*» (*Apollo-6*, 7), καταλήγοντας στη χρήση του πολυφασματικού αισθητήρα SO65, στην αποστολή *Apollo-9*, το 1968.

Από τους εκατοντάδες δορυφόρους που προωθήθηκαν από το 1968 έως και σήμερα, στις παραγράφους που ακολουθούν, θα παρουσιαστεί η εξέλιξη των εικονοληπτικών δορυφορικών συστημάτων υψηλής χωρικής ανάλυσης.

Η συστηματική συλλογή εικόνων ξεκινά με την εκτόξευση από τη NASA (Η.Π.Α.) του δορυφόρου *LANDSAT-1*, στις 23 Ιουλίου του 1972. Ο πολυφασματικός αισθητήρας (Multi-spectral, MS,  σελ. 48) λάμβανε εικόνες της επιφάνειας της Γης με χωρική ανάλυση ( σελ. 53) 80m. Μέχρι σήμερα, έχουν εκτοξευτεί άλλοι τέσσερις δορυφόροι, ο *LANDSAT-2* (22/1/1975), ο *LANDSAT-3* (5/3/1978), ο *LANDSAT-4* (16/7/1982), ο *LANDSAT-5* (1/3/1984), ενώ μετά την αποτυχημένη εκτόξευση του *LANDSAT-6*, τον Απρίλιο του 1999, τέθηκε σε τροχιά ο *LANDSAT-7*. Οι βελτιώσεις των αισθητήρων αυτού του δορυφορικού συστήματος οδήγησαν στη λήψη εικόνων με χωρική ανάλυση 30m για τον πολυφασματικό και 15m για τον παγχρωματικό αισθητήρα (Panchromatic, PAN,  σελ. 47). Ο νέος δορυφόρος *LANDSAT-8* εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 2013, δίνοντας σήμερα εικόνες με χωρική ανάλυση 15m στον PAN, και 30m, 100m στον MS αισθητήρα.

Το 1978, προωθήθηκε από τις Η.Π.Α. ο πρώτος δορυφόρος Radar (σύστημα Synthetic Aperture Radar - SAR) με την ονομασία *SEASAT* και χωρική ανάλυση 25m. Οι πειραματισμοί συνεχίστηκαν με τον δορυφόρο *SIR-A* τον Δεκέμβριο του 1981, τον *SIR-B* τον Οκτώβριο του 1984 και με δύο δορυφόρους της σειράς *SIR-C/X-SAR* τον Ιούνιο και τον Σεπτέμβριο του 1994, αγγίζοντας τη χωρική ανάλυση των 10m.

Το 1977, η Γαλλική Κυβέρνηση ενέκρινε το πρόγραμμα *SPOT* (*Systeme Pour l' Observation de la Terre*), με αποτέλεσμα την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου *SPOT-1* στις 22 Φεβρουαρίου 1986. Μέχρι σήμερα, έχουν τεθεί σε λειτουργία άλλοι τέσσερις δορυφόροι, οι *SPOT-2* (1990), *SPOT-3* (1993), *SPOT-4* (1998) και *SPOT-5* (2002). Οι ψηφιακές εικόνες του τελευταίου δορυφόρου της σειράς έχουν χωρική ανάλυση 10m στον πολυφασματικό και 5m στον παγχρωματικό αισθητήρα.

Το 1981, οι δορυφόροι της σειράς *COSMOS* και *SPIN-2* (πρώην Ε.Σ.Σ.Δ.) εφοδιάστηκαν με δύο νέα οπτικά συστήματα, τη μηχανή KVR-1000 υψηλής χωρικής ανάλυσης από 2 έως 3m και τη μηχανή TK-350, με δυνατότητα στερεοσκοπικής παρατήρησης και χωρική ανάλυση 10m. Τα δύο συστήματα χρησιμοποιούσαν παγχρωματικό φιλμ.

Στις 17 Μαρτίου του 1988, προωθήθηκε ο πρώτος ινδικός δορυφόρος με την ονομασία *IRS-1A*. Ακολούθησε, το 1991, ο δορυφόρος *IRS-1B*, η αποτυχημένη προσπάθεια αποκατάστασης της τροχιακής πορείας του δορυφόρου *IRS-1E*, το 1993, και οι επιτυχημένες λειτουργίες τεσσάρων δορυφορικών συστημάτων, του *IRS-P2* (1994), του *IRS-C1* (1995), του *IRS-D1* (1997) και του *IRS-P6* (2003). Με την προώθηση του δορυφόρου *IRS-P5* στις 5 Μαΐου του 2005, του *Cartosat-2* στις 10 Ιανουαρίου 2007 και του *Resourcesat-2* στις 20 Απριλίου του 2011, σήμερα, λαμβάνονται ψηφιακές παγχρωματικές εικόνες χωρικής ανάλυσης 2.5, 1 και 5.8m, αντίστοιχα. Ο δορυφόρος *RISAT-2 (X-SAR 2m)* τέθηκε σε λειτουργία στις 20 Απριλίου του 2009.

Η ανάπτυξη των ρωσικών συστημάτων Radar οδήγησε, το 1991, στην κατασκευή του δορυφορικού συστήματος *ALMAZ-1*. Το 1998, η Ρωσία προώθησε τον δεύτερο δορυφόρο *ALMAZ-1B* (SAR 5m, PAN 2.5m, MS 4m).

