

ΧΡΗΣΗ GIS ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΑΦΡΟΥ ΣΗΤΕΙΑΣ

Ρόκος Ε.¹, Ανδρώνης Β.²

¹ Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Τμήμα Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Ηρώων
Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφος

² Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Ηρώων
Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή που μέρος της είναι τμήμα της διδακτορικής διατριβής του πρώτου συγγραφέα, αξιοποιεί στοιχεία με αντικείμενο τη γεωλογική και υδρογεωλογική έρευνα της ευρύτερης περιοχής της τεκτονικής τάφρου Σητείας με χρήση γεωλογικών, υδρογεωλογικών και τηλεπισκοπικών μεθόδων και τεχνικών. Στην κατεύθυνση αυτή αναπτύχθηκε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών στο οποίο εντάχθηκαν τα σχετικά με την έρευνα επίπεδα πληροφορίας προκειμένου να μπορούν να συσχετισθούν κατάλληλα, με στόχο την ολοκλήρωση των πορισμάτων των γεωλογικών και υδρογεωλογικών μεθόδων, των σχετικών επί τόπου εργασιών, μετρήσεων και εκτιμήσεων, με τη βοήθεια των πραγματικών δυνατοτήτων της ανάλυσης (ερμηνείας) των ψηφιακών επεξεργασιών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Ορισμένα από τα συμπεράσματα της έρευνας παρουσιάζονται σε αυτήν την εργασία.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Κρήτη ανήκει στο νότιο κλάδο του αλπικού γεωσυσκλίνου και συγκεκριμένα στο τμήμα, το οποίο αποτελεί γεωτεκτονική μετάβαση από τις Ελληνίδες στις Ταυρίδες οροσειρές (Φυτρολάκης, 1980). Χαρακτηρίζεται κυρίως από πτυχογόνο τεκτονική που επέδρασε από Βορρά προς Νότο με άξονες πτυχών που παρουσιάζουν γενική διεύθυνση Α-Δ περίπου και μεταγενέστερα από ρηγματογόνο τεκτονική η οποία συνεχίζεται έως και σήμερα. Τα συστήματα ρηγμάτων τα οποία επικρατούν έχουν διευθύνσεις Α-Δ, Β-Ν, ΒΑ-ΝΔ, και ΒΔ-ΝΑ (Βιδάκης και άλλοι, 1995).

Η ευρύτερη περιοχή της τεκτονικής τάφρου Σητείας-Καλών Νερών βρίσκεται στην Ανατολική Κρήτη και υπάγεται στο νομό Λασηθίου. Το βόρειο τμήμα βρέχεται από το Κρητικό πέλαγος και το νότιο από το Λιβυκό.

2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑ' ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Μελέτη των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής της τεκτονικής τάφρου Σητείας

Η μελέτη των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής της έρευνας πραγματοποιείται με βάση τη σχετική βιβλιογραφία, τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ, τις δικές μας επιτόπου έρευνες, τις απογραφές των θέσεων εμφάνισης υπογείων νερών (πηγές, γεωτρήσεις, φρέατα), τις σχετικές μετρήσεις και εκτιμήσεις καθώς και τη δημιουργία βάσης δεδομένων, σε ψηφιακή μορφή, με τις απαραίτητες για την έρευνα, πληροφορίες. Στη διαδικασία αυτή αξιοποιήθηκαν ειδικές ψηφιακές μέθοδοι και λογισμικά για την ψηφιοποίηση των υφιστάμενων γεωλογικών χαρτογραφιών. Χρησιμοποιήθηκε το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ) Arc/Info 8.0 και οι επί μέρους πληροφορίες εισήχθησαν ως διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας (layers) στο ΓΣΠ. Χρησιμοποιήθηκε επίσης το λογισμικό επεξεργασίας ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων ER Mapper

(version 6.2). Δημιουργήθηκαν α) ψηφιακός γεωλογικός χάρτης (σχ.1) με ψηφιοποίηση του αναλογικού γεωλογικού χάρτη Σητείας – Λιθινών, των Βιδάκη – Μυλωνάκη της Διεύθυνσης Γενικής Γεωλογίας και Γεωλογικών Χαρτογραφήσεων του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, κλίμακας 1:25.000 και β) ψηφιακός υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής έρευνας (σχ. 2), με βάση τις επίγειες παρατηρήσεις και τη σχετική βιβλιογραφία (Καλλέρης, 1993).

