

**Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ:
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ LANDSAT 5, ΤΜ ΚΑΙ SPOT/PAN
ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ**

Σ. Βασιλοπούλου

Ερευνητική Μονάδα Διαστημικών Εφαρμογών, Εργαστήριο Γεωφυσικής, Πανεπιστήμιο
Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη - Ιλίσια, Αθήνα 15784
E-Mail:vassilopoulou@space-unit.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη, δύο ψηφιακές δορυφορικές εικόνες LANDSAT 5, TM και SPOT/PAN από την περιοχή της Αργολίδας επεξεργάστηκαν, με σκοπό κυρίως τον προσδιορισμό ρηγμάτων αλλά και γενικότερα τεκτονικών και γεωλογικών επαφών και γεωμορφολογικών ενοτήτων. Οι δομές που προσδιορίστηκαν επιβεβαιώθηκαν στο ύπαιθρο και στη συνέχεια εισήχθησαν στο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών «ΠΡΩΑΝΑ» που αναπτύχθηκε για την περιοχή, ώστε αφού συσχετίστηκαν με τα υπόλοιπα δεδομένα κατασκευάστηκε ο «Χάρτης Ρηξιγενούς Ιστού» και ο «Συνθετικός Γεωλογικός Χάρτης». Οι συγκεκριμένοι χάρτες με την απαραίτητη φυσικά βάση δεδομένων που τους συνοδεύει, χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της Γεωδυναμικής Εξέλιξης της Νότιας Αργολίδας.

ABSTRACT

Two digital satellite images LANDSAT 5, TM (16/8/1991) and SPOT, Pan (16/8/1994), were processed. The main task was the image interpretation relating to the tectonic (mainly faults and other tectonic contacts), as well as geology and geomorphology. This work was made within the framework of a Doctorate thesis (Vassilopoulou, 1999), in the Faculty of Geology of the University of Athens.

The aim of this thesis was to study the recent geodynamic evolution of the Northern Argolis Peninsula based on Terrain Analysis by G.I.S development, and the use of Remote Sensing Data. A large number of data was compiled by the specific software "PROANA" based on Workstation Arc/Info. New thematic and synthetic layers and maps related to the terrain analysis, and a relational database were produced aiming to the geodynamic evolution of the Northern Argolis Peninsula (NE Peloponnese, Greece).

The Image Processing was made by the use of IMAGINE of ERDAS software package, ver. 8.2, 8.3.

This work can be divided in two steps:

- Image Preprocessing (Geometric Correction and Enhancement)
- Image Interpretation

Additional processing has been applied to the LANDSAT image concerning the combination of spectral zones, as well as the principal components analysis.

The resulting images were interpreted for the identification of faults, geological and geomorphological units. All the above features were checked in the field.

Finally the data were imported to "PROANA" for the production of various maps (i.e. Tectonic Map, Geological Map) and diagrams (rose diagrams of the faults and other statistical diagrams relating to the terrain), concerning the geodynamic evolution of the Northern Argolis Peninsula.

Conclusively, Remote Sensing and especially the digital satellite images consist a useful tool for the study of the tectonic, geology, geomorphology, morphotectonic and geodynamics of a region.

Λέξεις Κλειδιά - Keywords: Τηλεανίχνευση - Remote Sensing, Δορυφορικές Εικόνες - Satellite Images, Επεξεργασία Δορυφορικών Εικόνων - Image Processing, Ερμηνεία Δορυφορικών Εικόνων - Image Interpretation, Γεωλογία - Geology, Τεκτονική - Τεκτονική, Ανάλυση Αναγλύφου - Terrain Analysis, Geodynamics - Γεωδυναμική, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών - Geographical Information Systems.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Τηλεανίχνευση, όσον αφορά στην Γεωμορφολογία - Τεκτονική - Νεοτεκτονική αλλά και Γεωδυναμική, χρησιμοποιείται ευρέως, εφόσον βοηθά στην μελέτη μεγάλων συνήθως δομών, όπου είναι δύσκολη η παρατήρηση στο ύπαιθρο. Χρησιμοποιείται για την μελέτη υδρογραφικών δικτύων - υδροκριτών και χαρακτηριστικά τους, προσανατολισμό - χαρακτηριστικά οροσειρών, μορφολογία ακτών, ηφαιστειακών δομών (κρατήρες, ροές λάβας κ.ά), δελταϊκών αποθέσεων, αλλουβιακών αποθέσεων, γενικά διάκριση αλπικών - μεταλπικών σχηματισμών καθώς και οριοθέτηση μεταλπικών λεκανών, αναγνώριση τεκτονικών στοιχείων όπως αξόνων πτυχών, επιππεύσεων, επωθήσεων, αλλά κυρίως ρηγμάτων και περισσότερο νεοτεκτονικών.