Σχεδόν ταυτόχρονα με τον *ALMAZ-1*, η Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία εκτοξεύει τον *ERS-1* (25/7/1991). Ενώ ο κύριος στόχος του Διαστημικού Προγράμματος ήταν οι ωκεανογραφικές εφαρμογές, πολύ γρήγορα αποκαλύφθηκε ότι ο αισθητήρας SAR AMI μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για χαρτογραφικούς σκοπούς. Ακολούθησαν οι δορυφόροι *ERS-2* το 1995 και *ENVISAT-1* το 2002.

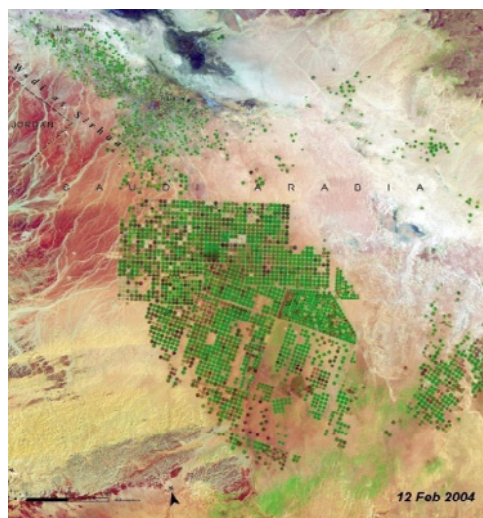
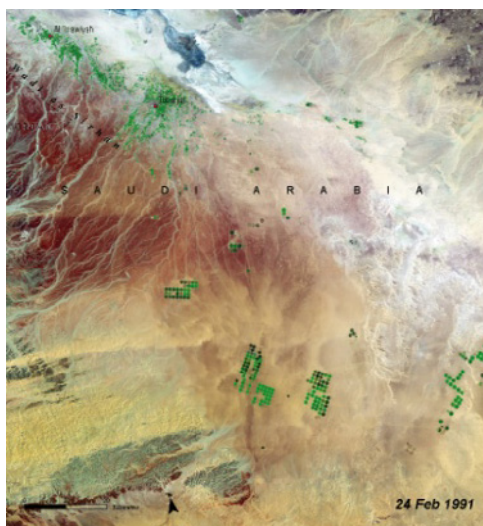
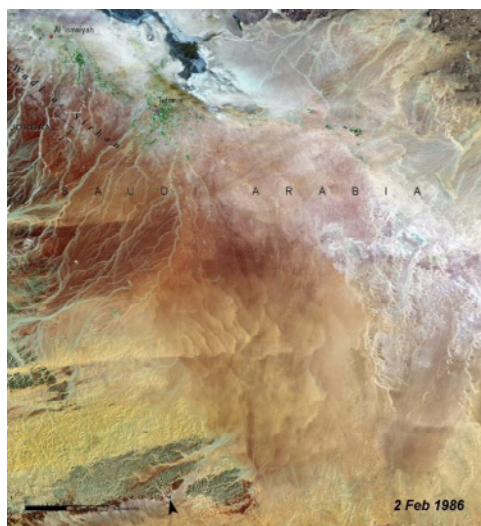
Τον Σεπτέμβριο του 1992, η Ιαπωνία χρησιμοποίησε σύστημα Radar στον δορυφόρο *JERS-1*. Το 1996, εκτόξευσε τον δορυφόρο *ADEOS* (PAN 8m, MS 16m).

Η Καναδική Διαστημική Υπηρεσία, σε συνεργασία με τη NASA (Η.Π.Α.), το 1995, προώθησε τον δορυφόρο *RADARSAT-1* (SAR 8-100m). Στις 14 Δεκεμβρίου του 2007, τέθηκε σε λειτουργία το δορυφορικό σύστημα *RADARSAT-2* (SAR 3m).

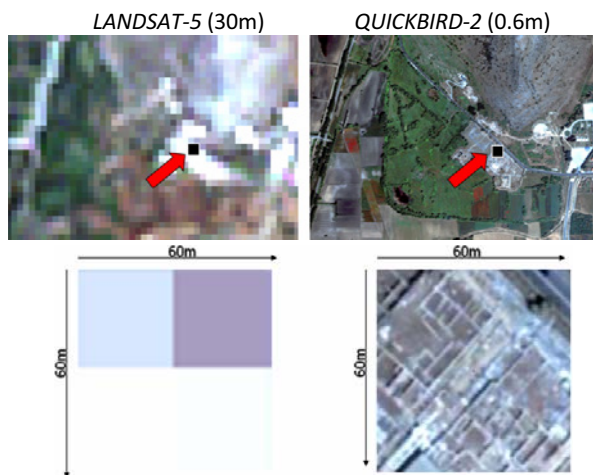
Το 1999, η Γερμανία τοποθέτησε στο ρωσικό διαστημικό σκάφος «*PRIRODA-MIR*» που βρίσκονταν ήδη σε τροχιά τον αισθητήρα *MOMS-02* (PAN 6m, MS 18m).

Η συνεργασία της Κίνας με τη Βραζιλία κατέληξε, τον Οκτώβριο του 1999, στην προώθηση του δορυφόρου *CBERS-1*, ο οποίος έπαψε να λειτουργεί δύο μήνες μετά την αποκατάσταση της τροχιακής πορείας του. Τον Οκτώβριο του 2003, προωθήθηκε ο δορυφόρος *CBERS-2* (PAN και MS 20m).

