

**ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΤΜ ΣΤΗ
ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ-ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ
ΤΗΣ ΟΡΕΙΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΑΠΑΚΩΣΤΑ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ Α.Ε.Μ. : 3451

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΔΡ ΑΣΤΑΡΑΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ



**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΙΟΥΛΙΟΣ 2007

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
1. Εισαγωγή – Ιστορία της Τηλεπισκόπησης.....	4
2. LANDSAT	5
3.Εφαρμογές δορυφορικών εικόνων στις γεωεπιστήμες.....	9
4. Περιοχή Μελέτης	11
4.1 Γεωτεκτονική θέση	12
4.2 Λιθοστρωματογραφία	12
4.3 Τεκτονική Δομή & Ορογενετική Εξέλιξη.....	14
5. Δεδομένα.....	16
6. Τεχνικές Ερμηνείας	18
6.1 Μονοσκοπική ερμηνεία	20
6.2. Στερεοσκοπική ερμηνεία	20
7. Αποτελέσματα και Επεξήγηση	21
7.1.Μονοσκοπική και στερεοσκοπική ερμηνεία της δεύτερης γενιάς παρατηρούμενων δορυφορικών εικόνων	21
7.2 Μονοσκοπική Σύγκριση	21
7.3 Μονοσκοπική και στερεοσκοπική συγκρινόμενη ερμηνεία	22
8. Συμπεράσματα	26
Παράρτημα- Χάρτες & Φωτογραφίες.....	27
Βιβλιογραφία	32
Πηγές από το Διαδίκτυο	33

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στα πλαίσια του ομώνυμου μαθήματος του Η' εξαμήνου του προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωλογίας της σχολής θετικών επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας κ. Οικονομίδη Δημήτρη. Επιπλέον την κα. Παπαδημητρίου Παναγιώτα και τον κ. Καρατσιώλη Κωνσταντίνο για την δαχτυλογράφηση των χειρογράφων καθώς επίσης την οικογένεια μου για την στήριξη.

Τέλος και πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω για την επίβλεψη και την σημαντική βοήθεια στην περάτωση της διπλωματικής εργασίας μου τον διευθυντή του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας κ. Αστάρη Θεόδωρο .

Θεσσαλονίκη, Ιουλίου 2007

Παπακώστα Κ. Ευαγγελία

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ.

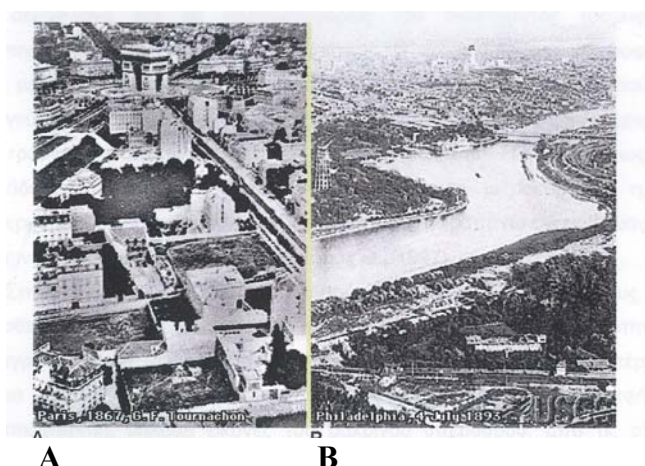
Όπως είναι γνωστό τα τελευταία 30 περίπου χρόνια μια νέα επιστήμη, η οποία προέρχεται από τους κλάδους της γεωγραφίας και των γεωεπιστημών, αναπτύσσεται με ταχύτατους ρυθμούς και η προσφορά της στο έργο των παραπάνω αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο. Πρόκειται για την επιστήμη της τηλεπισκόπησης (remote sensing), η οποία μας δίνει την δυνατότητα να αντιληφθούμε καλύτερα και να αναλύσουμε το φυσικό, χημικό, βιολογικό και πολιτισμικό χαρακτήρα της γήινης επιφάνειας.

Η τηλεπισκόπηση μπορεί να ξεκίνησε επίσημα πριν από 30 περίπου χρόνια, όπως έχει προαναφερθεί, αλλά η ιστορία αυτής της επιστήμης ξεκίνησε ουσιαστικά το 1839 με την εφεύρεση της φωτογραφίας από τον Louis Daguerre. Το 1858 έλαβε χώρα η πρώτη εναέρια φωτογράφιση, όταν ο Gaspard Felix Tournachon (γνωστός με το ψευδώνυμο Nadar) φωτογράφησε το χωριό Petit Becetre, κοντά στο Παρίσι, από αερόστατο. Στη συνέχεια η τεχνική αυτή της αεροφωτογράφισης εφαρμόστηκε κατά τη διάρκεια του Αμερικάνικου εμφύλιου πολέμου όταν από αερόστατα γίνονταν παρατηρήσεις και λαμβάνονταν φωτογραφίες για τις θέσεις που είχαν καταλάβει εχθρικά στρατεύματα (φωτ.1,B).

Ως την έναρξη του Α Παγκοσμίου Πολέμου έγιναν πολλά πειράματα ώστε να βρεθεί ένα είδος πιο σταθερής πλατφόρμας για την εναέρια φωτογράφιση. Δοκιμάστηκαν από ρουκέτες και χαρταετοί μέχρι και τα περιστέρια προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός αλλά τελικά η λύση στο πρόβλημα έδωσε η εφεύρεση του αεροπλάνου, το οποίο αποτέλεσε την πιο σταθερή και την πιο αξιόπιστη πλατφόρμα για την λήψη αεροφωτογραφιών. Μετά τη λήξη του Α Παγκοσμίου Πολέμου η τηλεπισκόπηση άρχισε να εφαρμόζεται και σε άλλους μη στρατιωτικούς τομείς, όπως για παράδειγμα στη δασολογία, τη γεωργία και τη γεωλογία.

Η έναρξη του Β Παγκοσμίου Πολέμου σήμανε την έναρξη μιας νέας εποχής για την τηλεπισκόπηση καθώς στην τελευταία αρχίζουν να χρησιμοποιούνται φωτογραφίες πέρα από το ορατό φάσμα (υπέρυθρες) και κάνουν την εμφάνιση τους τα πρώτα συστήματα RADAR (Radio Detecting and Ranging).

Στις 4 Οκτωβρίου του 1957 με την εκτόξευση του πρώτου επανδρωμένου δορυφόρου ανοίγει ο δρόμος για την επιστήμη της τηλεπισκόπησης προς το διάστημα. Τον Αύγουστο του 1959 λαμβάνεται για πρώτη φορά η εικόνα της Γης από το μετεωρολογικό δορυφόρο TIROS 1. Στις 23 Ιουλίου του 1972 ο δορυφόρος Landsat 1 ή ERTS (Earth Resources Technology Satellite) έγινε ο πρώτος δορυφόρος που συνέλεξε πληροφορίες σχετικά με την επιφάνεια της Γης και τα φυσικά της αποθέματα.



Φωτ. 1 (A,B): Ορισμένες από τις πρώτες φωτογραφίες που πάρθηκαν από αερόστατο.[USGS (2), 2002]

2.LANDSAT

Το πρόγραμμα Landsat (Land Satellite) αντιπροσωπεύει το πρώτο διεθνές πρόγραμμα δορυφόρων που σχεδιάστηκαν ειδικά για τη συλλογή συνοπτικών και περιοδικώς επαναλαμβανόμενων πληροφοριών, από πολυφασματικές εικόνες της γήινης επιφάνειας, οι οποίες θα μπορούσαν να αναλυθούν και να χρησιμεύσουν στην παρακολούθηση των φυσικών διαθέσιμων του πλανήτη μας και του περιβάλλοντος του. Το πρόγραμμα αρχικά ξεκίνησε από τη NASA (National Aeronautics and Space Administration) η οποία ουσιαστικά κλήθηκε να υλοποιήσει μια ιδέα των Υπουργείων Εσωτερικού και Γεωργίας για την ύπαρξη ενός μη στρατιωτικού δορυφόρου, που υπήρχε από το 1960. Έτσι η NASA συνεργάστηκε με την Υπηρεσία Γεωλογικών Ερευνών των Ηνωμένων Πολιτειών (U.S.G.S., United States Geological Survey's) το 1970 προκειμένου η ιδέα αυτή να γίνει πραγματικότητα. Όλες οι εικόνες που θα λαμβάνονταν από τους δορυφόρους της σειράς αυτής θα συλλέγονταν με την τακτική της πολιτικής που είναι γνωστή με το όνομα open skies, δηλαδή οι εικόνες αυτές θα μπορούσαν να αποκτηθούν σε παγκόσμιο επίπεδο από οποιονδήποτε χρήστη, ώστε όλες οι χώρες να έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες που θα συλλέγονταν από το δορυφόρο. Μέχρι και τον Ιανουάριο του 1975 το πρόγραμμα Landsat ήταν γνωστό με το όνομα ERTS (Earth Resources Technology Satellite).

Το 1982, όταν κρίθηκε ότι το πρόγραμμα Landsat δεν ήταν πλέον πειραματικό η NASA μετέφερε την επιχείρηση και τη διαχείριση του προγράμματος στην Εθνική Διαχείριση των Ωκεανών και της Ατμόσφαιρας (NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration), που ανήκε στο Υπουργείο του Εμπορίου των Η.Π.Α.. Το Σεπτέμβριο του 1985 το πρόγραμμα Landsat μεταφέρθηκε στην Εταιρία Δορυφορικής Παρατήρησης της Γης (EOSAT, Earth Observation Satellite Corporation) η οποία ήταν μια ιδιωτική εταιρία που σχηματίστηκε από τη συνεργασία της RCA Corporation με την Hughes Aircraft Company. Η EOSAT στις μέρες μας συνεχίζει να διατηρεί σε λειτουργία τους υπάρχοντες δορυφόρους Landsat

λαμβάνοντας από αυτούς και διανέμοντας τις πληροφορίες των εικόνων τους, ενώ παράλληλα εξακολουθεί να σχεδιάζει νέες πλατφόρμες και ανιχνευτές για τις μελλοντικές αποστολές τους.

Οι δορυφόροι Landsat 1 ως 3 αποτέλεσαν τους μη επανδρωμένους δορυφόρους της Γης της 1^{ης} γενιάς. Είχαν βάρος περίπου 950 Kg, ύψος 3m και πλάτος 4 m και περιφέρονταν σε σύγχρονη με τον ήλιο (sunsynchronous), σχεδόν πολική τροχιά σε ύψος 919 Km που έτεμνε τον Ισημερινό υπό γωνία 99°. Ο χρόνος περιστροφής γύρω από τη Γη ήταν περίπου 103 λεπτά, δηλαδή 14 περιστροφές την ημέρα. Η διεύθυνση σάρωσης της γήινης επιφάνειας γινόταν από Βορρά προς Νότο. Με αυτό τον τρόπο οι δορυφόροι Landsat κάλυπταν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης εκτός από τους πόλους, δηλαδή από το Βόρειο 82° παράλληλο ως και το Νότιο 82° παράλληλο. Ο χρόνος διέλευσης των Landsat από τον Ισημερινό ήταν σταθερός για κάθε δορυφόρο. Για τον Landsat 1 ήταν στις 9:31 π.μ., για τον Landsat 2 ήταν στις 8:50 π.μ. και για τον Landsat 3 ήταν στις 9:08 π.μ.. Σε κάθε τροχιά του δορυφόρου σαρώνονταν μια ζώνη πλάτους 185 km. Στην αμέσως επόμενη τροχιά του ο Landsat περνούσε κατά μήκος του Ισημερινού 160 km δυτικά από την προηγούμενη ζώνη σάρωσης. Έτσι οι δορυφόροι αυτής της σειράς έδωσαν εικόνες με πλάγια επικάλυψη 14%. Η επικάλυψη αυτή αυξάνει με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους, ώστε η επικάλυψη να φτάνει στα 19% στον 20° παράλληλο, 34% στον 40° παράλληλο και 85% στον 80° παράλληλο. Η επικάλυψη των εικόνων κατά τη φορά της κίνησης του δορυφόρου είναι 10% (Αστάρης Θ.,1997).