2.2. Εργασίες υπαίθρου

Κατά τη διετία 1998-2000, πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της έρευνας συστηματικές εργασίες υπαίθρου με σκοπό την απογραφή των σημείων νερού (γεωτρήσεις, φρέατα, πηγές) και τη συλλογή όσο το δυνατόν περισσότερων σχετικών πρωτογενών στοιχείων. Συγκεντρώθηκαν στοιχεία για την παροχή, τις λιθολογικές στήλες, της στάθμης του υπογείου νερού, την ποιότητα του υπογείου νερού καθώς και για τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Τα σημεία νερού τοποθετήθηκαν σε τοπογραφικά διαγράμματα 1:5.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, ενώ υπολογίστηκαν και τα υψόμετρα τους με ακρίβεια ενός μέτρου περίπου (εκτός από ορισμένα σημεία για τα οποία είχε στο παρελθόν πραγματοποιηθεί από διάφορους φορείς χωροστάθμηση με ακρίβεια εκατοστού). Επίσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης ηρεμίας σε δύο περιόδους (υψηλής και χαμηλής στάθμης, του έτους 1999). Με τις πληροφορίες αυτές δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων μέρος της οποίας παρουσιάζεται στην εργασία αυτή. Τα στοιχεία αυτά αξιοποιήθηκαν σε συνδυασμό με τη μελέτη της υφιστάμενης βιβλιογραφίας και των χαρτογραφήσεων του ΙΓΜΕ στη σύνταξη χαρτών και στην εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών για την ευρύτερη περιοχή της τεκτονικής τάφρου Σητείας- Καλών Νερών.

2.3. Θεματικά επίπεδα πληροφοριών

Τα επίπεδα πληροφοριών τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως θεματικές πληροφορίες και εισήχθησαν για να αλληλοσυσχετισθούν στο ΓΣΠ είναι τα ακόλουθα : Τοπογραφία της περιοχής, Λιθολογικές και Υδρολιθολογικές ενότητες, Τεκτονικές δομές, Γεωλογικές και Γεωμορφολογικές γραμμώσεις, Σημεία νερού (γεωτρήσεις, φρέατα, πηγές). Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής :

Ο Γεωλογικός χάρτης Σητείας του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, κλίμακας 1:50.000, με τετραγωνισμό HATT ανά 5.000 μέτρα και αρχή των συντεταγμένων το κέντρο φύλλου χάρτου Σητεία, $\varphi = 35^{\circ} 15'$, $\lambda = 2^{\circ} 15'$.

Ο Τοπογραφικός χάρτης Σητείας της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, κλίμακας 1:50.000, με τετραγωνισμό ΕΓΣΑ 87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987) ανά 5.000 μέτρα, κεντρικό μεσημβρινό $\lambda = 24^{\circ}$ και συντελεστή κλίμακας 0.9996.

Ο Χάρτης Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Σητείας - Ιεράπετρας, της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος, κλίμακας 1:100.00, με τετραγωνισμό HATT ανά 5.000 μέτρα και αρχή των συντεταγμένων το κέντρο φύλλου χάρτου Σητεία – Ιεράπετρα, $\varphi = 35^{\circ} 15'$, $\lambda = 2^{\circ} 15'$.

Τοπογραφικά Διαγράμματα της ευρύτερης περιοχής της Σητείας, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, κλίμακας 1:5.000, με τετραγωνισμό HATT ανά 500 μέτρα και αρχή των συντεταγμένων το κέντρο φύλλου χάρτου Σητεία, $\varphi = 35^{\circ} 15'$, $\lambda = 2^{\circ} 15'$.

Ο Γεωλογικός χάρτης Σητείας – Λιθινών, των Βιδάκη – Μυλωνάκη της Διεύθυνσης Γενικής Γεωλογίας και Γεωλογικών Χαρτογραφήσεων του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, κλίμακας 1:25.000, με τετραγωνισμό ΕΓΣΑ 87 ανά 2.500 μέτρα, κεντρικό μεσημβρινό $\lambda = 24^{\circ}$ και συντελεστή κλίμακας 0.9996.