Στην παρούσα μελέτη δύο ψηφιακές δορυφορικές εικόνες LANDSAT 5, TM και SPOT/PAN από την περιοχή της Αργολίδας επεξεργάστηκαν και ερμηνεύθηκαν με σκοπό κυρίως τον προσδιορισμό ρηγμάτων αλλά και γενικότερα τεκτονικών και γεωλογικών επαφών και γεωμορφολογικών ενοτήτων. Η επεξεργασία και ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων έγινε στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής που εκπονήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών (Βασιλοπούλου, 1999).

Στόχος της διατριβής ήταν η μελέτη της Γεωδυναμικής Εξέλιξης της Νότιας Αργολίδας, μέσω της Ανάλυσης Αναγλύφου με την ανάπτυξη Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών και την χρήση Δεδομένων Τηλεανίχνευσης. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκε το ειδικό λογισμικό «ΠΡΩΑΝΑ» («Πρωτότυπο Ανάλυσης Αναγλύφου»), προσαρμοσμένο στο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών Workstation Arc/Info, με σκοπό την διαχείριση διαφόρων ειδών δεδομένων (γεωλογικών, τεκτονικών, τοπογραφικών κ.ά), την παραγωγή αντίστοιχων θεματικών επιπέδων και χαρτών, αλλά κυρίως την αυτόματη παραγωγή θεματικών ή συνθετικών επιπέδων και χαρτών ανάλυσης αναγλύφου (Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου, Μορφολογικών Κλίσεων, Μορφολογικών Ασυνεχειών, Επιφανειών Επιπέδωσης κ.ά) και διαγραμμάτων απαραίτητων για την μελέτη της Γεωδυναμικής Εξέλιξης της περιοχής (Βασιλοπούλου, 1999, Vassilopoulou, 2001).

Οι δομές που προσδιορίστηκαν από την ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων (ρήγματα, τεκτονικές επαφές, γεωλογικά όρια, γεωμορφολογικά όρια) επιβεβαιώθηκαν στο ύπαιθρο και στη συνέχεια εισήχθησαν στο «ΠΡΩΑΝΑ», όπου διαχειρίστηκαν και συνδυάστηκαν με τα υπόλοιπα δεδομένα, για την σύνθεση χαρτών (Γεωλογικού, Ρηξιγενούς Ιστού, Μορφοτεκτονικού κ.ά) απαραίτητων για την Ανάλυση Αναγλύφου.

2. ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ - ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι ψηφιακές δορυφορικές εικόνες SPOT και LANDSAT που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Δορυφορική Εικόνα SPOT/PAN	Δορυφορική εικόνα LANDSAT 5, TM
Ημερομηνία λήψης: 16/8/1994 Όργανο καταγραφής: HRVI Ηλιακό αζιμούθιο (sun azimuth): +136.5 ⁰ Ηλιακή ανύψωση (sun elevation): 60.3 ⁰	Αποτελεί τμήμα της Δορυφορικής εικόνας με στοιχεία: Ημερομηνία λήψης: 16/8/1991 Ηλιακό αζιμούθιο: N119 ⁰ Ηλιακή ανύψωση: 52 ⁰ Επτά (7) φασματικά κανάλια

3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Η ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων έγινε μέσω του Προγράμματος ψηφιακής επεξεργασίας IMAGINE του ERDAS, ver. 8.2 και 8.3 σε περιβάλλον PC και ειδικότερα σε υπολογιστές Pentium II, 300Mhz με 256Mram. Η ψηφιακή επεξεργασία των δύο εικόνων εστιάστηκε στα δύο πρώτα στάδια (προεπεξεργασία και βελτίωση). Για την LANDSAT ακολούθησε επιπλέον η δημιουργία σύνθετων ψευδέγχρωμων εικόνων και η δημιουργία ψευδέγχρωμης εικόνας Κυρίων Συνιστωσών. Στη συνέχεια, ακολούθησε η κλασική φωτοερμηνεία, όλων των εικόνων που προέκυψαν. Η ψηφιακή ταξινόμηση, από μόνη της, όσον αφορά τη γεωλογική - λιθολογική χαρτογράφηση, έχει περιορισμένες εφαρμογές. Τελευταίο στάδιο βέβαια αποτέλεσε η επαλήθευση - επιβεβαίωση των δομών στο ύπαιθρο.

3.1. Επεξεργασία της Εικόνας SPOT

3.1.1. Προεπεξεργασία της Εικόνας

Εφόσον η εικόνα έχει ήδη υποστεί ραδιομετρικές διορθώσεις (επίπεδο απόκτησης 1A), η λειτουργία που επιχειρείται στο στάδιο αυτό είναι η γεωμετρική διόρθωση της εικόνας, ώστε να της αποδοθούν ιδιότητες χάρτη (κλίμακα, προβολικές ιδιότητες κ.λ.π.). Για τον λόγο αυτόν, γίνονται προσαρμογή και αναγωγή των συντεταγμένων και η εικόνα προβάλλεται στο χαρτογραφικό σύστημα UTM.