Ο δορυφόρος Landsat 1 (φωτ.2) εκτοξεύθηκε στις 23 Ιουλίου 1972 και αρχικά ονομαζόταν ERTS 1. Μετέφερε δύο ανιχνευτές, οι οποίοι ήταν ο πολυφασματικός σαρωτής MSS και τρεις κάμερες τηλεόρασης επιστρεφόμενης δέσμης RBV (Return Beam Vidicon). Ο RBV είχε τρεις φασματικές ζώνες (Bands 1,2,3) οι οποίες σάρωναν στην περιοχή του Η.Μ.Φ. από 0,46 ως και 0,82 μm με διακριτική ικανότητα (resolution) 80 m και επιφάνεια κάλυψης (swath width) 185 X 185 Km. Ο MSS δέκτης είχε τέσσερις φασματικές ζώνες που σάρωναν στην περιοχή του Η.Μ.Φ. από 0.5 ως και 1.1 μm με διακριτική ικανότητα 80m και επιφάνεια κάλυψης 185 X 185 Km. Ο δορυφόρος αυτός έπαψε να λειτουργεί στις 2 Ιανουαρίου του 1978.

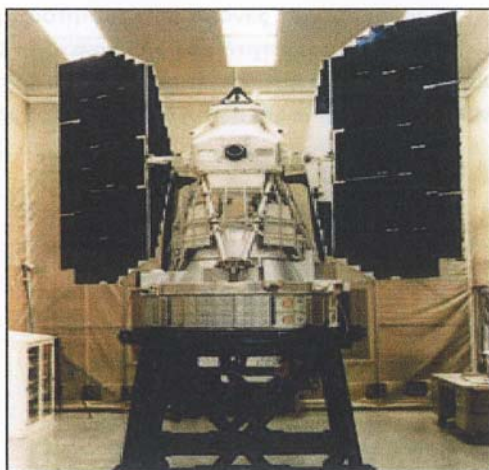


Φωτ.2:Καλλιτεχνική αντίληψη του Landsat 1 πριν τεθεί σε λειτουργία (NASA,2001).

Ο ERTS 2, ο οποίος στη συνέχεια μετονομάστηκε σε Landsat 2, τέθηκε σε λειτουργία στις 22 Ιανουαρίου του 1975. Μετέφερε ακριβώς τους ίδιους ανιχνευτές με τον Landsat 1, δηλαδή έναν πολυφασματικό σαρωτή MSS και τρεις κάμερες

τηλεόρασης επιστρεφόμενης δέσμης RBV, οι οποίοι είχαν τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά με τους αντίστοιχους δέκτες του Landsat 1. Η λειτουργία του σταμάτησε στις 25 Φεβρουαρίου του 1982.

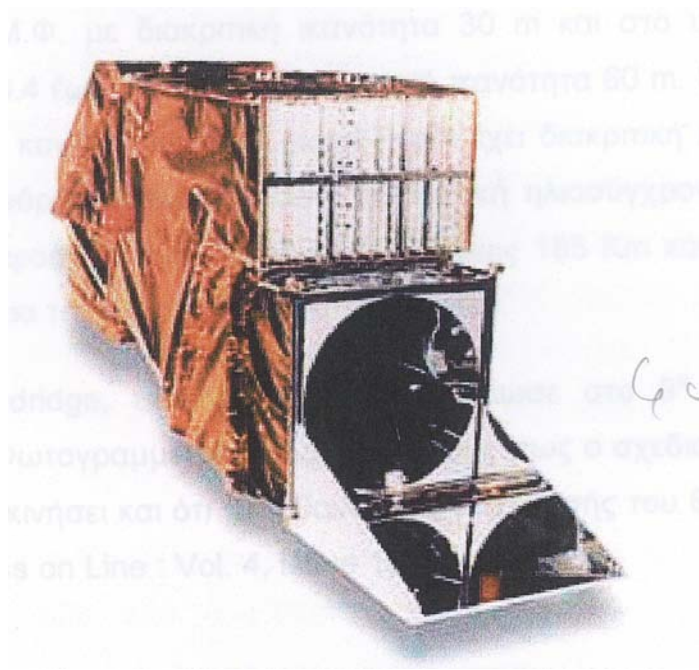
Στη συνέχεια ακολούθησε η εκτόξευση του ERTS 3, που αργότερα έγινε γνωστός ως Landsat 3 (φωτ.3). Αυτή έλαβε χώρα στις 5 Μαρτίου του 1978 και η λειτουργία του τερματίστηκε στις 31 Μαρτίου του 1983. Κι αυτός έφερε τους ίδιους δέκτες με τους Landsat 1 και 2, όμως ο πολυφασματικός σαρωτής MMS σ' αυτή την περίπτωση διέθετε και μια επιπλέον θερμική ζώνη, (την No 8), η οποία είχε την ικανότητα να καταγράφει την εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία στο τμήμα του Η.Μ.Φ. από 10.4 ως 12.6 μm , με διακριτική ικανότητα 240 m. Μετά από μικρό χρονικό διάστημα όμως το κανάλι αυτό παρουσίασε προβλήματα και έτσι έπαψε να δίνει εικόνες.



Φωτ.3: Ο Landsat 3 περνάει τις τελευταίες του δοκιμές λίγο πριν την εκτόξευσή (NASA, 2001).

Στη συνέχεια ακολούθησε η εκτόξευση των δορυφόρων Landsat 4 και 5, οι οποίοι αποτέλεσαν και τους μη επανδρωμένους ερευνητικούς δορυφόρους της Γης 2^{ης} γενεάς. Η τροχιά τους είναι κυκλική ηλιοσύγχρονη σχεδόν πολική σε ύψος 705 km. Ο χρόνος περιστροφής τους γύρω από τη Γη είναι 99 λεπτά, δηλαδή 14 περιστροφές τη μέρα. Με αυτόν τον τρόπο καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης σε 16 ημέρες. Ο χρόνος διέλευσής τους από τον Ισημερινό είναι στις 9:39 π.μ. Σε κάθε τροχιά του δορυφόρου σαρώνεται ζώνη πλάτους 185 km και παρουσιάζεται επικάλυψη 7.4%, η οποία αυξάνει προς τους πόλους. Έτσι έχουμε στον 20° παράλληλο επικάλυψη 12,9%, στον 40° παράλληλο 29% και στον 80° παράλληλο 83,9%. Σ' αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως οι δορυφόροι Landsat 4 και 5 έχουν διαφορά πτήσης 180°, έτσι ώστε κάθε σημείο της Γης να σαρώνεται κάθε 8 ή μέρες από τον Landsat 4 ή από τον Landsat 5. Οι δορυφόροι αυτοί διαθέτουν δύο συστήματα καταγραφής : τον πολυμορφικό σαρωτή MMS και το θεματικό χαρτογράφο (Thematic Mapper, TM), ο οποίος προσφέρει καλύτερη διακριτική ικανότητα και μεγαλύτερο εύρος φάσματος, καθώς οι 64 στάθμες πυκνότητας (λαμπρότητας) στις εικόνες των Landsat 1-3 έχουν μετατραπεί σε 256 και τα 80 m διακριτικής ικανότητας σε 30 m. Επιπλέον διαθέτει

και μια θερμική ζώνη (την No 6) που επιτρέπει την καταγραφή στην περιοχή από 10.4 ως και 12.5 μm (στο θερμικό υπέρυθρο τμήμα του Η.Μ.Φ.), με διακριτική ικανότητα 120m.



Φωτ. 4:Ο θεματικός χαρτογράφος TM των δορυφόρων Landsat 4 και 5(NASA,2001)

Ο Landsat 4 εκτοξεύτηκε στις 16 Ιουλίου του 1982. Διαθέτει έναν πολυφασματικό σαρωτή MSS και το θεματικό χαρτογράφο TM (φωτ. 4), ο οποίος έδινε εικόνες του υπέρυθρου θερμικού φάσματος μέχρι τον Αύγουστο του 1993 οπότε και παρουσίασε προβλήματα στα συστήματα αναμετάδοσης των πληροφοριών. Παρόλα αυτά διατηρείται ακόμη σε τροχιά γύρω από τη Γη.

Ο Landsat 5 τέθηκε σε λειτουργία 1 Μαρτίου 1984. Θεωρήθηκε ως ο αντικαταστάτης του Landsat 4 και κλήθηκε να καλύψει τη βλάβη που ο τελευταίος παρουσίασε. Μετέφερε ακριβώς τους ίδιους ανιχνευτές με τον Landsat 4, δηλαδή έναν πολυφασματικό σαρωτή MSS και το θεματικό χαρτογράφο TM. Όπως και οι προηγούμενοι δορυφόροι της σειράς του παρέμεινε σε λειτουργία πέρα από το κανονικό χρόνο ζωής για τον οποίο σχεδιάστηκε και συνεχίζει ακόμη και στις μέρες μας να δίνει στοιχεία τα οποία θεωρούνται πολύ σημαντικά.

Ακολούθως, στις 5 Οκτωβρίου του 1993, εκτοξεύτηκε ο Landsat 6, ο οποίος έφερε εξελιγμένους δέκτες, όμως απέτυχε να μπει σε τροχιά και έτσι δεν κατάφερε ποτέ να λειτουργήσει κανονικά.

Στις 15 Απριλίου του 1999 εκτοξεύτηκε με επιτυχία ο δορυφόρος Landsat 7, ο οποίος μεταφέρει έναν εξελιγμένο θεματικό χαρτογράφο (Enhanced Thematic Mapper Plus, ETM+). Ο ανιχνευτής αυτός μπορεί να σαρώνει στο ορατό τμήμα του Η.Μ.Φ. με διακριτική ικανότητα 30 m και στο υπέρυθρο θερμικό τμήμα από 10.4 ως 12.5 μm με διακριτική ικανότητα 60 m. Επιπλέον το πανχρωματικό του κανάλι από 0.45 ως 0.9 μm έχει διακριτική ικανότητα μόλις 15 m. Ο δορυφόρος αυτός βρίσκεται σε πολική ηλιοσύγχρονη τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος 705 km. Έχει εύρος

κάλυψης 185 km και σαρώνει ολόκληρη την επιφάνεια της Γης σε περίοδο 16 ημερών.

Ο Charles Woodridge, ειδικός της NASA, δήλωσε στο 9^ο Συνέδριο Τηλεπισκόπησης και Φωτογραμμετρίας της Αυστραλίας πως ο σχεδιασμός του Landsat 8 έχει ήδη ξεκινήσει και ότι το πιθανό έτος εκτόξευσής του θα είναι το 2005.

3.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΙΣ ΓΕΩΕΠΙΣΤΗΜΕΣ.

Οι διάφορες εφαρμογές Τηλεπισκόπησης είναι ένα βασικό εργαλείο σε πολλά γεωλογικά πεδία εφαρμογών. Αυτή συμβάλλει στην ολοκλήρωση πολλών ειδικών και γενικών γεωλογικών εφαρμογών. Οι σπουδαιότερες από αυτές είναι:

- 1) Η κοιτασματολογική έρευνα κοιτασμάτων διαφορετικής μορφής, που συνδέονται με την υδροθερμική δραστηριότητα όπως Χρυσός, Μαγγάνιο, Μεικτά Θειούχα κ.λ.π.
- 2) Η κοιτασματολογική έρευνα διακοσμητικών πετρωμάτων όπως μάρμαρα και γρανίτες.
- 3) Γεωλογικές χαρτογραφήσεις σε διαφορετικές κλίμακες.
- 4) Τεκτονικές χαρτογραφήσεις σε διαφορετικές κλίμακες.
- 5) Υδρογεωλογικές έρευνες μεγάλων περιοχών, αναφορικά με τις λεκάνες απορροής, τις υδρολιθολογικές μονάδες και την γενική τεκτονική τους.
- 6) Υδρογεωλογικές έρευνες απρόσιτων περιοχών, όπου π.χ. εντοπίζονται υποθαλάσσιες εκφορτίσεις πηγαίων υδάτων.
- 7) Περιβαλλοντικές έρευνες σχετικά με τον εντοπισμό περιοχών κατάλληλων για την απόθεση αποβλήτων ή την αναγνώρισή τους σε ανεξέλεγκτες απορρίψεις των στην θάλασσα.
- 8) Περιβαλλοντικές έρευνες για τον εντοπισμό θέσεων απόθεσης μπαζών από μεταλλευτική δραστηριότητα.

Οι εφαρμογές τεχνικών Τηλεπισκόπησης στις γεωλογικές έρευνες είναι πλέον αναγκαίες για την ολοκλήρωσή τους. Τα μειονεκτήματά τους σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους εργασίας όπως η ταχύτητα και ταυτόχρονη συλλογή πολλών στοιχείων περιβάλλοντος, η κάλυψη μεγάλων περιοχών σε μια εικόνα, το χαμηλό κόστος των δεδομένων σε σχέση με το παραγόμενο αποτέλεσμα, η δυνατότητα επεξεργασίας των στοιχείων από υπολογιστή, η καταγραφή δεδομένων σε πολλές φασματικές περιοχές και η συνεχής παρακολούθηση του περιβάλλοντος χώρου.