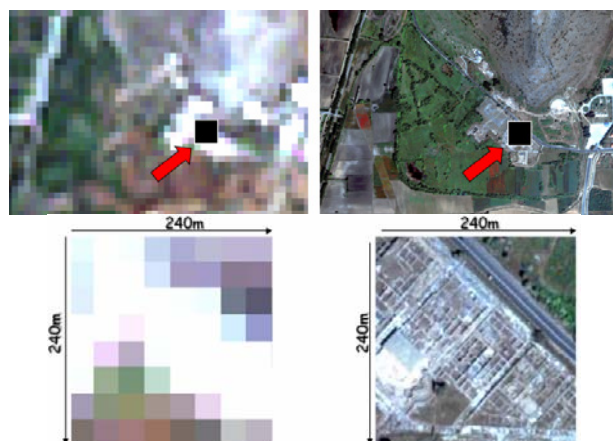
Η εκτόξευση του δορυφόρου *IKONOS-1* πραγματοποιήθηκε με επιτυχία στις 27 Απριλίου 1999 (Η.Π.Α.)· ωστόσο, λόγω τεχνικής βλάβης δεν τέθηκε σε κατάλληλη τροχιά και χάθηκε στο διάστημα. Στις 24 Σεπτεμβρίου του 1999, προωθήθηκε ο δορυφόρος *IKONOS-2* (PAN 1m, MS 4m) με αναβαθμισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά.



Σαουδική Αραβία, έρημος Wadi As-Sirhan. Στις εικόνες του *LANDSAT*, από το 1986 και το 2004, αποκαλύπτεται η συστηματική μετατροπή της ερήμου Wadi As-Sirhan σε καλλιεργήσιμη έκταση. Για την άρδευση αξιοποιούνται υπόγεια ύδατα 20,000 ετών (URL3).



Μεγέθυνση στα 2x2 pixel της LANDSAT-5

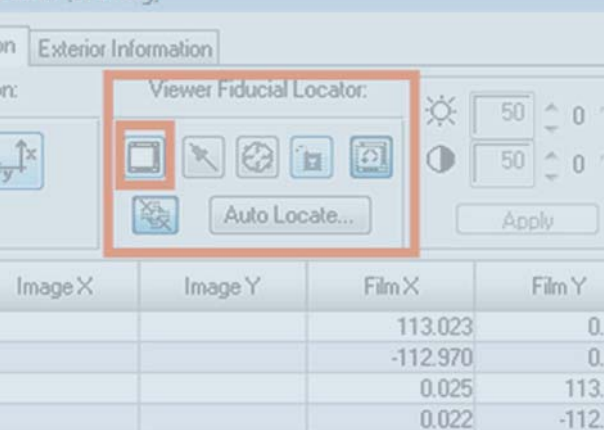


Μεγέθυνση στα 8x8 pixel της LANDSAT-5

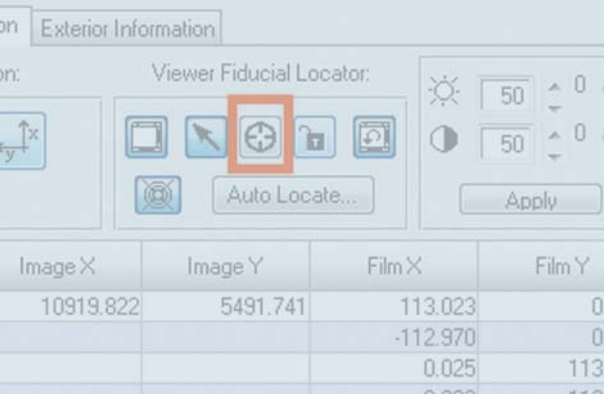
Εικόνα 21β. Σύγκριση χωρικής ανάλυσης δύο δορυφορικών συστημάτων, στην ίδια γεωγραφική περιοχή μελέτης.



Εικόνα 22. Απόσπασμα της δορυφορικής εικόνας QUICKBIRD-2. Παρατηρούμε τα συρματοσχοινα των πυλώνων ρεύματος.



Εργαστηριακές ασκήσεις



1^η εργαστηριακή άσκηση:

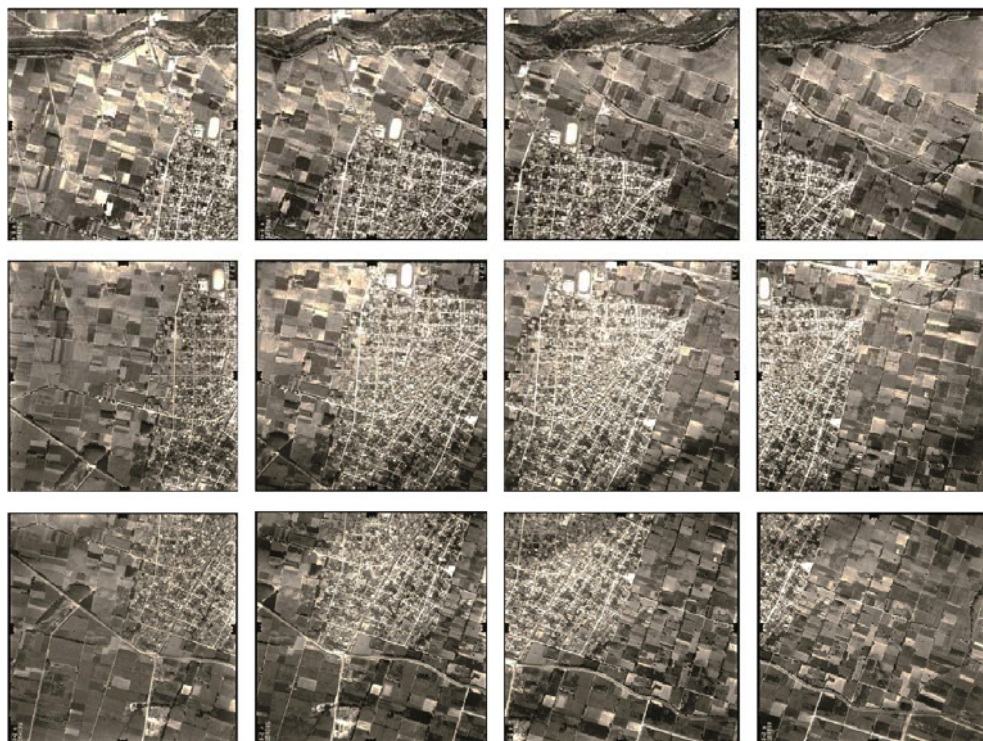
Ενημέρωση χάρτη και προσδιορισμός χρήσεων