Ο ψηφιακός Υδρολιθολογικός χάρτης (ο οποίος δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της έρευνας), κλίμακας 1:25.000, με τετραγωνισμό ΕΓΣΑ 87 ανά 2.500 μέτρα, κεντρικό μεσημβρινό $\lambda = 24^{\circ}$ και συντελεστή κλίμακας 0.9996.

Ο ψηφιακός Γεωλογικός χάρτης Σητείας – Λιθινών (ο οποίος δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της έρευνας), κλίμακας 1:25.000, με τετραγωνισμό ΕΓΣΑ 87 ανά 2.500 μέτρα, κεντρικό μεσημβρινό $\lambda = 24^{\circ}$ και συντελεστή κλίμακας 0.9996.

Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους το οποίο συντάχθηκε με βάση τις ισούψεις καμπύλες του τοπογραφικού χάρτη Σητείας, ισοδιάστασης 20 μέτρων.

Η Ψηφιακή Τηλεπισκοπική Απεικόνιση (Ψ.Τ.Α.) Landsat TM της 16^{ης} Νοεμβρίου 1987, με διαχωριστική / διακριτική δυνατότητα 30 μέτρων και χαρτογραφικό υπόβαθρο το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987.

Ψηφιακές επεξεργασίες (όπως περιγράφονται σε επόμενο κεφάλαιο) και παραγόμενες ΨΤΑ, με διαχωριστική / διακριτική δυνατότητα 30 μέτρων οι οποίες διορθώθηκαν γεωμετρικά και αναφέρθηκαν γεωδαιτικά με σύστημα αναφοράς το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987.

Για να εισαχθούν στο ΓΣΠ τα διατιθέμενα για την περιοχή στοιχεία, σε αναλογική (γεωλογικοί και τοπογραφικοί χάρτες και διαγράμματα και σε ψηφιακή μορφή (ψηφιοποιημένοι ή ψηφιακοί χάρτες και διαγράμματα, ψηφιοποιημένες ή ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις) υπέστησαν τις κατάλληλες και απαραίτητες κατά περίπτωση ψηφιακές μετατροπές, διαδικασίες και επεξεργασίες των raster και διανυσματικών (vector) δεδομένων.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν μετατράπηκαν :

α) σε Raster δεδομένα (σε TIFF (*.tif) και ER-Mapper (*.ers) format). Τα δεδομένα με Tagged Image File Format (TIFF) χρησιμοποιούνται κυρίως για αρχεία τα οποία προέρχονται από σάρωση αναλογικής μορφής τηλεπισκοπικών απεικονίσεων και μπορούν να περιέχουν μονοφασματικά ή πολυφασματικά δεδομένα. Συνήθως για τηλεπισκοπικές εφαρμογές παράγονται και χρησιμοποιούνται δύο τύποι : 1) μονόχρωμες εικόνες με 256 διαβαθμίσεις του γκριζου (8 bits) και 2) έγχρωμες εικόνες (R,G,B) με 256 διαβαθμίσεις αποχρώσεων για καθένα από τα τρία βασικά χρώματα (24 bits). Τέτοιου τύπου δεδομένα (έγχρωμες εικόνες) είναι όλοι οι διατιθέμενοι αναλογικοί χάρτες, οι οποίοι ψηφιοποιήθηκαν με σάρωση και μετατράπηκαν σε ψηφιακά δεδομένα (TIFF format), στον σαρωτή του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης, ως έγχρωμες εικόνες (R,G,B) με 300 dpi ανάλυση. Ίδιου τύπου δεδομένα αποτελούν και οι ψηφιοποιημένες επίγειες φωτογραφίες οι οποίες ελήφθησαν, οι οποίες μετά από σάρωση μετατράπηκαν σε ψηφιακά δεδομένα (TIFF format), ως έγχρωμες εικόνες (R,G,B) με 300 dpi ανάλυση.