Η ερμηνεία συμβατικών αεροφωτογραφιών σε διάφορες κλίμακες, ήταν και είναι, ένα από τα κυριότερα εργαλεία υποστήριξης, των πάσης φύσεως γεωλογικών ερευνών που πραγματοποιούνται. Άλλα προϊόντα αεροφωτογραφήσεων, όπως υπέρυθρες αεροφωτογραφήσεις, ή αυτά από γεωθερμικούς ανιχνευτές, χρησιμοποιήθηκαν την δεκαετία του '70, στην υποστήριξη γεωθερμικών ερευνών π.χ. στη Λέσβο ή των υδρογεωλογικών ερευνών του Κορινθιακού.

Η **κοιτασματολογική έρευνα** υποστηρίζεται κυρίως σε περιοχές υδροθερμικών κοιτασμάτων, όπως αυτά της Μακεδονίας και Θράκης ή της κεντρικής Ελλάδας. Εδώ

πιστοποιούνται γρήγορα και επακριβώς σε δορυφορικές εικόνες μεγάλες ζώνες οξείδωσης, καθώς και η ρηξιγενής τεκτονική που χρησιμοποιείται για την μετακίνηση ή απόθεση των υδροθερμικών διαλυμάτων μιας περιοχής. Τα στοιχεία αυτά επαληθεύονται με την ανάλυση αεροφωτογραφιών και εργασίες υπαίθρου. Έρευνες δευτερογενών κοιτασμάτων υποστηρίζονται με την ανάλυση και αξιολόγηση των φασματικών επιφανειακών χαρακτηριστικών τους, κυρίως σε δορυφορικές εικόνες LANDSAT. Ο εντοπισμός υγιών ή μη μαρμαροφόρων περιοχών, υποστηρίζεται με τον καθορισμό της ρηξιγενούς τεκτονικής και δυναμικής από την συνδυασμένη ανάλυση δορυφορικών εικόνων, αεροφωτογραφιών και ανάλυσης νεοτεκτονικών στοιχείων στην ύπαιθρο.

Κοιτασματολογικές έρευνες οι οποίες υποστηρίχθηκαν από τις διάφορες μεθόδους της Τηλεπισκόπησης, πραγματοποιήθηκαν σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Ερευνήθηκε η περιοχή της ανατολικής Ροδόπης, με την ανάλυση τεκτονικών στοιχείων από εικόνες Landsat για την κατανόηση της ευρύτερης περιοχής και τον εντοπισμό νέων ελπιδοφόρων θέσεων για την οικονομικότερη εφαρμοσμένη κοιτασματολογική έρευνα, πλουσίων Μαγγανιούχων κοιτασμάτων στην περιοχή του Λαγού, χμ. 25 και Πανοράματος.

Μελέτες για τον εντοπισμό νέων λατομείων σε μαρμαροφόρες περιοχές ή γενικά σε περιοχές με διακοσμητικά πετρώματα, πραγματοποιήθηκαν σε πολλές περιοχές της Ελλάδας όπως στη Θάσο, στο Παγγαίο και Φαλακρό όρος της Δράμας, στο Βέρμιο τον Τρανοβάλτο στην Κοζάνη, ή Πισσοδέριο στη Φλώρινα.

Οι γεωλογικές και τεκτονικές χαρτογραφήσεις μικρής κλίμακας (1:1.000.000 έως 1:50.000) υποστηρίζονται με την οριοθέτηση γεωλογικών σχηματισμών και τεκτονικών δομών σε δορυφορικές εικόνες κυρίως Landsat και SPOT, εκμεταλλευόμενοι την συνοπτική παρουσίαση μεγάλων περιοχών σ' αυτές, καθώς και τις φασματικές τους ιδιότητες. Γεωλογικές χαρτογραφήσεις μεγάλης κλίμακας, (1:25.000 έως 1:5.000) υποστηρίζονται και από την ερμηνεία και ανάλυση συμβατικών αεροφωτογραφιών. Εδώ πρέπει να τονισθεί, ότι οι μέθοδοι Τηλεπισκόπησης δεν αντικαθιστούν την γεωλογική χαρτογράφηση αλλά την υποστηρίζουν κάνοντας την ολοκλήρωσή της ταχύτερη και οικονομικότερη.

Οι υδρογεωλογικές έρευνες υποστηρίζονται με τον καθορισμό των λεκανών απορροής, των υδρολιθολογικών ορίων τους και την τεκτονική τους. Ακόμη με την ανάλυση του θερμικού καναλιού σε δορυφορικές εικόνες και θερμογραφήματα από αεροσκάφη παράκτιων περιοχών, γίνεται δυνατός ο εντοπισμός παράκτιων και υποθαλάσσιων αναβλύσεων πηγαίων υδάτων. Στην λεκάνη της Δράμας, εργασίες σύγκρισης στοιχείων που προέρχονται από την ερμηνεία των εικόνων Landsat, με στοιχεία υπαίθρου, έδειξαν την πιστότητά τους και επιβεβαίωσαν την οικονομικότητα και ταχύτητα των εργασιών με αυτό τον τρόπο. Με την ανάλυση θερμογραφημάτων από αεροπλάνα, στα βόρεια παράλια της Κρήτης κατεγράφησαν όλες οι παράκτιες υποθαλάσσιες αναβλύσεις πυγαίων υδάτων σ' αυτά.

Η υποστήριξη **γεωθερμικών ερευνών**, γίνεται με τον καθορισμό μεγάλων ρηξιγενών δομών, ή εντοπισμό θερμικών ανωμαλιών. Την δεκαετία του 1970 το ΙΓΜΕ συμμετείχε στις έρευνες εντοπισμού του γεωθερμικού πεδίου στο Πολυχνίτο Λέσβου, όπου πραγματοποιήθηκαν συνδυασμένες έρευνες με την χρήση γεωθερμικών ανιχνευτών στοιχείων από δορυφόρους και επίγειες εργασίες.

Οι εργασίες της **τεχνικής γεωλογίας** υποστηρίζονται με τον εντοπισμό και χαρτογράφηση μεγάλων και μικρών ρηξιγενών δομών και κατολισθήσεων. Έτσι με μεθόδους Τηλεπισκόπησης (κυρίως ερμηνεία αεροφωτογραφιών) υποστηρίχθηκαν οι γεωλογικές εργασίες της σύνδεσης του Ευήνου ποταμού με τον ταμειυτήρα του Μόρνου, έργα πιστοποίησης κατολισθήσεων στη δυτική Ελλάδα, ή και μελέτες κατασκευής φραγμάτων.

Ο τομέας της **γεωλογικής περιβαλλοντικής έρευνας**, έχει υποστηριχθεί με τον εντοπισμό θέσεων απόθεσης στείρων αλλά και εμπλουτισμένων σε βαρέα τοξικά μέταλλα προϊόντων (μπάζα) από την μεταλλευτική δραστηριότητα στην Λαυρεωτική χερσόνησο, την αναγνώριση λημμάτων σε παράκτιες θαλάσσιες περιοχές (Πειραιάς, Θεσσαλονίκη, Ηράκλειο) ή την έρευνα εντοπισμού θέσεων κατάλληλων για την απόθεση στερεών και υγρών αποβλήτων.

Άλλες έρευνες της περιβαλλοντικής γεωλογίας, η υποστήριξη εδαφολογικών ερευνών χρήσεων γης, η υποστήριξη αρχαιολογικών ερευνών, καθώς και ειδικές γεωτεκτονικές έρευνες καθορισμού μεγάλων και μικρότερων κινήσεων σε ρηγματογενείς περιοχές της Ελλάδας, με στόχο την τεκμηρίωση των υπαρχόντων ενεργών αλλά και πρόβλεψη νέων σεισμικών ρηγμάτων.

4.ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης είναι η περιοχή που καλύπτεται από το ανατολικό και το δυτικό τμήμα των δυο διαθέσιμων ΤΜ εικόνων που περιγράφεται παρακάτω. Αυτή είναι μια βόρεια προς ανατολική μέτρηση 40 Km x 40 Km η οποία περιλαμβάνει ένα τμήμα της δυτικής μάζας Ροδόπης.

Πιο συγκεκριμένα το νοτιοδυτικό και δυτικό μέρος της περιοχής μελέτης(φώτο 5) καλύπτει το ανατολικό τμήμα του Μενοίκιου όρους και τις επίπεδες πεδιάδες,τους λόφους και τα χαμηλά βουνά κατά μήκος του Αγγίτη ποταμού από την περιοχή της Μικρόπολης προς την Προσοτσάνη(Χάρτης 2).Το βορειότερο τμήμα καλύπτει το Φαλακρό όρος και τους περιβάλλοντες λόφους κατά μήκος του Κάτω Νευροκοπίου και του Βόλακος της συμπιεσμένης περιοχής. Το βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης φτάνει στο τμήμα του καναλιού του ποταμού Νέστου το οποίο βρίσκεται βορειότερα του Φαλακρού όρους και νοτιότερα της συμπιεσμένης λοφώδους περιοχής Ποταμοί(Χάρτης 1). Τα νοτιοανατολικά σύνορα περιλαμβάνουν περισσότερο τμήμα της επίπεδης πεδιάδας της Δράμας και καταλήγουν στην πόλη της Δράμας. Τα κεντρικά μέρη της περιοχής μελέτης καλύπτουν τη νότια περιοχή του Φαλακρού όρους καθώς επίσης τα περιβάλλοντα χαμηλά βουνά και λόφους κατά μήκος του βορείου-βορειοδυτικού μέρους της επίπεδης πεδιάδας της Δράμας.

Η περιοχή μελέτης αποτελείται από εκτεταμένες μορφοδομικές ενότητες όπως ορεινές ράχες και εναλλακτικά τμήματα μαζί με ταπεινώσεις αναγλύφου, κοιλάδες, ριπίδια και επίπεδες πεδιάδες. Αυτές οι ενότητες είναι αποτέλεσμα από την ύπαρξη των πολλών ρηγμάτων τα οποία δημιούργησαν καθιζήσεις ή ανυψώσεις, σε συγκεκριμένα μέρη της περιοχής μελέτης (Osswald,1983 Kronberg και άλλοι, 1970 Bonchev και άλλοι, 1972 ΙΓΜΕ, 1983 Καρυστιναιός, 1984 Δημάδης και Ζάχος, 1986

Βαβλιάκης και άλλοι) μαζί με τις συνοδευόμενες διαβρωσιγενείς και αποθετικές διαδικασίες.

4.1 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΘΕΣΗ

Η περιοχή μελέτης ανήκει στη μάζα της Ροδόπης.(Μουντράκης, 1988). Η Ροδόπη παλαιότερα θεωρείται ότι άνηκε και η Σερβομακεδονική μάζα, η οποία αργότερα (1961-66) διαχωρίστηκε σε ιδιαίτερη ζώνη.

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο για την διάταξη των οροσειρών η Ροδόπη βρίσκεται μεταξύ του Δυναρικού και του Αλπικού κλάδου και θεωρείται κατά άλλους μεν ένας μεσαίος αλπικός κλάδος και κατά άλλους δε ένας ενδιάμεσος πυρήνας.

Ο Kober (1931) χαρακτήρισε την περιοχή Ροδόπης «Μεσόρειο περιοχή» ή «Μεσαίο οροσειρά», ενώ ο Bonceu (1946) τοποθέτησε την ροδόπη στον Δυναρικό κλάδο χωρίς όμως αυτή η άποψη του να έχει μέλλον. Τέλος ο Brunn (1964) την χαρακτήρισε ως ένα μεσαίο κλάδο (and Moudrakis 1988).

Είτε είναι κλάδος είτε είναι μια μεσαία μάζα, εκείνο στο οποίο συμφωνούν οι περισσότεροι ερευνητές είναι ότι η Ροδόπη δεν είναι μια γεωτεκτονική μονάδα της κλίμακας της ζώνης, αλλά οπωσδήποτε μεγαλύτερης, πιθανόν ανάλογη του κλάδου. Έτσι ο διαχωρισμός της Σερβομακεδονικής μάζας από την Ροδόπη έδωσε την ευκαιρία σε ορισμένους ερευνητές να χαρακτηρίσουν την Σερβομακεδονική σαν μια επιμέρους ζώνη της Ροδοπικής μάζας.