Εισαγωγή

Η μελέτη ενημέρωσης χάρτη του οικισμού Χ επιβάλλει τη δημιουργία διαχρονικών χωρικών δεδομένων για την περίοδο 1980 και 2000. Η επιθυμητή κλίμακα αναφοράς των προϊόντων είναι 1:5,000. Επίσης, εκτός των άλλων, παραδοτέες θα είναι και οι χρήσεις για το έτος 2000.

Αναλογικά δεδομένα

Η έρευνα φωτογραμμετρικού υλικού οδήγησε στον εντοπισμό δώδεκα (12) αεροφωτογραφιών του 1982 κλίμακας 1:7,000, οι οποίες καλύπτουν καθολικά τον οικισμό Χ.



Η ποιότητα των αεροφωτογραφιών χαρακτηρίζεται μέτρια, γεγονός που επιβάλλει την ψηφιακή βελτίωση των φωτομετρικών χαρακτηριστικών τους (☞ σελ. 39).

Για τη λήψη των αεροφωτογραφιών του 1982 του οικισμού Χ, χρησιμοποιήθηκε παγ-χρωματικό γαλάκτωμα. Επίσης, είναι γνωστό το πιστοποιητικό βαθμονόμησης της φωτοκάμερας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την «Geosystems Hellas A.E.», διανομέα προϊόντων και λογισμικών λύσεων Erdas της «Intergraph» στην Ελλάδα και στην Κύπρο, και την «Intergraph» για την άδεια χρήσης των Print Screens του Erdas LPS στις ασκήσεις αυτού του βιβλίου.



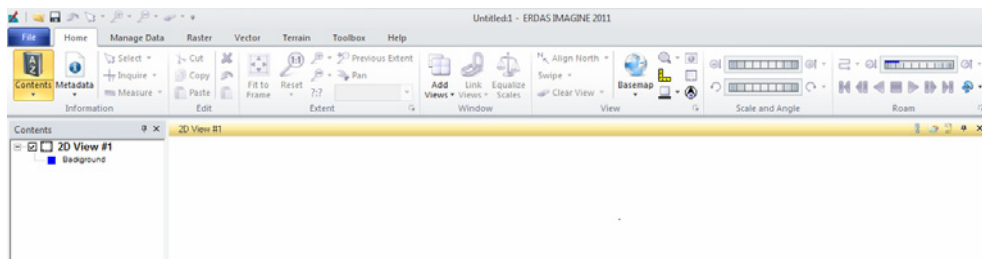
Εισαγωγή των αεροφωτογραφιών στο Erdas

Με την ενεργοποίηση του λογισμικού **Erdas Imagine 2011**, στην πρώτη γραμμή, εμφανίζεται ο τίτλος του προγράμματος και το όνομα του αρχείου (στην περίπτωση όπου δεν έχει ενεργοποιηθεί ένα παλιότερο αρχείο, αναγράφεται **Untitled: 1**).

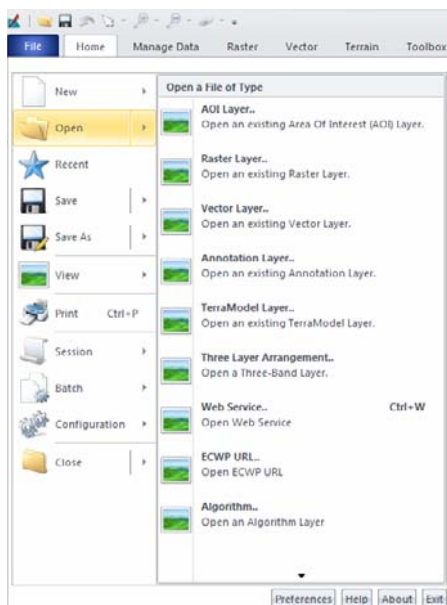
Αριστερά της ίδιας γραμμής, εμφανίζονται ως γρήγορη επιλογή οι εντολές **Open, Save, Undo, Select, Zoom In, Zoom out, Clear View**, καθώς και η επιλογή **Customization**.

Στο **κυρίως μενού**, ακριβώς από κάτω, περιλαμβάνονται οι καρτέλες: **File, Home, Manage Data, Raster, Vector, Terrain, Toolbox** και **Help**.

Στην περιοχή κάτω από το μενού, εμφανίζονται επιμέρους επιλογές, που θα αναλυθούν σε επόμενες παραγράφους. Αριστερά, στο **Contents**, εμφανίζονται τα αρχεία που έχουν εισαχθεί στο λογισμικό, ενώ, στο κέντρο (**2D View #1**), η επιφάνεια εργασίας με τις εικόνες προς επεξεργασία.