Η προσαρμογή και αναγωγή των συντεταγμένων βασίζεται σε επιλεγμένα εδαφικά σημεία ελέγχου (Ground Control Points - GCPs), τα οποία αναγνωρίζονται στην εικόνα σε συνδυασμό με τους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. που καλύπτουν την περιοχή αναφοράς της. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται οι τοπογραφικοί χάρτες - φύλλα: «Σπέτσες», «Υδρα», «Λυγουριό», «Κόρινθος», «Ναύπλιο», «Σοφικό» και «Άστρος», κλίμακας 1/50.000 και χρονολογίας 1989-1992.

Αρχικά, επιλέγονται πενήντα πέντε (55) εδαφικά σημεία ελέγχου, σε διασταυρώσεις δρόμων, σε πολύ κλειστές στροφές δρόμων, εκκλησίες, ακρωτήρια λιμενοβραχίονες κ.λ.π. Μέσω της διαδικασίας του μετασχηματισμού, κατά την οποία αφαιρούνται σημεία (GCPs), τα οποία δίνουν σφάλμα μεγαλύτερο από το επιτρεπτό, χρησιμοποιούνται τελικά σαράντα επτά (47) σημεία και πραγματοποιείται μετατροπή 4^{ου} βαθμού, με σφάλμα RMS = 16m (περίπου 1.5 pixel).

Στη συνέχεια, γίνεται αναδόμηση της εικόνας (resampling) με την μέθοδο της πλησιέστερης γειτονίας (nearest neighbor) και τελικά παράγεται η διορθωμένη γεωμετρικά SPOT με νέα τιμή κυψελίδας = 12m (pixel, δηλαδή χωρική διακριτική ικανότητα).

3.1.2. Βελτίωση της Εικόνας

Μετά τη γεωμετρική διόρθωση, ακολουθεί η βελτίωση της εικόνας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση εφαρμόζεται η τεχνική της γραμμικής επέκτασης του ιστογράμματος (linear contrast stretching) και στη συνέχεια βελτιώνεται η αντίθεση και η φωτεινότητα της εικόνας.

3.2. Επεξεργασία της Εικόνας LANDSAT

Αρχικά επιλέγονται και συνδυάζονται οι έξι από τις επτά φασματικές ζώνες (όλες εκτός του θερμικού υπέρυθρου, η οποία δεν είναι απαραίτητη για τη συγκεκριμένη μελέτη).

3.2.1. Προεπεξεργασία της Εικόνας

Η γεωμετρική διόρθωση των δεδομένων LANDSAT γίνεται με βάση την τεχνική «εικόνα προς εικόνα» (image to image - registration) σε σχέση με τη γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα SPOT. Στην εικόνα LANDSAT επιλέγονται GCPs αναφορικά με την SPOT, καθώς και επιπλέον σημεία, αναφορικά με τους τοπογραφικούς χάρτες της περιοχής, επειδή η SPOT καλύπτει μικρότερη περιοχή από την LANDSAT. Συνολικά επιλέγονται ογδόντα δύο (82) σημεία.

Μέσω της διαδικασίας του μετασχηματισμού κατά την οποία αφαιρούνται σημεία (GCPs), τα οποία δίνουν σφάλμα μεγαλύτερο από το επιτρεπτό, τελικά χρησιμοποιούνται εβδομήντα επτά (77) σημεία ελέγχου και στη συνέχεια πραγματοποιείται 3^{ου} βαθμού μετασχηματισμός, με σφάλμα RMS = 32m (περίπου 1 pixel).

Ακολουθεί αναδόμηση της εικόνας με την μέθοδο της πλησιέστερης γειτονίας και παράγεται η γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα με νέο μέγεθος κυψελίδας 28m.

3.2.2. Βελτίωση της Εικόνας

Μετά τη γεωμετρική διόρθωση ακολουθεί η βελτίωση της εικόνας. Όπως και στην εικόνα LANDSAT έτσι και στην SPOT εφαρμόζεται η τεχνική της γραμμικής επέκτασης του ιστογράμματος και στη συνέχεια βελτιώνεται η αντίθεση και η φωτεινότητα της εικόνας.

3.3.3. Δημιουργία Σύνθετων Ψευδέγχρωμων Εικόνων

Διάφοροι συνδυασμοί των φασματικών καναλιών του θεματικού Χαρτογράφου μπορούν να επιλεγθούν και να παράγουν σύνθετα χρωματικά αποτελέσματα. Επίσης διάφορα χρωματικοί τόνοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναδείξουν τα ζητούμενα χαρακτηριστικά.

Στην εργασία δημιουργούνται οι παρακάτω συνδυασμοί: 7-3-2 (RGB), 7-5-3 (RGB), 7-5-1 (RGB), 4-7-2 (RGB).

Ειδικά η εικόνα που προκύπτει από τον συνδυασμό 4-7-2 (εικ. 1, 2, 3) αποδίδει το μέγιστο εύρος χρωματικών υπογραφών και θεωρείται ο ιδανικός συνδυασμός για γεωλογικές εφαρμογές σε ημίξερους περιοχές (Sabins, 1997).