Τελικά σήμερα για την περιοχή Ροδόπης γίνεται γενικότερα αποδεκτή η άποψη του Dimitrov (1955) που την ονόμασε «Μάζα της Ρίλα – Ροδόπης» από τις ομώνυμες οροσειρές Βουλγαρίας και Ελλάδας.

Ο γεωτεκτονικός χαρακτήρας της μάζας Ρίλα – Ροδόπης σύμφωνα με τα πιο νέα μοντέλα λιθοσφαιρικών πλακών για την εξέλιξη της Μεσογείου, είναι καθαρά ηπειρωτικός και θεωρείται ότι η προέλευση της μάζας είναι από την πλάκα της Λαυρασίας.

4.2 ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

Η δυσκολία για την ολοκληρωμένη μελέτη της μάζας της Ροδόπης και την οριστική γεωλογική τοποθέτησή της οφείλεται στην έλλειψη σαφούς στρωματογραφίας και γενικότερα ιζηματογενών πετρωμάτων. Πράγματι η όλη μάζα κυριαρχείται από κρυσταλλοσχιτώδη και πυριγενή πετρώματα. Έτσι οι περισσότερες έρευνες περιστράφηκαν κυρίως γύρω από την λιθολογική εξέλιξη του κρυσταλλοσχιτώδους, το πάχος του οποίου υπολογίζεται κατά άλλους σε 10 Km και κατά άλλους σε 20 Km.

Η πρώτη μελέτη της Ελληνικής Ροδόπης έγινε από τον Osswald (1938) ο οποίος διαίρεσε το κρυσταλλοσχιτώδες σε τέσσερις σειρές (ορίζοντες), που από τις βαθύτερες προς τις ανώτερες είναι οι εξής:

- Η σειρά E των γνευσίων της βάσης με πάχος περίπου 7Km κατέχει την δυτική Ροδόπη και περιλαμβάνει κατά σειρά μοσχοβιτικούς γνευσίους, βιοτιτικούς

και διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες και λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων και σιπολινών. Η σειρά αυτή είναι μια παλιά ιζηματογενής σειρά με βαθμιαία μετάβαση προς την υπερκείμενη σειρά μαρμάρων.

- Η σειρά F των μαρμάρων που εκτείνεται στην Α. Μακεδονία μέχρι τον Νέστο. Αποτελείται κυρίως από μάρμαρα με ενστρώσεις σιπολινών, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, ασβεστούχων μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και αμφιβολιτών. Το πάχος της σειράς υπολογίζεται σε 5,5 – 7Km.
- Η σειρά G των μαρμαρυγιακών σχιστολίθων που εμφανίζεται στην περιοχή του Νέστου με πάχος 5Km και αποτελείται από μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους που συχνά μεταπίπτουν σε γνευσίους, ενώ σπάνια παρεμβάλλονται και αμφιβολίτες καθώς και φακοί μαρμάρων.
- Η σειρά H των σχιστολίθων και μαρμάρων που αναπτύσσονται στην ΒΑ πλευρά του Νέστου, με πάχος περί τα 3Km και συνίσταται κυρίως από σχιστολίθους και μάρμαρα.

-
Τις δύο παλαιότερες σειρές E και F ο Osswald θεωρεί ηλικίας Αλγόγκιου, ενώ τις δυο νεώτερες G και H τοποθετεί στο Κάτω Κάμβριο. Η μεταμόρφωση των παλιών αυτών ιζημάτων είχε ήδη λήξει το Λιθανθρακοφόρο.

Παραπλήσια διάρθρωση για το κρυσταλλοσχιστώδες της Ροδόπης δίνει και ο Βορεάδης (1954) στην νήσο Θάσο, όπου βασικά διαχωρίζει τον κατώτερο γνευσιακό πυρήνα, ένα ενδιάμεσο ορίζοντα γνευσίων και το ανώτερο μάρμαρο.

Έρευνες του Dimitron (1959) στην Βουλγαρική Ροδόπη καθόρισαν δυο ορίζοντες του κρυσταλλοσχιστώδους:

- Τον κατώτερο, μεσοζωνικώς μεταμορφωμένο, ηλικίας Προκαμβρίου – Κάτω Παλαιοζωϊκού, που περιλαμβάνει από κάτω προς τα πάνω κατά σειρά βιοτιτικούς και αμφιβολιτικούς γνευσίους με παρεμβολές αμφιβολιτών και μαρμάρων, λεπτιτικούς γνευσίους, διμαρμαρυγιακούς γνευσίους και αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους με παρεμβολές ενστρώσεων μαρμάρων και σιπολινών.
- Τον ανώτερο επιζωνικώς μεταμορφωμένο, ηλικίας Παλαιοζωϊκού – Μεσοζωϊκού που αρχίζει με βιοτιτικούς σχιστόλιθους μεταβαίνει προς αμφιβολιτικούς και επιδοτοχλωριτικούς σχιστόλιθους, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται ενστρώσεις μαρμάρων και τελικά η σειρά εξελίσσεται προς μάρμαρο μεγάλου πάχους.

-
Στο σημείο αυτό τονίζουμε ότι οι παραπάνω καθορισμοί των ηλικιών των μεταμορφωμένων πετρωμάτων, από τους ερευνητές τόσο του Ελληνικού όσο και του Βουλγαρικού χώρου της μάζας της Ροδόπης, στηρίχθηκαν σε λιθολογικές και τεκτονικές συγκριτικές παρατηρήσεις και όχι σε στρωματογραφικά στοιχεία.

Σημαντικά στρωματογραφικά στοιχεία βρέθηκαν στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης σε μια φυλλιτική σειρά μεγάλου πάχους. Πρόκειται για απολιθώματα φυκών και τρηματοφόρων ηλικίας Τριαδικού και Κάτω Κρητιδικού, η ανακάλυψη των οποίων (Μαράτος & Ανδρονόπουλος 1964, 1965) είχε αποτελέσει τεκμήριο για την ύπαρξη αλπικής ιζηματογένεσης στην Ροδόπη καθώς η φυλλιτική σειρά θεωρούνταν τμήμα του Ροδοπικού κρυσταλλοσχιστώδους. Όπως φαίνεται όμως στον χάρτη των γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας και όπως θα περιγραφεί σε

επόμενο κεφάλαιο, η περιοχή αυτή της Αλεξανδρούπολης και τα φυλλιτικά της πετρώματα ανήκουν σύμφωνα με τις σημερινές απόψεις στην Περιοδοπική ζώνη και επομένως δεν αφορούν την κρυσταλλική μάζα της Ροδόπης τα παραπάνω παλαιοντολογικά ευρήματα.

Τέλος σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζει μια σειρά κλαστικών κυρίως ιζημάτων μολассικού τύπου (κροκαλοπαγή, αργιλομάργες, μαργαϊκοί νουμουλιτοφόροι ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες) που παρατηρείται στην περιοχή Έβρου – Αλεξανδρούπολης.

4.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ & ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Παρόλο το ότι η μάζα της Ροδόπης συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, από ορισμένους ερευνητές είχε από παλιά εκφραστεί η υπόνοια για αλπικές επιδράσεις επί των σχηματισμών της.

Οι υπόνοιες αυτές επαναλήφθηκαν με τις νεώτερες έρευνες του P. Kronberg και των συνεργατών του (1969 –71) που έγιναν στην περιοχή μεταξύ Νέστου και Στρυμόνα.

Σύμφωνα με αυτές σε όλη την περιοχή μεταξύ Νέστου – Στρυμόνα τα πετρώματα μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες της υπόφασης χαλαζίου – αλβίτου – επιδότου – βιοτίτου της πρασινοσχιστολιθικής φάσης, εκτός από την βορειότερη περιοχή όπου η μεταμόρφωση έγινε σε συνθήκες της υπόφασης χαλαζίου – αλβίτου – επιδότου – αλμάνδινου.

Όσον αφορά τους μεγάλους πλουτωνικούς όγκους της Ροδόπης διακρίνονται σε σχέση με την κύρια πτύχωση της περιοχής σε συνκινητικούς (πλουτωνίτες Παγγαίου, Συμβόλου, Ελαιώνος), βραδυκινητικούς (Πανοράματος, Ποταμού, Γρανίτου) και μετακινητικούς (Ξάνθης).

Πτύχωση, μεταμόρφωση και πλουτωνισμός στην περιοχή αυτή της Ροδόπης είναι, κατά τον Kronberg και τους συνεργάτες του αλπικής ηλικίας και τοποθετείται ειδικότερα μεταξύ Κάτω Κρητιδικού και Ολιγοκαίνου.

Πιο πρόσφατες έρευνες διαχωρίζουν την μάζα της Ελληνικής Ροδόπης σε δυο τεκτονικές μινάδες (Σχ. 6 & 7): την ανώτερη «ενότητα του Σιδηρόνερου» στα βόρεια κατά μήκος των ελληνοβουλγαρικών συνόρων και την κατώτερη «ενότητα του Παγγαίου» που καταλαμβάνει την δυτική και νοτιοδυτική Ροδόπη (Papanikolaou & Panagopoulos 1981).

Η ενότητα Σιδηρόνερου αποτελείται κυρίως από ορθογενέσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων και μιγματίτες.

Η ενότητα Παγγαίου συγκροτείται από ένα κατώτερο ορίζοντα με ορθογνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες ένα μεσαίο ορίζοντα μαρμάρων μεγάλου πάχους και ένα ανώτερο ορίζοντα με εναλλαγές σχιστολίθων και μαρμάρων.

Η ενότητα σιδηρόνευρου εφίπυει την ενότητα Παγγαίου από Β – Ν κατά μήκος μιας μεγάλης μήκους τεκτονικής γραμμής γενικής διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ (περίπου 110°).

Η τεκτονική ανάλυση του κρυσταλλοσχιστώδους που έγινε μέχρι τώρα σε ορισμένες περιοχές της Ροδόπης διαπίστωσε τρεις φάσεις πτυχώσεων των σχηματισμών.

Η πρώτη φάση προκάλεσε πτυχές ισοκλινείς, συμμεταμορφικές, γενικής αξονικής διεύθυνσης Β – Ν και η ηλικία της υποθέεται ότι είναι Παλαιοζωϊκή σύγχρονη της πρώτης κύριας μεταμόρφωσης του ρυσταλλοσχιστώδους.

Η δεύτερη φάση προκάλεσε πτυχές υποϊσοκλινείς, και άξονες διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ έως ΑΒΑ – ΔΝΔ συνοδεύεται από μια πολύ εμφανή γράμμωση που προέρχεται από την τομή της Παλαιοζωϊκής φύλλωσης των πετρωμάτων με μια δεύτερη σχιστότητα που συνόδευσε αυτή την δεύτερη φάση πτυχώσεων. Οι δομές της φάσης αυτής είναι εκείνες που κυριαρχούν στα πετρώματα της ροδόπης και τα περισσότερα πλουτωνικά σώματα εμφανίζονται προσανατολισμένα κατά την διεύθυνση των αξόνων αυτών κατέχοντας κυρίως τους πυρήνες των μεγαντικλίνων.

Η τοποθέτηση αυτή των πλουτωνικών σωμάτων αποτελεί και ουσιαστικό κριτήριο για την ηλικία της φάσης πτυχώσεων που εξαρτάται βέβαια από την αρχική ηλικία των πλουτωνιτών. Επομένως το θέμα μπαίνει ως εξής: εάν η αρχική ηλικία των πλουτωνιτών είναι πράγματι Ηωκαινική – Ολιγοκαινική τότε και η δεύτερη φάση πτυχώσεων είναι της ίδιας ηλικίας, εάν όμως, όπως άλλωστε υπάρχουν υπόνοιες, η αρχική κρυστάλλωση των πλουτωνιτών είναι Παλαιοζωϊκή ή Ιουρασική – Κρητιδική τότε και η πτύχωση είναι ανάλογης ηλικίας.

Η τρίτη φάση πτυχώσεων έχει πτυχές ανοιχτές διεύθυνσης αξόνων ΒΔ – ΝΑ (συνήθως 120°) που επαναπτυχώνουν τις προγενέστερες πτυχές.

Η ηλικία της τρίτης φάσης πιστεύεται ότι είναι Τριτογενής, ίσως Ολιγοκαινική και με αυτή μάλλον συνδέεται η μεγάλη εφίπευτική κίνηση της «ενότητας Σιδηρόνευρου», που αναφέρθηκε παραπάνω, πάνω στην «ενότητα Παγγαίου» η τεκτονική επαφή των οποίων συμπίπτει γενικά με την αξονική διεύθυνση της τρίτης φάσης.