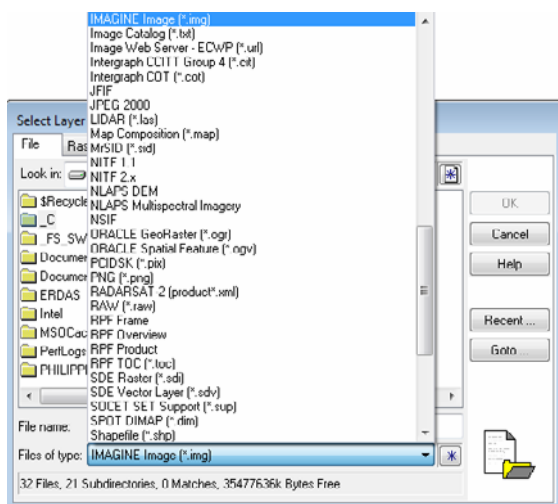
Στην καρτέλα **File** του **κυρίως μενού**, υπάρχουν επιλογές εισαγωγής ενός νέου παραθύρου εργασίας (2D ή 3D), δεδομένων, όπως περιοχές ενδιαφέροντος (AOI), ψηφιδωτές εικόνες (Raster), διανυσματικές εικόνες (Vector), επιλογές σχολιασμού των εικόνων (Annotation), μοντέλα (Terra Model), εικόνες με τρεις σύνθετες προβολές (Three Layer Arrangement), εφαρμογές του διαδικτύου (Web Service), ιστοσελίδες (ECWPURL) και αλγόριθμοι (Algorithm). Επίσης, από την ίδια καρτέλα μπορούν να ανοίξουν πρόσφατα επεξεργασμένα αρχεία, να αποθηκευτούν αρχεία, να εκτυπωθούν αποτελέσματα/προϊόντα, να προβληθούν δεδομένα (π.χ. κείμενα, εικόνες κ.ά.) και να παρουσιαστούν με χρονολογική σειρά/λίστα όλες οι καταγεγραμμένες λειτουργίες του λογισμικού.



Επίσης, επιτρέπεται η επεξεργασία πολλών δεδομένων και αρχείων με εντολές, η ρύθμιση του λογισμικού σύμφωνα με την εκάστοτε εργασία και, τέλος, ο τερματισμός της λειτουργίας του προγράμματος.

Οι αεροφωτογραφίες μπορούν να εισαχθούν στο σύστημα, είτε προσανατολισμένες, όπως ήταν τη στιγμή της λήψης, είτε τυχαία. Προσοχή πρέπει να δοθεί κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης του εσωτερικού προσανατολισμού, όπου πρέπει να επιλεγεί σωστά ο προσανατολισμός του συστήματος των εικονοσυντεταγμένων του φωτογραφικού επιπέδου (σελ. 90).

Για την εισαγωγή των αεροφωτογραφιών, επιλέγεται από το κυρίως μενού > **File > Open**. Στη συνέχεια, εμφανίζεται το παράθυρο **Select Layer To Add**, στο οποίο προσδιορίζεται η θέση και ο τύπος του αρχείου εισαγωγής.



Μεταξύ των δεκάδων διαφορετικών τύπων αρχείων που μπορούν να εισαχθούν, οι δημοφιλέστεροι είναι: **IMAGINE image (*.img)**, **TIFF**, **JPEG 2000** και **JFIF**.

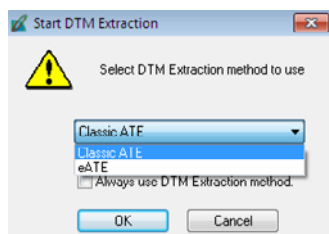
Παραγωγή DSM, DTM

Διαδικασία παραγωγής DSM, DTM

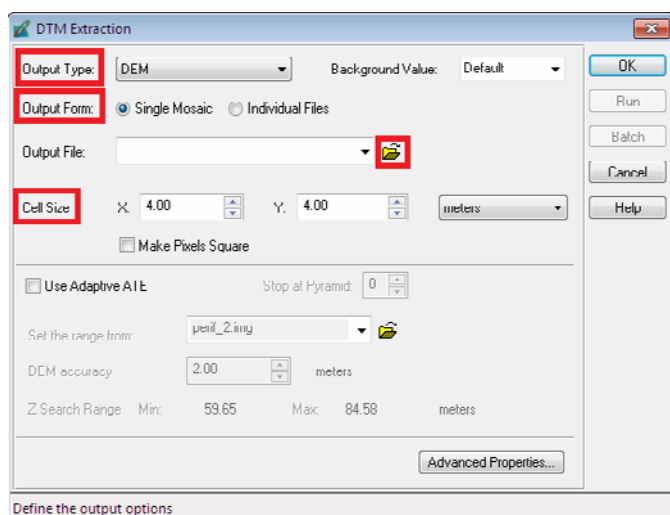
Με επιλογή **DTM Extraction** **Z** στη βασικής γραμμής εργαλείων,



εμφανίζεται το παράθυρο **Start DTM Extraction**.



Με την επιλογή **Classic ATE** και **OK**, εμφανίζεται το παράθυρο **DTM Extraction**, στο οποίο ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τις παραμέτρους παραγωγής του DSM ή DTM.



Στο **Output Type**, επιλέγεται η μορφή του αρχείου που πρόκειται να δημιουργηθεί:

► **DEM (Digital Elevation Model)** για τη δημιουργία ενός αρχείου raster, το οποίο απεικονίζει το ανάγλυφο με διαφορετικούς τόνους του γκρι. Το σκούρο γκρι αντιστοιχεί σε σημεία χαμηλού υψομέτρου, ενώ το ανοιχτό γκρι σε σημεία μεγαλύτερου υψομέτρου. Τα σημεία είναι τοποθετημένα σε κάρναβο και το αρχείο εξόδου αποθηκεύεται με την επέκταση *.img, συνοδευόμενο από ένα αρχείο *.wcs.