Στην συγκεκριμένη εικόνα διακρίνονται περιοχές έντονου ανάγλυφου και λεκάνες με διάφορους καλυμματικούς τύπους, όπως γυμνά εδάφη και πετρώματα, θαμνώδεις εκτάσεις, πυκνή φυσική βλάστηση, καλλιέργειες κ.λ.π. Τα γυμνά πετρώματα και εδάφη εμφανίζονται με πράσινες αποχρώσεις ως και λευκές (περιοχές έντονα διαβρωμένες). Οι καλλιέργειες και η φυσική βλάστηση παρουσιάζονται με αποχρώσεις του ερυθρού.

3.3.4. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία έχει ως σκοπό την μείωση του αριθμού των δεδομένων, στην περίπτωση των πολυφασματικών δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα διατηρείται το σύνολο σχεδόν της πληροφορίας των αρχικών δεδομένων, μέσω της δημιουργίας ενός ανυσματικού διαστήματος με τόσους άξονες ή διαστάσεις όσες είναι οι φασματικές συνιστώσες (φασματικά κανάλια) που συνδέονται με κάθε κυψελίδα της εικόνας.

Στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιούνται όλα τα φασματικά κανάλια πλην του θερμικού υπέρυθρου (φασματικό κανάλι 6), επομένως το ανυσματικό διάστημα που προκύπτει έχει 6 διαστάσεις. Στον ΠΙΝΑΚΑ I δίδονται οι ιδιοτιμές, ενώ στον ΠΙΝΑΚΑ II δίδονται τα ιδιοδιανύσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία για την μετατροπή σε Κύριες Συνιστώσες.

Παρατηρώντας τον πίνακα των ιδιοτιμών (ΠΙΝΑΚΑΣ I), συμπεραίνεται σχετικά με το ποσοστό της πληροφορίας των αρχικών δεδομένων που περιέχεται στις διάφορες συνιστώσες. Συγκεκριμένα, η πρώτη συνιστώσα περιέχει το 88% της πληροφορίας, η δεύτερη το 9,4%, ενώ στις υπόλοιπες συνιστώσες το ποσοστό είναι μικρότερο από το 1,5%. Το γεγονός ότι οι τελευταίες συνιστώσες έχουν μικρό ποσοστό πληροφορίας, δεν σημαίνει ότι δεν είναι σημαντικές και ότι δεν αξιολογούνται. Αντίθετα συχνά περιέχουν πληροφορία συγκεκριμένη και εμφανή στην εικόνα.

Από τον πίνακα των ιδιοδιανυσμάτων (ΠΙΝΑΚΑΣ II) συμπεραίνεται η συνεισφορά των αρχικών φασματικών καναλιών σε κάθε μια συνιστώσα ξεχωριστά. Διακρίνεται επίσης ότι:

Η συνιστώσα PC1 έχει θετική συνεισφορά από όλα τα αρχικά φασματικά κανάλια με χαμηλότερη τιμή (0,21) από το κανάλι TM2 και υψηλότερη τιμή συνεισφοράς (0,67) από το TM5.

Η συνιστώσα PC2 έχει θετικές και αρνητικές συνεισφορές. Έχει αρνητικές συνεισφορές από τα κανάλια της ορατής ακτινοβολίας με μέγιστη αρνητική συνεισφορά (-0,80) από το TM1 και θετική από τα κανάλια της υπέρυθρης με μέγιστη θετική συνεισφορά (0,40) από το TM5.

Η συνιστώσα PC3 έχει θετικές και αρνητικές συνεισφορές. Αρνητικές έχει από τα κανάλια TM2, TM3 και TM4 και θετική από τα κανάλια TM1, TM5 και TM7.

Η συνιστώσα PC4 έχει αρνητική συνεισφορά από τα κανάλια TM2, TM3 και TM7 και θετική από τα κανάλια TM1, TM4 και TM5.

Η συνιστώσα PC5 έχει αρνητική συνεισφορά μόνο από ένα φασματικό κανάλι και συγκεκριμένα το TM3 με (-0,41), ενώ όλα τα άλλα συνεισφέρουν θετικά με χαρακτηριστικότερη τιμή αυτή του TM7 με (0,79).

Η συνιστώσα PC6 δέχεται αρνητική συνεισφορά από τα κανάλια TM2 και TM5 και θετική από τα υπόλοιπα.

Η οπτική συγκριτική μελέτη των διαφόρων συνδυασμών των συνιστωσών δείχνει ότι ο συνδυασμός 6-3-1 είναι ο καταλληλότερος, για την συγκεκριμένη περίπτωση.