Πολλές άλλες μικρότερης κλίμακας αφίπυσεις και επωθήσεις που παρατηρούνται στην Ροδόπη έχουν επίσης την ίδια γενική διεύθυνση.

Οι φάσεις πτυχώσεων που περιγράφηκαν παραπάνω επιβεβαιώνουν την άποψη ότι η μάζα της Ροδόπης επηρεάστηκε από τις αλπικές παραμορφώσεις, ανεξάρτητα από την ηλικία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της, άποψη που σήμερα έχει πλέον εδραιωθεί.

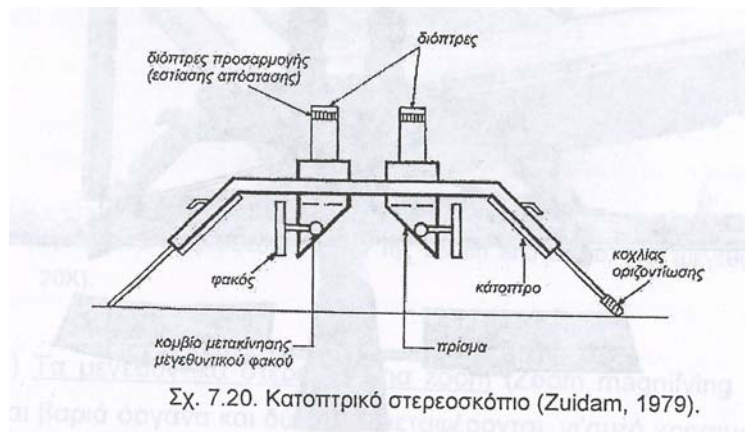
5.ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στην παρούσα εργασία, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δυο διαδοχικές ασπρόμαυρες εικόνες LANDSAT-5 TM ζώνης 7(2,08μm-2,35μm,ηλιακή υπέρυθρη) κλίμακας 1 125.000(φωτο 6). Η διακριτική ικανότητα των TM εικόνων (30μ x 30μ) και η κλίμακά τους καθιστούν αυτές τις εικόνες κατάλληλες για ανάλυση εικόνας.

Οι διαθέσιμες TM εικόνες λήφθηκαν στις 14 Ιανουαρίου 1986 από το δορυφόρο LANDSAT-5 με χαμηλό ύψος (sun elevation) (21°) διαθέτοντας περισσότερη τοπογραφική σκιά (ένα κλειδί-χαρακτηριστικό για την αναγνώριση των φωτογραμμώσεων και των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών) και καλύτερη κάλυψη της βλάστησης. Ένα πλεονέκτημα των TM εικόνων είναι ότι διαθέτουν συνοπτικές (185Km x 185Km) ορθογραφικές, επαναλαμβανόμενες ,πολυφασματικές (7 ζώνες, συμπεριλαμβανομένου του υπέρυθρου φάσματος) και χαμηλού κόστους σαρώσεις.

Για την παρατήρηση των δυο διαδοχικών ασπρόμαυρων TM εικόνων χρησιμοποιήθηκε το κατοπτρικό στερεοσκόπιο. Αυτό αποτελείται από ένα, κατάλληλα διατεταγμένο, σύστημα πρισμάτων, κατόπτρων, φακών, καθώς και ζεύγους πρισματικών μεγεθυντικών διόπτρων(6X – 8X), το οποίο προσαρμόζεται κατάλληλα στους φακούς του στερεοσκοπίου γιατί οι φακοί συνήθως είναι μικρής μεγέθυνσης. Μ'αυτά επιτυγχάνεται η στερεοσκοπική παρατήρηση ολόκληρης της επικαλυπτόμενης περιοχής του παρατηρούμενου στερεοζεύγους α/φιών, οι οποίες τοποθετούνται σε επίπεδη επιφάνεια(τράπεζα) και σε κοντινή απόσταση, τόση που τα κύρια σημεία των α/φιών 23X23 cm απέχουν περίπου 26 cm. Η απόσταση τοποθέτησης των α/φιών κάτω από το κατοπτρικό στερεοσκόπιο εξαρτάται από τη ‘στερεοσκοπική βάση’ του οργάνου (αυτή είναι η απόσταση μεταξύ των δυο οπτικών πεδίων όρασης προβαλλόμενων στο επίπεδο της τράπεζας). Π.χ. στο Topcon αυτή είναι 25 cm, στο Wild 24 cm και στο JENA 26 cm. Η στερεοσκοπική βάση είναι μεγαλύτερη από τη ‘βάση του οπτικού πεδίου’ που είναι η απόσταση μεταξύ δυο κυρίων σημείων του ζεύγους των α/φιών τη στιγμή της στερεοσκοπικής παρατήρησης για να είναι ελεύθερη η κάθε μια α/φία να μετακινείται κατά τη στερεοσκοπική παρατήρηση (σχήμα 1).

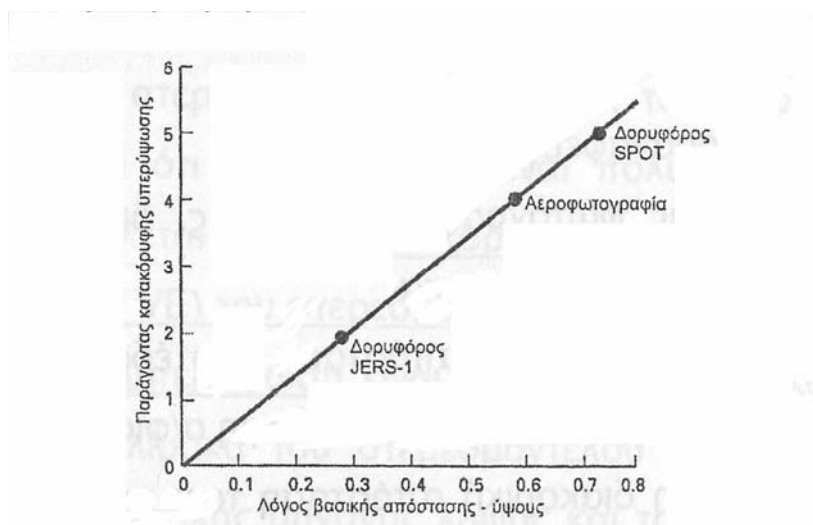
Η μεγέθυνση των φακών συνήθως είναι 1,5-3X (στο Topcon είναι 1,8X). Η τελική μεγέθυνση της α/φιας με τη βοήθεια των φακών και των διόπτρων μειώνει το οπτικό πεδίο κάτι που είναι μειονέκτημα για τις γεωλογικές παρατηρήσεις.



Σχ.1. Κατοπτρικό στερεοσκόπιο(Zuidam,1979)

Στο παραπάνω στερεοζεύγος TM η πραγματική αλληλοεπικάλυψη κατά μήκος της εικόνας είναι 34,1% , η αναλογία βάσης – ύψους είναι 0,13 και η κάθετη μεγέθυνση είναι 1,0 (Sabins,1978).

Στο σχήμα 2 φαίνεται η κατακόρυφη υπερύψωση διαφόρων στερεοζεύγων α/φίων ή δορυφορικών εικόνων, για διάφορους λόγους βασικής απόστασης – ύψους πτήσης αεροσκάφους. Συγκεκριμένα, στις δορυφορικές εικόνες του JERS-1 και του MOMS, καθώς και στις δορυφορικές εικόνες του LANDSAT στον Ισημερινό (όπου δύο διαδοχικές εικόνες παρουσιάζουν τη μέγιστη αλληλεπικάλυψη), η κατακόρυφη υπερύψωση είναι περίπου 2, ενώ στις δορυφορικές εικόνες SPOT είναι περίπου 5.



Σχ.2 Σχέση μεταξύ λόγου βασικής απόστασης – ύψους και του παράγοντα της κατακόρυφης υπερύψωσης(Sabins,1997).

Οι χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν για συγκρίσεις κατά τη διάρκεια της ανάλυσης εικόνας ήταν ο τοπογραφικός χάρτης της Δράμας κλίμακας 1:100.000 (χάρτης 1), ο τοπογραφικός χάρτης των Σερρών κλίμακας 1:100.000 (χάρτης 2), οι γεωλογικοί χάρτες των φύλλων του Νευροκοπίου, Ποταμών, Προσοτσάνης και της Δράμας, κλίμακας 1:50.000.

6. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ

Η ‘φυσιογραφική ανάλυση’ (γεωμορφολογική προσέγγιση) χρησιμοποιήθηκε ως η βασική μεθοδολογία, καθώς η ερμηνεία ξεκινά με δύο φάσεις α) οπτική μονοσκοπική ερμηνεία των δύο διαθέσιμων εικόνων TM και β) οπτική στερεοσκοπική ερμηνεία χρησιμοποιώντας το στερεοζεύγος των εικόνων αυτών (τη ζώνη αλληλοεπικάλυψης από τις δύο διαδοχικές ασπρόμαυρες εικόνες TM).

Τα φωτογραφικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν και στις δύο τεχνικές είναι το ανάγλυφο του εδάφους, ο τόνος της αεροφωτογραφίας, η διάταξη ή ο τύπος του υδρογραφικού δικτύου, το σχήμα των απεικονιζόμενων αντικειμένων στις αεροφωτογραφίες, όπως π.χ. δρόμοι, το μέγεθος των αντικειμένων, οι σκιές τους, καθώς και η τοπογραφική και γεωγραφική θέση της περιοχής, που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από τον φωτοερμηνευτή (Silleos and Astaras, 1987).

Αυτά τα οπτικά χαρακτηριστικά που συχνά αλληλεπιδρούν σε εικόνες που δίνουν περιοχές μιας ομοιόμορφης ή ομογενούς ταυτότητας, καλούνται «φωτομορφικές ενότητες» (photomorphic units) -(Ackerson and Fish, 1985, από T. Astaras, 1990). Αυτά είναι συχνά συνδεδεμένα με μια περιοχή που έχουν όμοιες διατάξεις της τοπογραφίας, των εδαφών, της βλάστησης και της χρήσης γης, θεωρούνται ως ένα εργαλείο στην περιγραφή γεωμορφολογικών ενοτήτων τοπίου. Αυτές οι «ενότητες τοπίου» που είχαν αρχικά προσδιοριστεί ως «γεωμορφολογικά συστήματα -land systems» (Christian and Stewart, 1968) και αργότερα από άλλους επιστήμονες με άλλες τοπικές ορολογίες (Αστάρας, 1984, Ackerson and Fish, 1989),

ήταν αναγνωρίσιμες πάνω στις διαθέσιμες TM εικόνες, από αλλαγές των οπτικών χαρακτηριστικών πάνω σε αντικείμενα, που φαίνονται πάνω σ' αυτές.

Επίσης, κατά τη διάρκεια της ανάλυσης των εικόνων TM, οι φωτογραμμώσεις εμφανίζονται πάνω στις εικόνες αυτές. Σύμφωνα με τους O' Leavy, Friedman and Pohn (1976) (από T. Astaras, 1990) «μια φωτογράμμωση είναι ένα αποτυπωμένο γραμμικό ή καμπυλόγραμμο χαρακτηριστικό μιας επιφάνειας, τμήματα της οποίας ευθυγραμμίζονται σε μια ευθεία ή ελαφρής κύρτωσης. Συνήθως η φωτογράμμωση είναι η έκφραση ενός ρήγματος ή γεωλογικής (λιθόλογικής) επαφής». Για τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση των φωτογραμμώσεων χρησιμοποιήθηκαν κριτήρια – ενδείξεις αναγνώρισης των ρηγμάτων (Μαλκόπουλος , 2003), όπως είναι:

- η αναγνώριση ιδιαίτερα ευθύγραμμων μορφολογικών ιχνών
- η αναγνώριση της ζώνης του ρήγματος
- η παρουσία φυσιογραφικών στοιχείων
- η αναγνώριση δύο διαφορετικών τοπογραφιών εκατέρωθεν του ρήγματος
- η απότομη αλλαγή και η μετάθεση των φυσιογραφικών στοιχείων κατά μήκος ευθύγραμμων μορφολογικών γραμμώσεων – ιχνών.

Ακόμα, χρησιμοποιήθηκαν οι διαθέσιμοι τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες, διότι οι γραμμικοί δρόμοι και οι γραμμές σαρώσεως πάνω στην εικόνα, μπορούν εύκολα να θεωρηθούν λανθασμένα ως φωτογραμμώσεις. Οι γεωλογικοί χάρτες χρησιμοποιήθηκαν για συγκρίσεις σε μη συγκεκριμένες φωτογραμμώσεις.