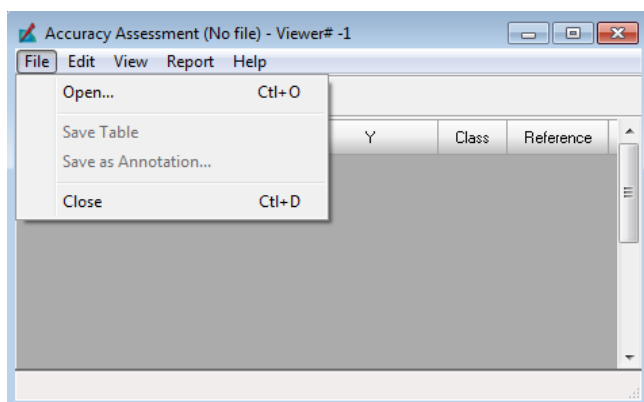
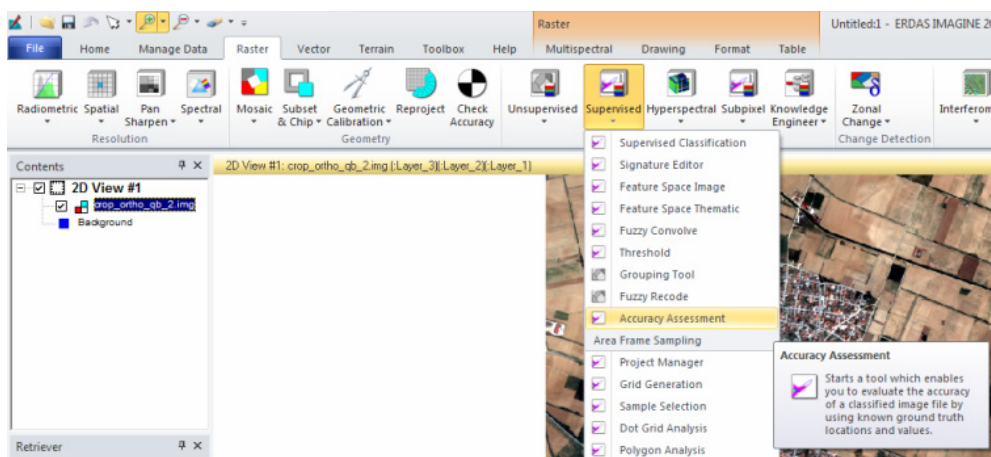
► **TerraModel TIN (Triangulated Irregular Network)**, όπου παράγεται ένα σύνολο τριγώνων, ακανόνιστου μεγέθους και σχήματος. Το αρχείο εξόδου αποθηκεύεται με την επέκταση *.pro και συνοδεύεται από ένα αρχείο *.wcs.

► **3D Shape**, όπου παράγεται ένα ASCII 3D αρχείο συντεταγμένων (X, Y, Z). Το αρχείο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από άλλα λογισμικά, όπως ArcView, ArcInfo, Stereo Analyst (στερεοσκοπική διόρθωση του DSM στο LPS ή/και στερεοσκοπική απόδοση) κ.ά.. Το παραγόμενο αρχείο έχει κατάληξη *.shp και συνοδεύεται από ένα αρχείο *.wcs.

Ακρίβεια της ταξινομημένης εικόνας

Η ταξινόμηση ολοκληρώνεται, όταν εκτιμηθεί η ακρίβειά της. Τα σφάλματα της ταξινόμησης, τα οποία εκφράζουν την καταχώριση ψηφίδων σε λανθασμένες τάξεις, καθορίζουν το ποσοστό επιτυχίας της ταξινόμησης. Δειγματοληπτικά, το λογισμικό επιλέγει από κάθε τάξη έναν αριθμό σημείων ελέγχου/αξιολόγησης, ο οποίος καθορίζεται από τον χρήστη. Στη συνέχεια, θα πρέπει χειροκίνητα, ένα προς ένα κάθε σημείο, να ελεγχθεί για το αν πραγματικά ανήκει στην τάξη, στην οποία αυτοματοποιημένα καταχωρίστηκε.

Αρχικά, εισάγεται στην επιφάνεια εργασίας η δορυφορική εικόνα (π.χ. **crop_ortho_qb_2.img**). Στη συνέχεια, από το **κυρίως μενού** επιλέγεται **Raster > Supervised > Accuracy Assessment**.



Στο νέο παράθυρο **Accuracy Assessment**, επιλέγεται **File > Open** για την εισαγωγή της ταξινομημένης εικόνας (π.χ. **classified_fuzzy.img**).

2^η εργαστηριακή άσκηση:

Παραγωγή DTM από δορυφορικές εικόνες

Εισαγωγή

Μια μελέτη επιβάλλει την παραγωγή DTM της αστικής και περιαστικής περιοχής Ψ. Συγκεκριμένα, τα παραδοτέα θα είναι DTM με κάρναβο σημείων 10x10m, οριζοντιογραφικής και υψομετρικής ακρίβειας 1.5m και 3.0m, αντίστοιχα.

Ψηφιακά δεδομένα

Στη μελέτη θα χρησιμοποιηθεί PAN στερεοζεύγος (WV2_1 και WV2_2) δορυφορικών εικόνων *WORLDVIEW-2*, χωρικής ανάλυσης 60cm. Προέκυψαν από εμπροσθο-σκόπευση και οπισθο-σκόπευση κατά την ίδια τροχιακή διαδρομή. Επίσης, ο οίκος του συστήματος παρέχει όλα τα αρχεία του τροχιακού μοντέλου του δέκτη, καθώς και τα κλασματικά πολυώφυμα.