Δεδομένα με ER-Mapper format (ERS (*.ers) χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για αρχεία τα οποία διαχειρίζονται με το λογισμικό αυτό. Τα αρχεία αυτά μπορούν να αποθηκεύσουν πληροφορίες όπως και τα TIFF αρχεία, αλλά και επιπλέον στοιχεία :

- για το Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς,
- για τον τύπο των συντεταγμένων οι οποίες χρησιμοποιούνται στο αρχείο (φ, λ ή χ, ψ ή Easting, Northing),
- για διανυσματικά δεδομένα τα οποία πιθανώς να περιέχονται στο αρχείο,
- για στατιστικά στοιχεία σχετικά με τα raster και τα διανυσματικά δεδομένα τα οποία περιέχει το αρχείο, εάν αυτά έχουν υπολογιστεί.

β) σε διανυσματικά (Vector) στοιχεία (σε Arc/Info (*.e00) και ER-Mapper (*.erv) format). Τα στοιχεία αυτά προέκυψαν από ψηφιοποίηση των διατιθέμενων χαρτών είτε στον ψηφιοποιητή του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης, με τη χρήση του Λογισμικού Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών Arc/Info ή στην οθόνη. Τα αρχεία τα οποία δημιουργήθηκαν με τον τρόπο αυτό, είναι πλήρως συνεργάσιμα (και μετατρέψιμα) με το λογισμικό Ψηφιακής Επεξεργασίας Τηλεπισκοπικών Απεικονίσεων ER-Mapper. Επίσης, διανυσματικά στοιχεία του Συστήματος αποτελούν τα απαραίτητα για την εργασία ψηφιοποιημένα τμήματα των τοπογραφικών διαγραμμάτων κλίμακας 1:5.000 (πηγή Γ.Υ.Σ.).

Με το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ) Arc/Info (rev. 8.0), εφοδιασμένο με το module του ArcView έγινε η χωρική ανάλυση όλων των διανυσματικού format πληροφοριών που αναφέρονται στην εργασία αυτή. Με το λογισμικό αυτό έγιναν ακόμη όλοι οι συσχετισμοί και οι επεξεργασίες των raster format πληροφοριών.

Με το Λογισμικό Επεξεργασίας Ψηφιακών Τηλεπισκοπικών Απεικονίσεων ER-Mapper (version 6.2) πραγματοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση των διαθέσιμων και απαραίτητων raster πληροφοριών οι οποίες αναφέρονται στην εργασία αυτή. Το Λογισμικό ER-Mapper αποθηκεύει μόνον τους αλγορίθμους δημιουργίας των ψηφιακών επεξεργασιών, (λίγα μόνον kbytes), με αποτέλεσμα να μην απαιτείται μεγάλος αποθηκευτικός χώρος στον Η/Υ, (όσος θα απαιτείτο εάν οι διαδικασίες αυτές σωζόταν ως εικόνες, όπως γινόταν με τα περισσότερα σχετικά λογισμικά έως σήμερα). Επίσης με τη βοήθεια του Λογισμικού αυτού, δημιουργήθηκαν τα προοπτικά τριών διαστάσεων (3D) της περιοχής, τα οποία συσχετίστηκαν με τα υπόλοιπα στοιχεία, (χωρικά, θεματικά κλπ), στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών Arc/Info.

3 Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΣΠ.

Για την διερεύνηση της συμβολής της Τηλεπισκόπησης [Curran (1985), Jensen (1986), Ρόκος (1988 και 1989)] στη μελέτη των υδρογεωλογικών και γεωλογικών συνθηκών της περιοχής της έρευνας χρησιμοποιήθηκε η δορυφορική τηλεπισκοπική απεικόνιση Landsat TM της 16^{ης} Νοεμβρίου 1987. Οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις Landsat TM διαθέτουν τρία κανάλια στην περιοχή του ορατού φωτός (1,2,3), ένα στην περιοχή του εγγύς υπερύθρου (4), δύο στην περιοχή του μέσου υπερύθρου (5,7) και ένα στην περιοχή του θερμικού υπερύθρου (6). Στην εργασία αυτή, βασικός στόχος ήταν να αναδειχθούν και να τονιστούν οι φωτογραμμώσεις οι οποίες πιθανώς αποτελούν τεκτονικές δομές (ρήγματα, ρηγιγενείς ζώνες, επωθήσεις, επιπτώσεις κλπ), με αξιοποίηση της φωτοερμηνευτικής τηλεπισκοπικής μεθοδολογίας.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν πολλά έγχρωμα και ψευδέγχρωμα σύνθετα και άλλες ψηφιακές επεξεργασίες της παραπάνω τηλεπισκοπικής απεικόνισης, έτσι ώστε να επιλεγεί το πιο κατάλληλο για τη συγκεκριμένη έρευνα. Σύμφωνα με τον Drury (1987), ο πειραματισμός με πολλές ψηφιακές επεξεργασίες, ώστε να αποκαλυφθεί ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός πληροφοριών και η πρόσβαση σε ποικιλία ερμηνειών αυτών των επεξεργασιών βοηθάει στην σταχυολόγηση των περισσότερων δυνατών στοιχείων.