Οι φωτογραμμώσεις μετρούνται, ως προς το μήκος τους, σε δεκάδες ή εκατοντάδες χιλιόμετρα ενώ είναι καλά εκφρασμένες πάνω σε LANDSAT εικόνες λόγω της χαμηλής ηλιακής γωνίας, της καταστολής των αποσπώντων χωρικών λεπτομερειών (the suppression of distracting spatiar details) και της περιφερειακής κάλυψης.

6.1 ΜΟΝΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Αυτή η τεχνική χρησιμοποιήθηκε πρώτη για ερμηνεία των δύο διαθέσιμων εικόνων. Η αναγνώριση των απευθείας παρατηρούμενων οπτικών χαρακτηριστικών, όπως το ανάγλυφο του εδάφους και ο τόνος των αεροφωτογραφιών, επιτρέπουν τη σχεδίαση των φωτομορφικών και φυσιογραφικών ενοτήτων.

Το ανάγλυφο του εδάφους ερμηνεύτηκε με βάση την επίδραση της σκιάς, η οποία δημιουργήθηκε από τη χαμηλή ηλιακή γωνία. Επομένως, μόνο μία προσέγγιση για την ταξινόμηση του ανάγλυφου είναι πιθανή, βοηθούμενη από τη προσεκτική μελέτη των υδρογραφικών δικτύων των ορεινών και λοφώδων περιοχών. Οι φωτομορφικές ενότητες σχεδιάστηκαν χρησιμοποιώντας αναγνωριστικά χαρακτηριστικά πάνω σε δορυφορικές εικόνες χωρίς καμία προσπάθεια για ερμηνεία σε αντίθεση με φυσιογραφικές ενότητες, που πρέπει πλήρως να περιγραφούν (American Society of Photogrammetry 1975, Townshend 1981).

6.2 ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Η στερεοσκοπική ερμηνεία δίνει μια νέα διάσταση για τη δορυφορική ανάλυση εικόνας και μαζί με τις πρόσφατες βελτιώσεις δίνουν μια φιλόδοξη εικόνα για μελλοντικές απαιτήσεις:

Το στερεοζεύγος, αποτελούμενο από τις δύο διαδοχικές ασπρόμαυρες εικόνες LANDSAT-5 TM, χρησιμοποιήθηκε για οπτική ερμηνεία με σκοπό να συγκριθούν τα αποτελέσματα μαζί με εκείνα που παρατηρήθηκαν από τη μονοσκοπική ερμηνεία. Η τεχνική της ερμηνείας χρησιμοποιώντας το στερεοζεύγος έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα, την πιθανότητα της ανάλυσης ανάγλυφου και της αναγνώρισης των σχηματισμών ανάγλυφου και σχηματισμών της. Η βασική τεχνική που χρησιμοποιήθηκε ήταν ίδια με εκείνη που περιγράφηκε από πολλούς συγγραφείς για

αεροφωτογραφίες λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς λόγω της διακριτικής ικανότητας και της κλίμακας (Silleos & Astaras, 1987).

Χρησιμοποιώντας τη στερεοσκοπική ερμηνεία μπορούμε να διακρίνουμε στην περιοχή μελέτης τη ζώνη φυσιογραφικών ενοτήτων που αποτελείται από τους σχηματισμούς των βουνών και των ορεινών κορυφογραμμών - ράχων και τη ζώνη φυσιογραφικών ενοτήτων που αποτελείται από τις επίπεδες πεδιάδες.

Η στερεοσκοπική παρατήρηση και ερμηνεία των φωτογραφιών και εικόνων, η οποία τονίζει το τρισδιάστατο ανάγλυφο μιας περιοχής βοηθά σημαντικά στην ερμηνεία των φωτογραφιών και εικόνων, οι οποίες λαμβάνονται από αισθητήρες (καταγραφείς) που καταγράφουν την ανακλώμενη ακτινοβολία του ηλιακού φάσματος (SOR/solar reflection region: 0.3 μ m-3 μ m), σε αντίθεση με τα άλλα τμήματα του ΗΜΦ.

7.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ

7.1 ΜΟΝΟΣΚΟΠΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕΝΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ (LANDSAT TM)

7.2 ΜΟΝΟΣΚΟΠΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ

Τα αποτελέσματα της μονοσκοπικής σύγκρισης αφορούν τρεις κύριες γεωμορφολογικές ενότητες που αναγνωρίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν στην περιοχή μελέτης πάνω στη βάση των γεωλογικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών, εκφραζόμενων σε συγκεκριμένα οπτικά χαρακτηριστικά, όπως ο τόνος, διαφορές στη διάταξη της λεκάνης απορροής, η υφή, οι σκιές, τα στίγματα και οι κηλιδώσεις, το σχήμα και το μέγεθος των απεικονιζομένων αντικειμένων. Αυτές οι τρεις ενότητες είναι τα βουνά, οι λόφοι και οι επίπεδες πεδιάδες. Παρατηρούμε ότι η ταξινόμηση του ανάγλυφου του εδάφους βασισμένη στην επίδραση της σκιάς είναι καλύτερα εφαρμόσιμη χρησιμοποιώντας εικόνες οι οποίες λήφθηκαν κατά τη διάρκεια εποχών

με χαμηλό ηλιακό ύψος. Η εικόνα του Ιανουαρίου με το ηλιακό ύψος 21° δείχνει μία εντυπωσιακή οξύτητα του ανάγλυφου ενώ οι λεκάνες εσωτερικά των βουνών, οι επίπεδες πεδιάδες, οι κοιλάδες και οι ταπεινώσεις του εδάφους αποκαλύπτονται καλύτερα και σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας τη συγκεκριμένη εικόνα. Ειδικά για την Ελλάδα που χαρακτηρίζεται από τις μακριές περιόδους ηλιοφάνειας υπάρχει υψηλή πιθανότητα για τις παρατηρούμενες εικόνες να είναι χωρίς σύννεφα ή με λίγη κάλυψη νεφών κατά τους χειμωνιάτικους μήνες.

7.3 ΜΟΝΟΣΚΟΠΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΝΟΜΕΝΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Στη μονοσκοπική ερμηνεία, ο ερμηνευτής δεν μπορεί να κάνει πλήρη χρήση των τάξεων αναγλύφου και της προέλευσης των γεωμορφολογικών ενοτήτων, λόγω της έλλειψης της στερεοσκοπικής παρατήρησης. Σε αντίθεση, η στερεοσκοπική ερμηνεία βοηθάει τον ερμηνευτή να χρησιμοποιήσει πλήρως τα απ' ευθείας παρατηρούμενα χαρακτηριστικά, όπως το ανάγλυφο του εδάφους, τον τόνο και τους σχηματισμούς γης.

Η σαφήνεια στον τόνο, το κύριο στοιχείο στη μονοσκοπική ερμηνεία, χρησιμοποιήθηκε επίσης στη στερεοσκοπική ερμηνεία και βρέθηκε να είναι περισσότερο εφικτή επειδή ο τόνος ταυτίστηκε μαζί με τη θέση του πάνω στη γεωμορφολογία του εδάφους. Η ίδια σχέση εφαρμόστηκε και για την επιφανειακή υδρολογία. Παρότι οι κοιλάδες και οι λεκάνες δείχνουν καλά πάνω στην εικόνα του Ιανουαρίου, η σχεδίαση τέτοιων εδαφικών σχηματισμών και παρόμοιων ενοτήτων βρέθηκε να είναι περισσότερο ακριβής όταν η επιφανειακή υδρολογία, οι γεωμορφολογικές ενότητες και οι ενότητες του εδάφους (εδαφολογικές ενότητες) ήταν συνδεδεμένα στενά.

Η μονοσκοπική και η στερεοσκοπική ερμηνεία δείχνουν ότι η μόνη διαφορά όσον αφορά στην ταυτοποίηση των στοιχείων είναι το ανάγλυφο. Η διάβρωση, παρότι άμεσα αναγνωρίζεται και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζεται καλύτερα σε ένα στερεοσκοπικό μοντέλο λόγω της αίσθησης του βάθους στο οποίο δημιουργείται. Το

ίδιο είναι αλήθεια για την εδαφική κάλυψη και εδαφική χρήση επειδή η τοποθεσία Του σχηματισμού γης δίνει μια καλή ένδειξη των πιθανών ειδών της εδαφικής κάλυψης ή της χρήσης γης στη συγκεκριμένη τοποθεσία.

Μέσα από τη στερεοσκοπική ερμηνεία, οι φωτογραμμώσεις που είναι μεγαλύτερες ή ίσες από 0,5 k m χαρτογραφήθηκαν πάνω σε TM εικόνα σε δοσμένη κλίμακα 1:125.000 (φώτο 5). Το μέγεθος και η φορά των φωτογραμμώσεων πάνω στην περιοχή μελέτης είναι ΒΔ – ΝΑ και Α – Δ διεύθυνσης. Οι περισσότερες φωτογραμμώσεις αντανακλούν τη διάταξη διακλάσεων της περιοχής. Οι κύριες φωτογραμμώσεις αντιπροσωπεύουν το κύριο ρήγμα και τις ζώνες διάτμησης. Συγκεκριμένες περιοχές, όπως λοφώδεις περιοχές που καλύφθηκαν από Νεογενείς αποθέσεις και ορεινές περιοχές που καλύφθηκαν κυρίως από γνευσίους και σχιστόλιθους, δείχνουν μεγαλύτερη πυκνότητα φωτογραμμώσεων.

Η ηλικία των φωτογραμμώσεων και οι σχέσεις τους με παλιές και νέες τεκτονικές διαταραχές (παραμορφώσεις), οι οποίες έχουν πάρει μέρος στη μάζα της Ροδόπης, δεν περιλαμβάνονται σ' αυτή την εργασία, διότι η τελευταία είναι μια αναγνωριστική μέθοδος γεωλογικής έρευνας. Αυτή είναι μία τηλεπισκοπική εργασία της ζώνης επιφάνειας η οποία διαθέτει ένα τοπικό γεωμορφολογικό και τεκτονικό χάρτη για παρεμβολή διαφόρων χαρακτηριστικών σε τοπική κλίμακα.

Κατά τη διάρκεια της γεωμορφολογικής ταξινόμησης, η έμφαση δίνεται σε φωτογραμμώσεις που εμφανίζονται σε κάθε γεωμορφολογικό σύστημα (π.χ. βουνό ή λόφο), επειδή η φορά και η πυκνότητα των φωτογραμμώσεων είναι υψηλά συσχετισμένη με τύπους των διατάξεων λεκανών απορροής και την υφή τους. Υψηλά τεκτονισμένες περιοχές, κυρίως πάνω σε διαβρώσιμες Νεογενείς αποθέσεις, εμφανίστηκαν με υψηλό και ενδιάμεσο βαθμό αποχωρισμού και έτσι αυτές εκφράστηκαν σαν υψηλά και ενδιάμεσα διαχωρισμένοι λόφοι και βουνά αντίστοιχα. Επιπλέον επίπεδες επιφάνειες του Φαλακρού όρους που καλύφθηκαν από πυριγενή και ασβεστολιθικά πετρώματα εκφράστηκαν από χαρακτηριστικούς γκρι τόνους και σπάνιες λεκάνες απορροής πάνω σε TM εικόνα για την ταξινόμηση εδάφους. (Μαλκόπουλος 2003)

Για την περιγραφή και χαρτογράφηση των επίπεδων πεδιάδων, η προσοχή εστιάστηκε στην έλλειψη της επίδρασης της σκιάς και των σκοτεινών τόνων που εκφράζουν χαμηλό ή όχι μικροανάγλυφο, πάνω σε διακεκριμένη λεκάνη απορροής, κατατμήσεις και τοπογραφική θέση σε επίπεδες πεδιάδες. Από την άλλη μεριά η ταξινόμηση των βουνών με καρστικό τύπο βασίστηκε πάνω στη δομή των ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστόλιθος, μάρμαρα) και στη συστηματική εργασία των οπτικών επιφανειακών χαρακτηριστικών των αντικειμένων που εμφανίστηκαν πάνω στην ΤΜ εικόνα. Και έχουν αναφερθεί και παραπάνω. Αυτά τα οπτικά χαρακτηριστικά είναι η κατάσταση (η γεωγραφική θέση, κυρίως ελεγχόμενη από το ηλιακό ύψος), το σχήμα, οι γκρι τόνοι και οι κηλίδες των ευθυγραμμισμένων ή μη ευθυγραμμισμένων καρστικών επιφανειακών χαρακτηριστικών (δολίνες, αυβάλες, πόλγες) κατά μήκος των επιμηκυσμένων ή με επιμηκυσμένων ραχών και ταπεινώσεων του αναγλύφου των καρστικών βουνών του Φαλακρού όρους (Βαβλιάκης, 1981).