Απόσπασμα της δορυφορικής εικόνας *WORLDVIEW-2* στην περιοχή μελέτης Ψ.

Τέλος, μετρήθηκαν (XYZ, ΕΓΣΑ87) στο πεδίο 12 σημεία, εκ των οποίων 9 θα χρησιμοποιηθούν ως φωτοσταθερά και 3 ως σημεία ελέγχου.

Εκκίνηση του LPS

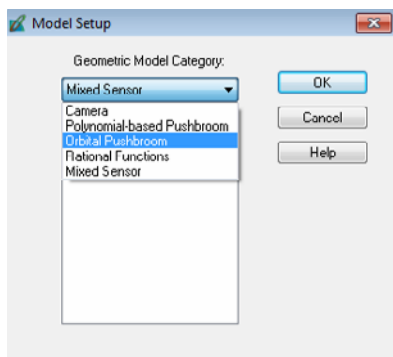
Οι δορυφορικές εικόνες εισάγονται στο **Erdas**, ακολουθώντας τις διαδικασίες που περιγράφηκαν στην περίπτωση της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας των αεροφωτογραφιών. Επίσης, με ίδιο τρόπο ορίζεται το σύστημα αναφοράς των συντεταγμένων (σελ. 95-101).

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί η επεξεργασία του στερεοζεύγους των δορυφορικών εικόνων *WORLDVIEW-2* στο **LPS**. Πρόκειται για μια διαδικασία παρόμοια με αυτήν της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας των αεροφωτογραφιών της 1^{ης} εργαστηριακής άσκησης.



Με την έναρξη του **LPS**, η οθόνη αποτελείται από τη **γραμμή τίτλου**, το **βασικό μενού**, τη **βασική γραμμή εργαλείων**, στην οποία εμφανίζονται σε σειρά οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται κατά την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων, τη **λευκή περιοχή 1**, στην οποία θα εμφανιστούν οι δορυφορικές εικόνες με επικάλυψη, τα φωτοσταθερά, τα σημεία ελέγχου και σύνδεσης. Τέλος, στην **γκρίζα περιοχή 2** εμφανίζονται σε λίστα τα ψηφιακά αρχεία των δορυφορικών εικόνων μετά την εισαγωγή τους και τα στάδια των διαδικασιών που ολοκληρώνονται (π.χ. εσωτερικός, παραγωγή DTM κ.ο.κ.).



Η διαδικασία ξεκινά από το **βασικό μενού > File > New** για τη δημιουργία και την αποθήκευση του αρχείου (π.χ. **Stereo_WV2.blk**) των ιδιοτήτων του μοντέλου των δορυφορικών εικόνων.



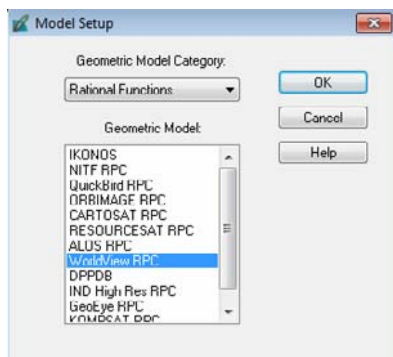
Στο παράθυρο **Model Setup** που εμφανίζεται, επιλέγεται από το κυλιόμενο μενού του πεδίου **Geometric Model Category** το γεωμετρικό μοντέλο του μπλοκ των εικόνων που θα χρησιμοποιηθεί.

Εκτός από την **Camera** (φωτογραφική μηχανή, που αναλύθηκε στην περίπτωση 1^η εργαστηριακή άσκηση,  σελ. 103), εμπεριέχονται τα κλασματικά πολυώνυμα, **Rational Functions**, με τα οποία μέσω των συντελεστών **RPC** ( σελ. 56) είναι γνωστός

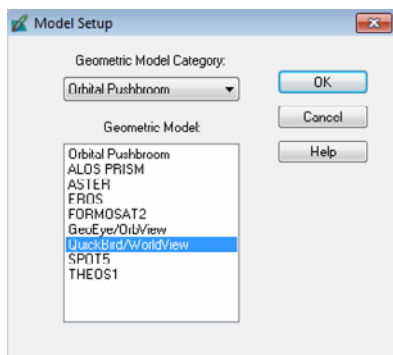
τόσο ο εσωτερικός, όσο και εξωτερικός προσανατολισμός των δορυφορικών εικόνων.

Επίσης, υπάρχουν τροχιακά μοντέλα, **Orbital Pushbroom**, που αξιοποιούνται, όταν παρέχονται κατάλληλα αρχεία από τους οίκους των συστημάτων.

Οι συγκεκριμένες εικόνες **WORDVIEW-2** συνοδεύονται από πλήρη τροχιακά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων και των **RPC**. Όμως, σε πολλές περιπτώσεις δίνονται μόνο οι **RPC** από μεγάλο αριθμό εικονοληπτικών δορυφορικών συστημάτων. Για εκπαιδευτικούς λόγους, θα πραγματοποιηθούν δύο λύσεις, η 1^η με χρήση κλασματικών πολυωνύμων, εφόσον θεωρήσουμε τους **RPC** ως μοναδικά δεδομένα, και η 2^η με χρήση αναλυτικών τροχιακών δεδομένων.



Στην 1^η λύση, επιλέγεται από το κυλιόμενο μενού του πεδίου **Geometric Model Category > Rational Functions** και στο πεδίο **Geometric Model > WorldView RPC**.