Για την πλήρη αξιοποίηση των ψηφιακών επεξεργασιών της τηλεπισκοπικής απεικόνισης της περιοχής έρευνας, γράφτηκαν αλγόριθμοι στο ειδικό λογισμικό πρόγραμμα ER Mapper (version 6.2), το οποίο μπορεί να αξιοποιήσει και άλλα βοηθητικά στοιχεία σε περιβάλλον ΓΣΠ.

3.1. Ψηφιακές επεξεργασίες της τηλεπισκόπησης απεικόνισης Landsat TM της περιοχής έρευνας

Η πρώτη απαραίτητη διαδικασία (προεπεξεργασία) πριν ξεκινήσουν οι ψηφιακές επεξεργασίες η οποία πραγματοποιήθηκε ήταν η γεωμετρική διόρθωση της δορυφορικής ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης με βάση τον τοπογραφικό χάρτη 1:50.000 της περιοχής, ο οποίος αποκτήθηκε από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν 50 σημεία γεωδαιτικής αναφοράς ευδιάκριτα στην ΨΤΑ έτσι ώστε να είναι ικανοποιητική η ακρίβεια της γεωμετρικής διόρθωσης της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης και η αναγωγή της στο σύστημα ΕΓΣΑ 87.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν πολλές ψηφιακές επεξεργασίες με σκοπό να επιλεγούν οι πλέον κατάλληλες για τον εντοπισμό των φωτογραμμώσεων. Αυτές οι οποίες ξεχώρισαν μετά από δοκιμές, παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία. Η επιλογή τους έγινε με δύο κυρίως κριτήρια τις υφιστάμενες βιβλιογραφικές αναφορές και τις γεωλογικές και γεωμορφολογικές ιδιαιτερότητες τις οποίες παρουσιάζει η περιοχή.

Μια από τις βασικότερες μεθόδους ενίσχυσης των ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων με στόχο την οπτικά καλύτερη εμφάνιση τους, είναι η γραμμική ενίσχυση του τόνου με αποκοπή, η οποία χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις ψηφιακές επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν.

Σύμφωνα με τον Vincent (1997), η χρήση του θερμικού υπερύθρου καναλιού 6 του Landsat είναι δυνατόν να υποδεικνύει περιοχές οι οποίες βρίσκονται κοντά σε υπόγεια νερά, ως ανωμάλως ψυχρές ή ανωμάλως θερμές, καθώς η κανονική θερμοκρασία των υπογείων νερών όλο το χρόνο είναι περίπου 55° Fahrenheit. Η χρήση του θερμικού υπερύθρου καναλιού στην περιοχή της έρευνας δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Το ίδιο συνέβη και με τη χρήση φίλτρων. Παρά τη χρήση πολλών διαφορετικών φίλτρων δεν δόθηκε σημαντική βοήθεια στον εντοπισμό και τονισμό των φωτογραμμώσεων.

Το κανάλι 5 κρίθηκε φωτοερμηνευτικά, ως το πιο κατάλληλο για τον εντοπισμό γεωλογικών και γεωμορφολογικών φωτογραμμώσεων. Οι ψηφιακές τιμές του καναλιού 5 παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά, γεγονός το οποίο αποδεικνύει ότι εμπεριέχει περισσότερη πληροφορία. Το κανάλι 4, το οποίο είναι το κατάλληλότερο για την απεικόνιση της βλάστησης χρησιμοποιήθηκε εδώ, διότι τα όρια μεταξύ διαφορετικών τύπων βλάστησης είναι δυνατό να υποδεικνύουν τεκτονικές δομές, ή όρια γεωλογικών σχηματισμών.