Για την επιφανειακή υδρολογία χρησιμοποιήσαμε τόσο τη μονοσκοπική μέθοδο όσο και τη στερεοσκοπική μέθοδο καθώς και τον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής Δράμας και Σερρών κλίμακας 1:100.000 (χάρτες 1 και 2).

Με βάση τον τοπογραφικό αυτό χάρτη βρέθηκε ότι το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι κλιμακωτής μορφής κατά μήκος του Αγγίτη ποταμού, ενώ η υπόλοιπη περιοχή χαρακτηρίζεται από το δενδριτικό τύπο. Από την άλλη μεριά, παρατηρώντας τη δορυφορική εικόνα ΤΜ, μονοσκοπικά, η διάταξη του υδρογραφικού δικτύου θεωρείται προς τα νότια δενδριτικού τύπου, ενώ ανεβαίνοντας προς τα βόρεια έχουμε μετατροπή της διάταξης του υδρογραφικού δικτύου σε κλιμακωτή μορφή, με την εμφάνιση νέων ρυακιών και χειμάρρων. Ακόμα, όμως, καλύτερα συμπεράσματα βγάζουμε με την στερεοσκοπική παρατήρηση της δορυφορικής εικόνας. Η διάταξη του δικτύου παίρνει την κλιμακωτή μορφή στο βορειότερο κομμάτι της περιοχής μελέτης – κάτι που ταυτίζεται με τη μονοσκοπική ερμηνεία – ενώ κατεβαίνοντας νότια παρατηρείται δενδριτική μορφή στο υδρογραφικό δίκτυο (φώτο 7). Δηλαδή τόσο η μονοσκοπική, όσο και η στερεοσκοπική ερμηνεία καταλήγουν στο ίδιο αποτέλεσμα, αλλά με τη διαφορά ότι η στερεοσκοπική επαληθεύει τα συμπεράσματα της μονοσκοπικής ερμηνείας.

Η όλη διαδικασία της στερεοσκοπικής ερμηνείας, λαμβάνοντας υπ' όψη την κλίμακα και τη διακριτική ικανότητα, βρέθηκε να είναι παρόμοια με αυτή της φυσιογραφικής ανάλυσης χρησιμοποιώντας αεροφωτογραφική ερμηνεία όπως περιγράφεται από πολλούς συγγραφείς όπως οι Buringh (1960), Goosen (1967), Bennena και Galeris (1969) και Townshend (1981). Ο Nyberg (1980), που είχε ως σκοπό να χαρτογραφήσει σχηματισμούς εδάφους μέσα σε μια ορεινή περιοχή στη βόρεια Σουηδία, βρήκε ότι η περιορισμένη διακριτική ικανότητα και το πρόβλημα της παρατηρούμενης οπτικής εικόνας για μεγάλες περιοχές ήταν περιορισμοί για την εφαρμογή της MMS εικόνας μέσα στη μέθοδο της γεωλογικής έρευνας και χαρτογράφησης των εδαφικών σχηματισμών. Η στερεοσκοπική ερμηνεία της εικόνας αυξάνει τις απαιτήσεις που σχετίζονται με τη γεωμορφολογία και τη γεωλογία.

Για τις εργασίες χρήσης γης, η στερεοσκοπική ερμηνεία βρέθηκε να είναι περισσότερο χρήσιμη επειδή οι περιοχές μελέτης μπορούν να καθοριστούν καλύτερα και να σχεδιαστούν από το ένωμα της θέσης τους πάνω στους εδαφικούς σχηματισμούς και τον τόνο ή το χρώμα. Παρ' όλ' αυτά, όπως αναφέρει ο Townshend (1981), τα ακόλουθα θα βρεθούν να προκαλούν προβλήματα, ειδικά στις Μεσογειακές περιοχές:

- (i) το μικρό μέγεθος των ομογενών περιοχών ενοτήτων τοπίου / αναγλύφου
- (ii) το μεγάλο εύρος διαφοροποίησης όσον αφορά την τοπογραφία, τα εδάφη και το μικροκλίμα
- (iii) η μεγάλη ανάμειξη των τύπων βλάστησης και των ειδών που βρέθηκαν σε μερικά Μεσογειακά οικοσυστήματα και η μεγάλης έκτασης συγκαλλιέργεια δέντρων και αροτραίων καλλιεργειών (arable crops).

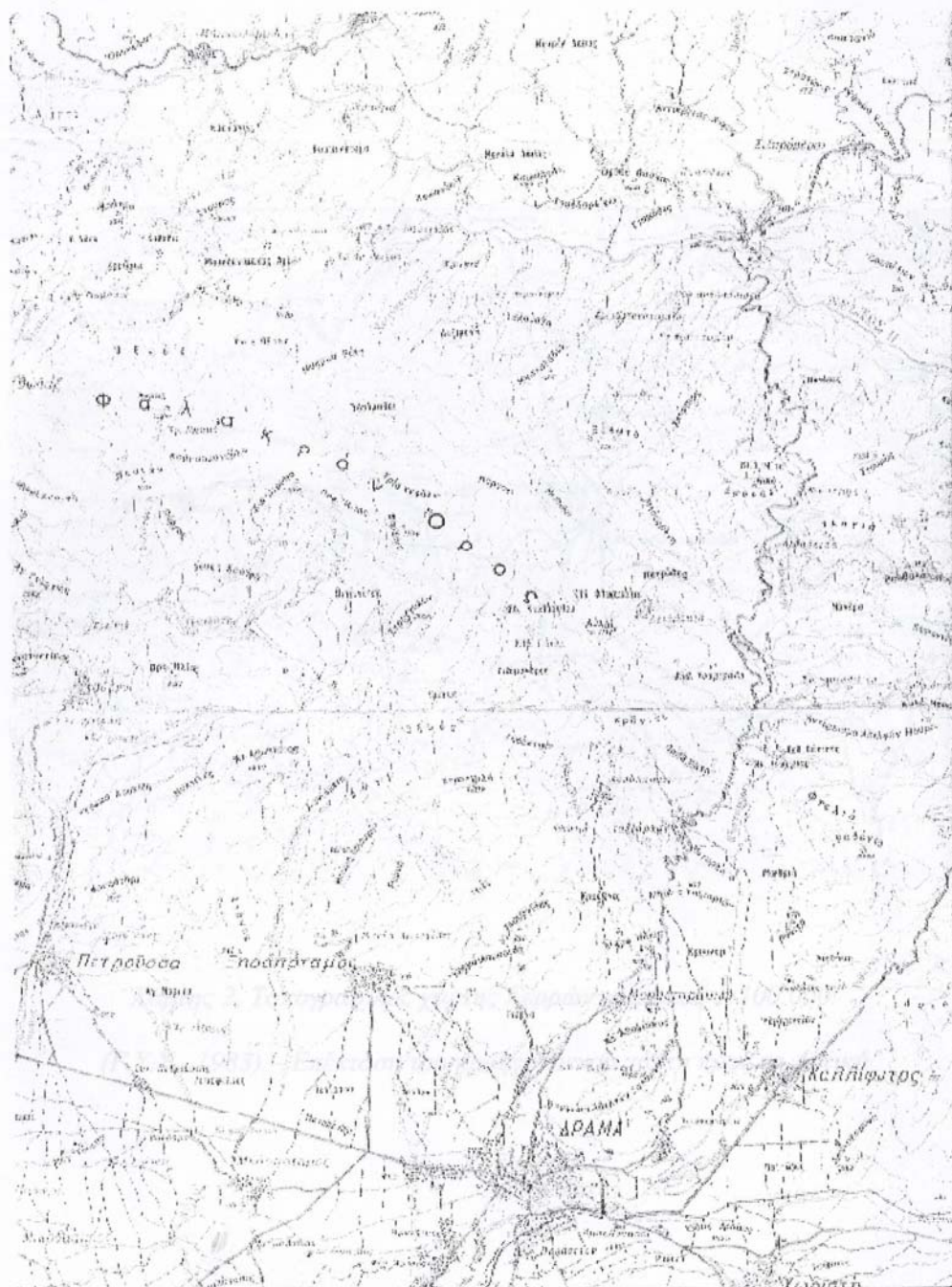
8.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία, η διαθέσιμη LANDSAT – 5 TM εικόνα σε κλίμακα 1:125.000 με καλύτερη και βελτιωμένη χωρική και φασματική διακριτική ικανότητα, βρέθηκε πολύ χρήσιμη για γεωμορφολογική και τεκτονική χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης. Η ανάλυση εικόνας έχει αποδειχτεί ένα εξαιρετικό εργαλείο για να αποκαλύψει σημαντικά και προηγουμένως άγνωστα χαρακτηριστικά της γεωλογικής προέλευσης, όπως κρυμμένα όρια εδαφικών ενοτήτων και σκοτεινών φωτογραμμώσεων (λιθολογικές επαφές, ρήγματα, επωθήσεις, κ.α.). Πιο συγκεκριμένα, η οπτική ανάλυση εικόνας της φασματικής ζώνης 7 (υπεριώδης περιοχή των 2,07μm-2,35μm) της TM εικόνας δίνει καλές επαφές μεταξύ διάφορων γεωμορφολογικών ενοτήτων απ' ότι οι εικόνες των άλλων φασματικών ζωνών. Έτσι, αυτή η ζώνη βοηθάει τον αναλυτή εικόνας σε εύκολη και με ακρίβεια περιγραφή και χαρτογράφηση των γεωμορφολογικών και εδαφικών συστημάτων, των φωτογραμμώσεων της περιοχής μελέτης, καθώς και του υδρογραφικού δικτύου.

Από την άλλη μεριά, παρ' όλο που τους περιορισμούς και τα αναπάντεχα προβλήματα που προκύπτουν με τη χρήση των «Δεύτερης Γενιάς Γήινων Παρατηρούμενων Δορυφορικών εικόνων», τα αποτελέσματα δείχνουν ότι χρησιμοποιώντας τη σωστή αλληλοεπικάλυψη των εικόνων, η στερεοσκοπική ερμηνεία και η φυσιογραφική ανάλυση είναι πολύ εφικτή για ευρύτερη θεματική χαρτογραφία.

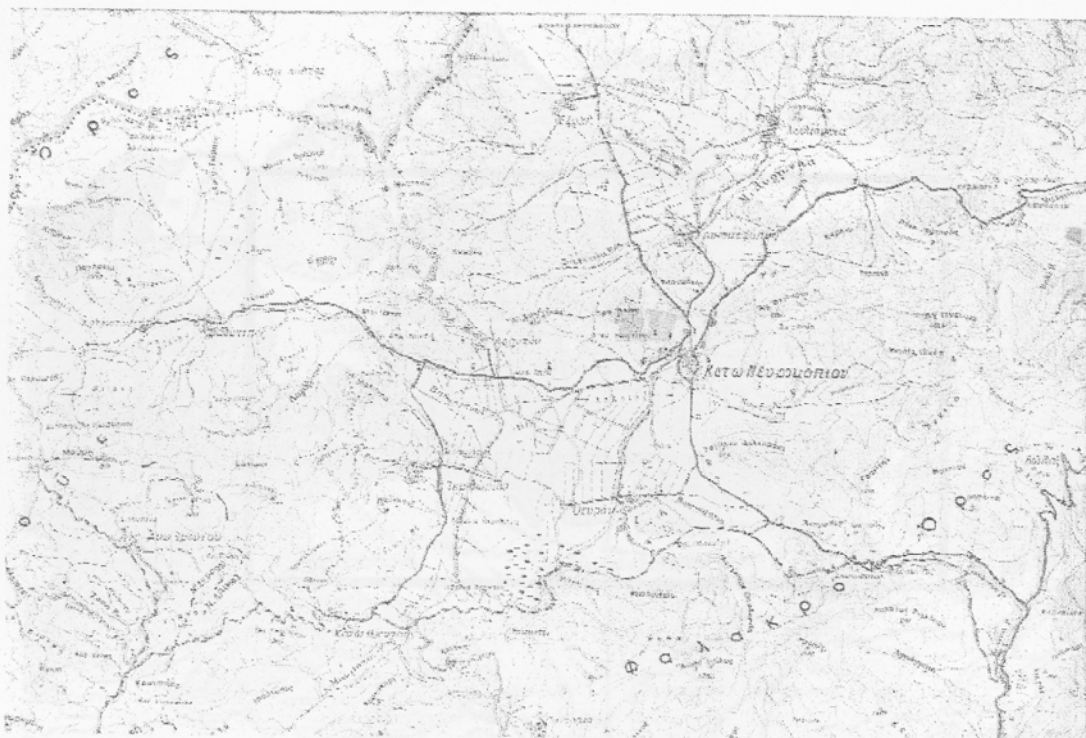
Η οπτική ερμηνεία (είτε μονοσκοπική, είτε στερεοσκοπική) σε αντίθεση με την ψηφιακή ερμηνεία, έχει το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους και γι' αυτό η οπτική ερμηνεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αναγνωριστική θεματική χαρτογράφηση όταν λαμβάνονται υπ' όψη ο σχεδιασμός αγροτικής ανάπτυξης, η πίεση του χρόνου και η έλλειψη των απαιτούμενων χαρτών (κυρίως χάρτες εδαφών και χρήσης γης). Λαμβάνοντας υπόψη την καλύτερη διακριτική ικανότητα των LANDSAT – TM εικόνων (30 μέτρα), η ερμηνεία αύξησε την ακρίβεια, την αξιοπιστία, την ευκαμψία και τη συγκρίσιμότητα των δεδομένων για εδαφικές μεθόδους γεωλογικών ερευνών που γίνονταν στο παρελθόν με τις εικόνες MSS. (Silleos and Astaras, 1987).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΧΑΡΤΕΣ & ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