Η συνιστώσα PC1 δεν περιέχει συγκεκριμένη φασματική πληροφορία, έχει χαρακτηριστικά πανχρωματικής εικόνας και δίδονται πληροφορίες σχετικά με την τοπογραφία. Η συνιστώσα PC3 αφορά σε πληροφορία σχετικά με τους καλυμματικούς τύπους της περιοχής (π.χ. κατανομή της βλάστησης), ενώ η PC6 αν και περιέχει σε μεγάλο βαθμό «θόρυβο», η συνεισφορά από τα φασματικά κανάλια 2 και 3 θεωρείται σημαντική τόσο για τους καλυμματικούς τύπους, όσο και για την ανάδειξη του υδρογραφικού δικτύου.

Συμπερασματικά, στο συνδυασμό 6-3-1, καταγράφονται με μεγάλη ευκρίνεια τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, το υδρογραφικό δίκτυο και οι καλυμματικοί τύποι, χαρακτηριστικά τα οποία αποτελούν άμεσα ή έμμεσα κριτήρια αναγνώρισης δομών.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι. Πίνακας Ιδιοτιμών

PC1	5093,51788056005	88%
PC2	546,479100123459	9,4%
PC3	85,6531488105217	1,47
PC4	56,08028728549544	0,96
PC5	5,487216685650998	0,09
PC6	4,506993187638768	0,07

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ. Πίνακας Ιδιοδιανυσμάτων

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
TM 1	0,27986834 83296997	- 0,80322412726 86298	0,350265802227 3335	0,386768594753 3453	0,01430033144 890078	0,0634360418 0467299
TM 2	0,21749136 04261882	- 0,30788557290 83484	- 0,346168917588 2385	- 0,370017893795 6445	0,22627993853 76432	- 0,7415896508 985118
TM 3	0,33877938 05875961	- 0,24706599261 76674	- 0,261546011708 6974	- 0,586493212749 4364	- 0,41397961640 53238	0,4903337627 933627
TM 4	0,42951180 50057744	0,12819903699 66671	- 0,681408530959 1379	0,541787523138 5622	0,12627448123 30969	0,1590222166 019843
TM 5	0,67759484 50723359	0,40613027476 71642	0,406631667720 9038	0,045474456341 62317	0,35270284063 82624	- 0,2900118836 955349
TM 7	0,34056509 26385943	0,13273687313 99355	0,243737015629 6144	- 0,271883941001 3944	0,79804086907 82749	0,3101588323 740999

4. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΔΟΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ – ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΟΜΩΝ

4.1. Φωτοερμηνεία

Οι δορυφορικές εικόνες LANDSAT και SPOT επεξεργάστηκαν προκειμένου να αναγνωρισθούν κάποια γεωλογικά, γεωμορφολογικά και τεκτονικά όρια αλλά κυρίως ρήγματα. Ο προσδιορισμός των παραπάνω δομών επιτυγχάνεται μέσω της φωτοερμηνείας.

Τα σημαντικότερα διαγνωστικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση των εικόνων και τα οποία χρησιμοποιούνται γενικότερα από τους γεωλόγους - γεωεπιστήμονες (Astaras, 1990, Αστάρας, 1998, Μιγκίρος κ.αλ. 1995,) είναι:

- Απόχρωση - Χρωματική φωτεινότητα: σχετίζεται με την ένταση, με την οποία το φως ανακλάται από ένα αντικείμενο.
- Υφή: που δείχνει το συσχετισμό των αλλαγών αποχρώσεων των pixels μιας εικόνας.
- Αντίθεση: η σχέση απόχρωσης μεταξύ ενός αντικειμένου και του γύρω περιβάλλοντος.
- Πρότυπο: η επαναληψιμότητα των αποχρώσεων μιας εικόνας, δηλαδή, περιγράφει την χωρική κατανομή των στοιχείων που ενδιαφέρουν κάθε φορά.
- Σχήμα και Μέγεθος: το σχήμα σχετίζεται με τη γενική μορφή, το περίγραμμα ενός αντικειμένου, ενώ το μέγεθος σχετίζεται με την διάσταση της επιφάνειάς του.

4.2. Προσδιορισμός Γεωλογικών και Γεωμορφολογικών Ενοτήτων

Η περιοχή μελέτης, αποτελείται από αλπικούς σχηματισμούς (σερπεντινίτες, ασβεστόλιθους, φλύσχη) και από μεταλπικούς (κροκαλοπαγή, πλευρικά κορήματα - κώνους κορημάτων, αλλούβια). Η διαφορετική λιθολογία προσδίδει διαφορετική οπτική εικόνα έτσι ώστε σε κάποιους σχηματισμούς είναι ευκολότερη η διάκριση - αναγνώριση των ορίων τους ενώ σε άλλες δυσκολότερη.

Η φωτοερμηνεία, φυσικά, γίνεται από την οθόνη του υπολογιστή όπου επιτυγχάνονται εύκολα η αλλαγή της κλίμακας καθώς και οι συνδυασμοί των διαφόρων φασματικών καναλιών (όσον αφορά στην LANDSAT). Οι συνδυασμοί 7-3-2, 4-7-2, 7-5-3

και 7-5-1 των καναλιών της LANDSAT, κάνουν ευκολότερη την διάκριση των δομών, όπως προαναφέρθηκε. Χρησιμοποιείται επίσης η εικόνα Κυρίων Συνιστωσών, καθώς και η εικόνα SPOT.