Στη 2^η λύση, επιλέγεται από το κυλιόμενο μενού του πεδίου **Geometric Model Category > Orbital Pushbroom** και στο πεδίο **Geometric Model > QuickBird/WorldView**.

Με **OK** (και στις δύο λύσεις), εμφανίζεται το παράθυρο **Block Property Setup**, στο οποίο θα οριστούν τα προβολικά χαρακτηριστικά των εικόνων. Συγκεκριμένα, στην υποενότητα **Horizontal** επιλέγεται **Set** και, στην πρώτη καρτέλα **Standard**, επιλέγεται **GREECE**. Στη δεύτερη καρτέλα **Custom**, επιλέγεται από το μενού κύλισης **Projection Type > Transverse Mercator** (🔍 σελ. 103).

Επίσης, στην υποενότητα **Vertical** επιλέγεται **Set** και από τα μενού κύλισης **Spheroid name > GRS 1980, Datum name > EGSA87** (🔍 σελ. 103).

Παράρτημα: Εικονοληπτικά δορυφορικά συστήματα υψηλής χωρικής ανάλυσης (ενδεικτικά)

CORONA (KH-1,KH-2,KH-3,KH-4,KH-4A,KH-4B)

Αποστολή: CORONA/Πανοραμικοί φακοί.

Χώρα: Η.Π.Α.

Οργανισμός: NRO/USAF.

Έναρξη: 1959-1972.

Μη ενεργοί.

Τροχιά δορυφόρου

Ύψος: 185Km KH-4A, 150Km KH-4B & 165-460Km.

Αισθητήρες

| | | | |
|-----------------------|-------------------|------------|-----------|
| Σύστημα: | KH-1 | KH-2 | KH-3 |
| Περίοδος λειτουργίας: | | 26/10/'60- | 30/8/'61- |
| | 27/6/'59-13/9/'60 | 23/10/'61 | 13/1/'62 |
| Χωρική ανάλυση σε m: | 13.33 | 8.33 | 4-8.33 |
| Επιφάνεια κάλυψης: | Περιορισμένη | | |
| Σύστημα: | KH-4 | KH-4A | KH-4B |
| Περίοδος λειτουργίας: | | 24/8/'63- | 15/9/'67- |
| | 27/2/'62-24/3/'64 | 22/9/'69 | 25/5/'72 |
| Χωρική ανάλυση σε m: | 3.33-8.33 | 3-8.33 | 2-8.33 |
| Επιφάνεια κάλυψης: | Περιορισμένη | | |

Γεωμετρία

| | |
|----------------------------|---|
| Οπτικό πεδίο οργάνων: | 71.16° (KH-1,KH-2,KH-3,KH-4,KH-4A,KH-4B) |
| Διάσταση σκηνής στο ναδίρ: | 15.3x209-42x579 Km (KH-1,KH-2,KH-3), 17x232 Km KH-4A & 13.8x188 Km KH-4B |
| Κλίση κάθετα στην πτήση: | Σταθερό ναδίρ |
| Διαμήκης κλίση: | Σταθερό ναδίρ |
| Στερεοσκοπική ικανότητα: | Ναι: KH-4,KH-4A,KH-4B |

SEASAT

Αποστολή/ονομασία οργάνων: SEASAT/SAR.

Χώρα: Η.Π.Α.

Οργανισμός: NASA.

Έναρξη: 28 Ιουνίου 1978.

Μη ενεργός: 10 Οκτωβρίου 1978.

Τροχιά δορυφόρου

Ύψος: 800 Km.

Κλίση: 108° , ηλιοσύγχρονη.

Περίοδος: 102.85 λεπτά.

Αισθητήρες

Sensor SAR

| | |
|------------------------------|---------------------|
| Ζώνη | L |
| Γωνία πρόσπτωσης, $^\circ$: | Σταθερή 70, ± 3 |
| Χωρική ανάλυση σε m | |
| /σειρά x αζιμούθιο: | 25 x 25 |
| Συχνότητα παρατήρησης, GHz: | 1.275 |
| Μήκος κύματος, cm: | 23.5 |
| Εύρος ζώνης, MHz: | 19 |
| Πόλωση: | H/H (ενιαία πόλωση) |
| Επιφάνεια κάλυψης: | Ικανοποιητική |
| Ραδιομετρική διακριτικότητα: | 5 bit Χαμηλή |

Γεωμετρία

| | |
|----------------------------|---------------------|
| Οπτικό πεδίο οργάνων: | Σταθερό 70, ± 3 |
| Διάσταση σκηνής στο ναδίρ: | 100 Km |
| Διαμήκης κλίση: | Όχι |

SIR-A

Αποστολή/ονομασία οργάνων: SIR-A (διαστημικό σκάφος Columbia)/SIR-A L-SAR.

Χώρα: Η.Π.Α.

Οργανισμός: NASA.

Έναρξη: Δεκέμβριος 1981.

Μη ενεργός: Μάρτιος 1982.

Τροχιά δορυφόρου

Ύψος: 259 Km.

Κλίση: περιορισμένη σε γεωγραφικά πλάτη μικρότερα από 38° .

Αισθητήρες

Sensor SIR-A L-SAR

| | |
|------------------------------|---------------------|
| Ζώνη | L |
| Γωνία πρόσπτωσης, $^\circ$: | Σταθερή 40, ± 3 |
| Χωρική ανάλυση σε m | |
| /σειρά x αζιμούθιο: | 40 x 40 |
| Συχνότητα παρατήρησης, GHz: | 1.275 |