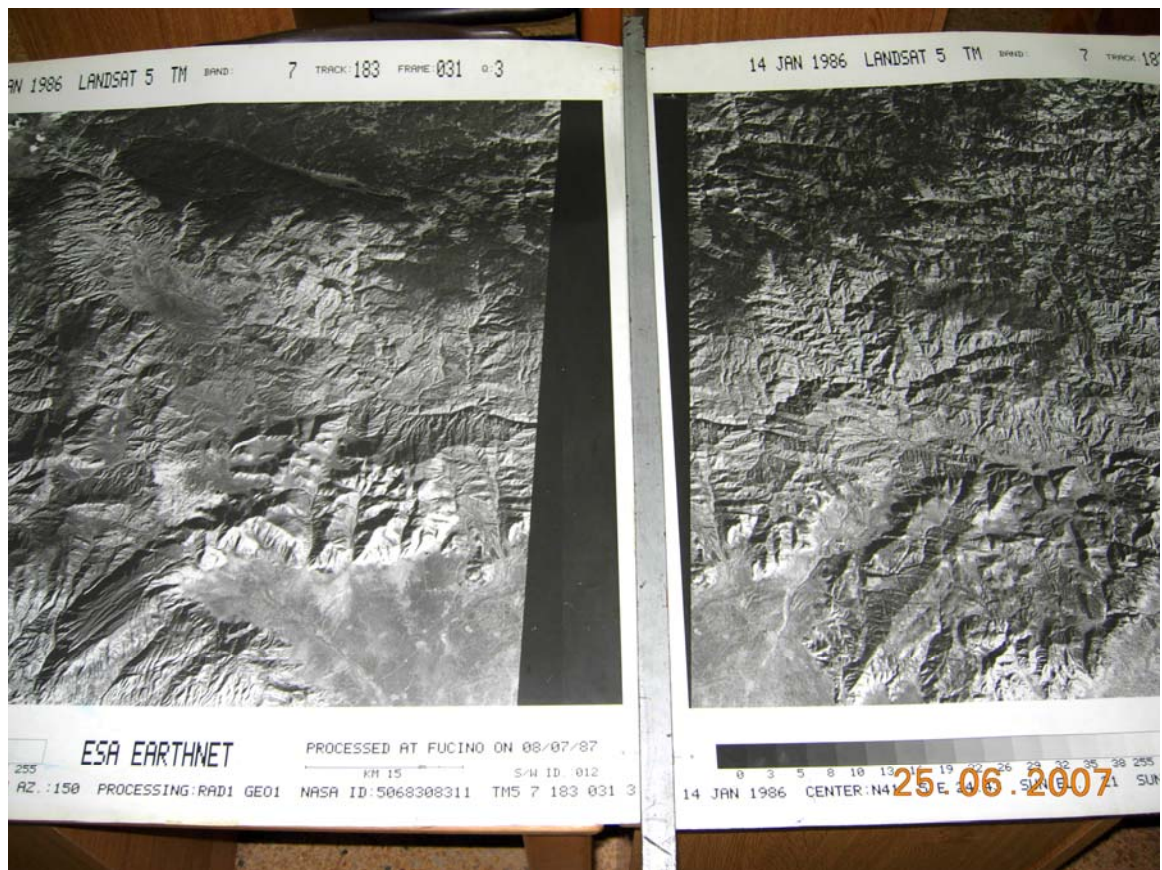


Χάρτης 1. Τοπογραφικός χάρτης Δράμας κλίμακας 1:100.000

(Γ.Υ.Σ., 1971)



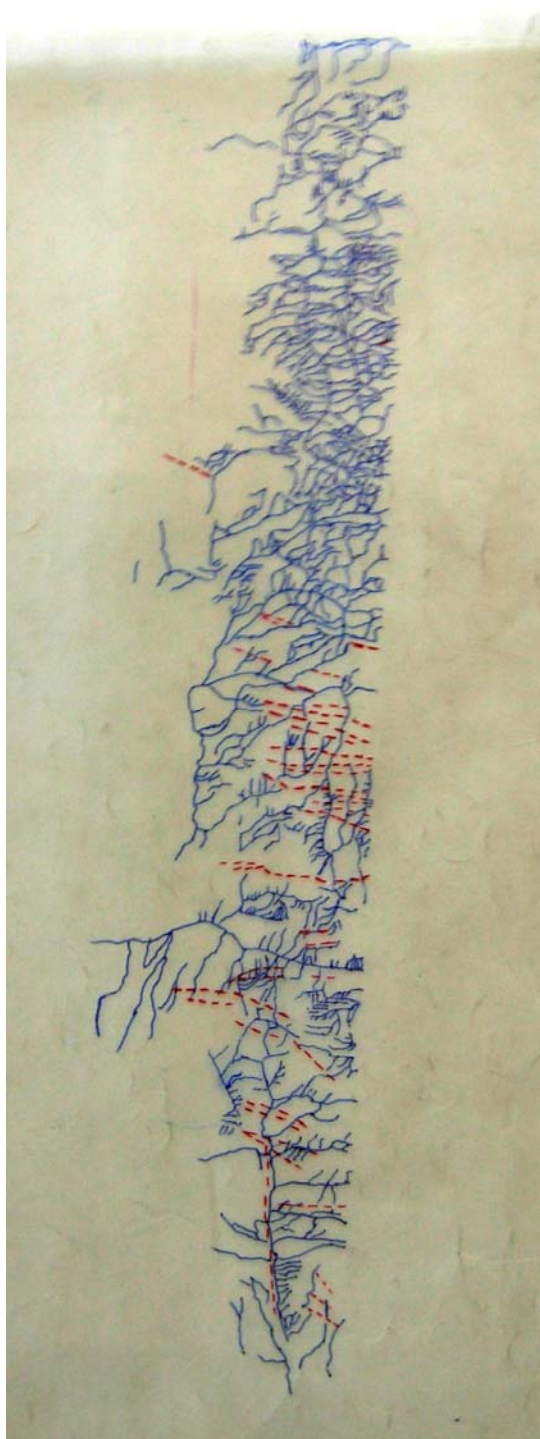
Χάρτης 2. Τοπογραφικός χάρτης Σερρών κλίμακας 1:100.000
(Γ.Υ.Σ., 1983) – Επέκταση του προηγούμενου χάρτη προς τα Δυτικά



Φωτ. 5. Διαδοχικές εικόνες TM (φασματική ζώνη 7) οι οποίες παρουσιάζουν επικάλυψη, που βοήθησε στη στερεοσκοπική παρατήρηση.



Φωτ. 6. Οι δυο εικόνες TM της φωτογραφίας 5, πάνω στις οποίες μετά από στερεοσκοπική παρατήρηση του κοινού τμήματος αυτών, τοποθετήθηκαν το υδρογραφικό δίκτυο και οι φωτογραμμώσεις. (Λεπτομέρειες βλέπε αριστερή εικόνα της παρούσης φωτογραφίας και φωτογραφία 7) .



Φωτ. 7. Υδρογραφικό δίκτυο (συνεχόμενες μπλε γραμμές) και φωτογραμμώσεις (διακεκομμένες κόκκινες γραμμές) που προήλθαν από τη στερεοσκοπική παρατήρηση του κοινού τμήματος των δύο δορυφορικών εικόνων TM.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αστάρας Θ. (1997): < Φωτοερμηνεία (Τηλεπισκόπηση) στις γεωεπιστήμες >, σελ. 94, 113, 143, 153, Α.Π.Θ., Έκδοση Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων.
- Astaras, Th.(1990) : ‘ The contribution of Landsat Thematic Mapper Imagery to geological and geomorphological reconnaissance mapping in the mountain area of Kerkini – SW part of Rhodope Massif and the surrounding plains (Hellenic – Boulgarian borders)’ , vol. 2 ,pp. 104 – 114, Geografica Rhodopica, Department of Geology – Physical Geography, Aristotle University of Thessaloniki, 54006, Thessaloniki, Greece.
- Βαβλιάκης Ε. (1981): ‘Geomorphological and morphogenetic study of planation surfaces, karstic, glacial and periglacial formations of Menikion mountain in the area of Eastern Macedonia, Greece’ . Doc. Thesis , Aristotle University of Thessaloniki, Scient. Annals, Fac. Phys. & Math . , 21 (18), 192 p.(in Greek with German summary).
- Bennema,J., and Gelens, H.F., (1969): “Aerial Photo Interpretation in Soil Surveys”. In ITC Lecture Notes, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Byringh, P. (1960): “The application of aerial photography in soil surveys”. In manual of Photographic Interpretation” (Washington DC, American Society of Photogrammetry),pp 636-666.
- Γ.Υ.Σ (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού), (1971): ‘Τοπογραφικός χάρτης Δράμας ’ Κλίμακας 1:100.000 και ‘Τοπογραφικός χάρτης Σερρών’, κλίμακας 1:100.000.
- Goosen. P., (1967): “Aerial Photo Interpretation in Soil Surveys” Rome: FAO
- Δομακίνης Χ. (2002) : < Χρήση των δορυφορικών θερμογραφημάτων στη διαχρονική παρακολούθηση του περιβάλλοντος με έμφαση στη Γεωλογία., Α.Π.Θ
- ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνων),(2002) : < Εισαγωγή στη Φωτογεωλογία-Πιλοτική εφαρμογή ερμηνείας αεροφωτογραφιών>.
- Μαλκόπουλος Χ. (2003): < Εντοπισμός υδρογραφικού δικτύου και ρηγμάτων μιας περιοχής στην κεντρική Μακεδονία με τη βοήθεια των φωτογραμμώσεων εξαγόμενων από ΤΜ εικόνες>. Διπλωματική εργασία του τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας.
- Μουντράκης Δ. (1985) :< Γεωλογία της Ελλάδας >,Α.Π.Θ.

Nyberg, R., (1980): "Mapping of landforms from stereoscopic Landsat imagery", Geografiska Annaler A, 62, 219-227.

Sabins, F.(1978): ' Remote Sensing Principles and Interpretation', pp.92-94, Third Edition , University of California , Los Angeles.

Silleos,N. and Astaras,Th.(1987): 'Terrain resources surveys by visual monoscopic and stereoscopic interpretation of FGEOS images', vol. 8, no 9, pp 1335-1384, International Journal of Remote Sensing,Thessaloniki,Greece.

Townshend, J.R.G. , (1981) : ' Terrain Analysis and Remote Sensing' , (London : Allen and Unwin), pp. 133-153.

ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

NASA (2001) : The Landsat Program, ([http:// www. Earth. Nasa.gov/ history / Landsat / landsat .html](http://www.Earth.Nasa.gov/history/Landsat/landsat.html)) .

USGS (2) (2002) : Examples of Early Remote Sensing [http:// edcwww.cr.usgs.gov/earthshots/ slow / Help- GardenCity/ Paris-Philadelphia](http://edcwww.cr.usgs.gov/earthshots/slow/Help-GardenCity/Paris-Philadelphia)).

http://www.eled.auth.gr/geography/ereynht_98.htm