Αρχικά, επιχειρείται η φωτοερμηνεία των εικόνων της Νότιας Αργολίδας, όσον αφορά στην διάκριση γεωλογικών σχηματισμών και γεωμορφολογικών ενοτήτων. Ειδικότερα επιτυγχάνεται:

- Διάκριση - οριοθέτηση αλπικών - μεταλπικών σχηματισμών
- Διάκριση - οριοθέτηση των επιμέρους σχηματισμών και κυρίως των κώνων κορημάτων, πλευρικών κορημάτων και αλλουβίων.

Τα δεδομένα που προκύπτουν από την φωτοερμηνεία, ψηφιοποιούνται απευθείας από την οθόνη του υπολογιστή σε συγκεκριμένο θεματικό ανυσματικό επίπεδο. Στη συνέχεια, εισάγονται στο «ΠΡΩΑΝΑ», συσχετίζονται με τα υπόλοιπα δεδομένα (πεδίου και βιβλιογραφικά) και τελικά παράγεται ο «Γεωλογικός Χάρτης της Νότιας Αργολίδας».

4.3. Προσδιορισμός Πιθανών Ρηγμάτων

Προκειμένου να προσδιορισθούν πιθανά ρήγματα και όχι απλά και μόνο φωτογραμμώσεις (lineaments), χρησιμοποιούνται επιπλέον κριτήρια φωτοερμηνείας. Χρησιμοποιούνται κυρίως κριτήρια νεοτεκτονικής, με αποτέλεσμα την διάκριση κυρίως νεοτεκτονικών ρηγμάτων, δηλαδή ενεργών και σεισμικών. Φυσικά η επιβεβαίωση στο ύπαιθρο είναι απαραίτητη. Έτσι, τα περισσότερα από τα ρήγματα που προσδιορίστηκαν από την ερμηνεία των εικόνων επιβεβαιώθηκε ότι είναι πράγματι ρήγματα, κάποια ήταν αλπικές τεκτονικές επαφές ενώ ελάχιστα ήταν άλλου γεωμορφολογικού χαρακτήρα δομές.

Ο Gupta (1991), αναφέρει κριτήρια για την διάκριση των ρηγμάτων και σημειώνει πως είναι πιο εύκολο να διακριθούν ρήγματα με μεγάλη κλίση - ως κατακόρυφα, παρά με μικρή κλίση. Τα κριτήρια που δίνει είναι ως εξής:

- Μετατόπιση γεωλογικού στρώματος ή ορίζοντα κλειδί
- Απότομη διακοπή στρώματος
- Παρατήρηση κάμψης στρωμάτων
- Παρουσία απότομης κατωφέρειας - γκρεμού (μορφολογικές ασυνέχειες)
- Παρουσία τριγωνικών επιφανειών
- Τοπογραφία σε ευθύγραμμη διάταξη
- Απότομες στροφές υδρογραφικού δικτύου
- Ευθύγραμμη διάταξη μικρών λιμνών ή κλειστών κοιλοτήτων
- Ευθύγραμμη διάταξη πηγών
- Ευθύγραμμη διάταξη βλάστησης
- Ευθύγραμμη διάταξη ποταμών
- Απότομες κλίσεις από χείμαρρους - μορφολογικές ασυνέχειες
- Διάσπαση - διαμελισμός ρεμάτων και κοιλάδων

Η φωτοερμηνεία, φυσικά, γίνεται από την οθόνη του υπολογιστή όπως και για τον προσδιορισμό γεωλογικών επαφών, στις ίδιες εικόνες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

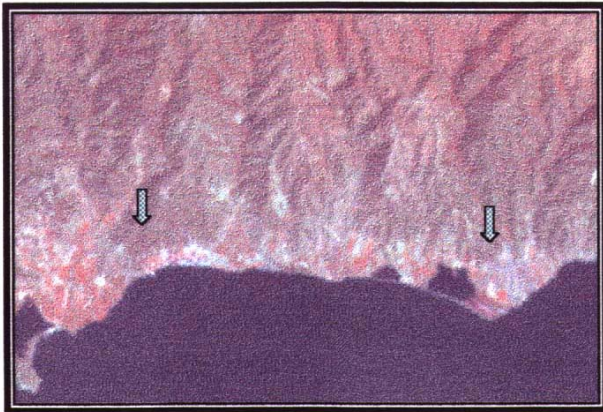
Στην οθόνη του υπολογιστή υπάρχει η επιθυμητή κάθε φορά εικόνα. Οι δομές αναγνωρίζονται με βάση μεμονωμένων ή συνδυασμό κριτηρίων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι εικόνες που παραθέτονται (Εικ. 1, 2), όπου τα πιθανά ρήγματα αναγνωρίζονται είτε από την πλευρική μετατόπιση γεωμορφών, είτε με την εκδήλωση μορφολογικών ασυνεχειών, είτε από την παρουσία κώνων κορημάτων, λιμνοθαλασσών, αλλουβίων ή και απότομων ακτών.

Η ψηφιοποίηση των πιθανών ρηγμάτων πραγματοποιείται επί της οθόνης, σε συγκεκριμένο θεματικό ανυσματικό επίπεδο. Τα δεδομένα που προκύπτουν, εισάγονται στο «ΠΡΩΑΝΑ» ώστε παράγεται ο «Χάρτης Πιθανών Ρηγμάτων της Νότιας Αργολίδας με βάση την Ερμηνεία Δορυφορικών Εικόνων».

Τέλος, τα δεδομένα της φωτοερμηνείας (πιθανά ρήγματα) συνδυάζονται με τα υπόλοιπα δεδομένα μέσα από το «ΠΡΩΑΝΑ», ώστε προκύπτει ο «Χάρτης Ρηξιγενούς Ιστού της Νότιας Αργολίδας» (Εικ. 3), καθώς και ροδογράμματα και άλλα στατιστικά διαγράμματα, απαραίτητα για την μελέτη της Γεωδυναμικής Εξέλιξης της περιοχής.



Εικ.1. Τμήμα της Δορυφορικής Εικόνας LANDSAT 5, TM, Ψευδέγχρωμης, 4-7-2 (RGB), Νότιας Αργολίδας. Διακρίνονται ίχνη ρηγμάτων (διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ), τα οποία αναγνωρίζονται είτε από την πλευρική μετατόπιση γεωμορφών, είτε με την εκδήλωση μορφολογικών ασυνεχειών. Τα βέλη δείχνουν τη θέση που διέρχονται τα ρήγματα.
Part of the LANDSAT 5, TM, satellite image, false color composite, 4-7-2 (RGB), of Northern Argolis Peninsula. Faults with direction of NW-SE and NE-SW are observed. They are recognized by the side move of the geomorphological features or morphological discontinuities. The arrows indicate the fault lines.



Εικ.2. Τμήμα της Δορυφορικής Εικόνας LANDSAT 5, TM, Ψευδέγχρωμης, 4-7-2 (RGB), Νότιας Αργολίδας. Κατά μήκος της νότιας ακτής των Αδέρων παρατηρείται Ρήγμα παράλληλο με την ακτή. Κατά μήκος αυτού παρουσιάζονται κώνοι κορημάτων, λιμνοθάλασσες και αλλούβια ή απότομες ακτιές. Τα βέλη δείχνουν τη θέση που διέρχεται το ρήγμα.
Part of the LANDSAT 5, TM, satellite image, false color composite, 4-7-2 (RGB), of Northern Argolis Peninsula. Along the northern coastline of Adheres Mountain, a fault parallel to the coastline is observed. Along the fault, scree, lagoons, alluvials and steep coastline can be viewed. The arrows indicate the fault line.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

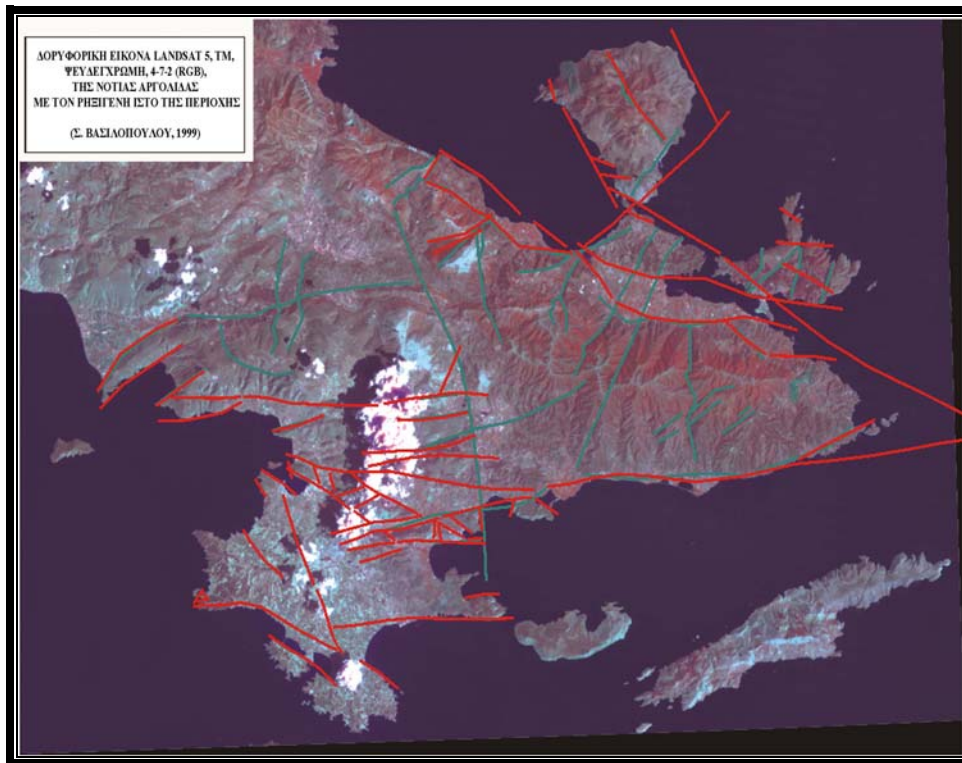
Προκειμένου να δοθεί η Γεωδυναμική Εξέλιξη μιας περιοχής, πλήθος δεδομένων μελετώνται όπως: γεωλογικά, τεκτονικά, μορφοτεκτονικά, γεωφυσικά, σεισμολογικά, δεδομένα τηλεανίχνευσης κ.ά.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, της μελέτης της Γεωδυναμικής Εξέλιξης της Νότιας Αργολίδας, μέσω της Ανάλυσης Αναγλύφου με την ανάπτυξη Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών και την χρήση Δεδομένων Τηλεανίχνευσης, συγκεντρώθηκαν - εισήχθησαν και επεξεργάστηκαν στο ειδικό λογισμικό «ΠΡΩΑΝΑ», που αναπτύχθηκε για την περιοχή, πλήθος και διαφόρων ειδών δεδομένα, όπως: γεωλογικά, τεκτονικά, μορφοτεκτονικά, τοπογραφικά και τηλεανίχνευσης.

Χρήσιμη στάθηκε η πληροφορία που αποκτήθηκε από την επεξεργασία και ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων LANDSAT 5, TM και SPOT/PAN, η οποία αφορούσε στον προσδιορισμό ρηγμάτων (κυρίως νεοτεκτονικών), τεκτονικών και γεωλογικών επαφών αλλά και γεωμορφολογικών ενοτήτων.

Αποτέλεσμα της διαχείρισης των πολυθεματικών δεδομένων, ήταν η παραγωγή θεματικών και συνθετικών χαρτών όπως: «Χάρτης Ρηξιγενούς Ιστού», «Συνθετικός Γεωλογικός Χάρτης», «Χάρτης Ανάλυσης Αναγλύφου» κ.ά. (λεπτομέρειες βλ. διδακτορική διατριβή Βασιλοπούλου, 1999), με την κατάλληλα δομημένη βάση δεδομένων, καθώς και ροδογραμμάτων και άλλων στατιστικών διαγραμμάτων, απαραίτητων για την Ανάλυση Αναγλύφου της Νότιας Αργολίδας, στην οποία θα βασισθεί η μελέτη της Γεωδυναμικής Εξέλιξης της περιοχής.

Με την παρούσα μελέτη για μια ακόμη φορά αποδεικνύεται πως η Τηλεανίχνευση, μέρος των «Νέων Τεχνολογιών», αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τις Γεωεπιστήμες γενικότερα αλλά και για την Γεωδυναμική μελέτη μιας περιοχής ειδικότερα.



6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αστάρης, Θ., (1998). - Φωτοερμηνεία (Τηλεπισκόπηση) στις Γεωεπιστήμες. Πανεπ. Σημειώσεις. ΑΠΘ, Τμ. Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας και Φυσικής Γεωγραφίας.
- Astaras, Th., (1990). - The contribution of Landsat Thematic Mapper Imagery to the Geological and Geomorphological Reconnaissance Mapping in the Mountain Area of Kerkini - SW Part of Rhodope Massif and the Surrounding Plains (Hellenic - Bulgarian Borders). *Geographica Rhodopica*, vol. 2, p.105-114.
- Βασιλοπούλου, Σ. (1999). - Συμβολή στη Γεωδυναμική της Αργολίδας με την Ανάπτυξη Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (G.I.S.) και τη Χρήση Δεδομένων Τηλεανίχνευσης. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, σ.194.
- Gupta, P.R. (1991). - Remote Sensing in Geology. Springer-Verlag, 356.
- Μιγκίρος, Γ., Παυλόπουλος Α. & Παρχαρίδης Ισ., (1995). - Τηλεπισκόπηση-Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες. Πανεπ. Σημειώσεις, Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, ΓΠΑ, Αθήνα.
- Richards, J. (1993). - Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer-Verlag, p. 340.
- Sabins, F.F. (1997). - Remote sending: (Principles and interpretation) W.H.Freeman and company, N. York. p. 495.
- Τοπογραφικοί Χάρτες της ΓΥΣ, φύλλα: «Άστρος», «Κόρινθος», «Λυγουριό», «Ναύπλιο», «Σοφικό», «Σπέτσες», «Υδρα», κλίμακας 1/50.000, περιόδου 1989-1992.
- Vassilopoulou, S. (2001). - "PROANA" A Useful Software for Terrain Analysis and Geoenvironmental Applications - Study Case on the Geodynamic Evolution of Argolis Peninsula, Greece. Proc. 20th International Cartographic Conference, Beijing, China, pp. 3432-3440.