Το κανάλι 1 χρησιμοποιήθηκε επίσης διότι κρίθηκε ως το πιο κατάλληλο για τον εντοπισμό γραμμικών στοιχείων τα οποία έχουν δημιουργηθεί από ανθρώπινη παρέμβαση, όπως οδικό δι-

κτυο, όρια καλλιεργειών κλπ., ώστε να μη συγχέονται με τις γεωλογικές και γεωμορφολογικές φωτογραμμώσεις.

Έτσι το ψευδέγχρωμο σύνθετο το οποίο κρίθηκε ως το πιο κατάλληλο για τον εντοπισμό φωτογραμμώσεων είναι το 5,4,1(R,G,B).

4 ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με κατάλληλες συσχετίσεις των απαραίτητων κατά περίπτωση επιπέδων θεματικών πληροφοριών, στοιχειοθετήθηκαν χρήσιμα και ουσιαστικά συμπεράσματα γεωλογικού και υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος, όπως παραδείγματος χάριν παρουσιάζονται παρακάτω:

- Με τη συσχέτιση λιθολογικών ενότητων, όπως αυτές εμφανίζονται στον ψηφιακό γεωλογικό χάρτη ο οποίος παρήχθη με υπόβαθρο τον γεωλογικό χάρτη Σητείας – Λιθινών, των Βιδάκη – Μυλωνάκη της Διεύθυνσης Γενικής Γεωλογίας και Γεωλογικών Χαρτογραφήσεων του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών και κατάλληλων ψηφιακών επεξεργασιών της ΨΤΑ είναι δυνατόν να επιβεβαιωθεί ή και να βελτιωθεί η γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής έρευνας. Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται οι συσχετίσεις της λιθολογικής ενότητας Ασβεστολίθων-Δολομιτών του τεκτονικού καλύμματος της Τρίπολης και των τεταρογενών αποθέσεων, με τις αντίστοιχες περιοχές όπως εμφανίζονται στο ψευδέγχρωμο σύνθετο 5,4,1(R,G,B) της ΨΤΑ Landsat TM της 16^{ης} Νοεμβρίου 1987. Είναι εμφανής η σχεδόν απόλυτη ταύτιση των λιθολογικών ορίων όπως απεικονίζονται στο γεωλογικό χάρτη και το καταλληλότερο όπως αποδείχθηκε ψευδέγχρωμο σύνθετο της ΨΤΑ (σχ.3, σχ.4)

- Με τη συσχέτιση (Σχ. 5) του υδρολιθολογικού χάρτη και των σημείων νερού, εξετάσθηκε η κατανομή των σημείων νερού στις υδρολιθολογικές ενότητες. Επίσης, με τη βάση δεδομένων η οποία δημιουργήθηκε από τα στοιχεία των γεωτρήσεων, φρεάτων και πηγών και τη συσχέτιση αυτών με την τεκτονική της περιοχής, εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα για τις καταλληλότερες θέσεις για τη διάνοιξη νέων γεωτρήσεων.

- Στο ψευδέγχρωμο σύνθετο 5,4,1(R,G,B) της ΨΤΑ Landsat TM της 16^{ης} Νοεμβρίου 1987 αναγνωρίσθηκαν φωτοερμηνευτικά οι γεωλογικές και γεωμορφολογικές φωτογραμμώσεις και από τον γεωμετρικά διορθωμένο γεωλογικό χάρτη 1.25.000 των Βιδάκη-Μυλωνάκη, ψηφιοποιήθηκαν τα ρήγματα της περιοχής. Δημιουργήθηκε έτσι ο χάρτης με τις φωτογραμμώσεις της περιοχής έρευνας, οι οποίες συσχετίσθηκαν με τα ρήγματα, τα οποία χαρτογραφήθηκαν με γεωλογικές μεθόδους.

Το πρώτο σημαντικό συμπέρασμα από τη συσχέτιση του χάρτη γραμμικών στοιχείων με το χάρτη των ρηγμάτων (σχ. 6), συνάγεται με τη βοήθεια της σύγκρισης των ροδοδιαγραμμάτων, τα οποία πραγματοποιήθηκαν και για τους δύο χάρτες και παρουσιάζονται στο σχ. 7.

Τα συστήματα κυρίων διευθύνσεων των γνωστών γεωλογικών ρηγμάτων είναι:

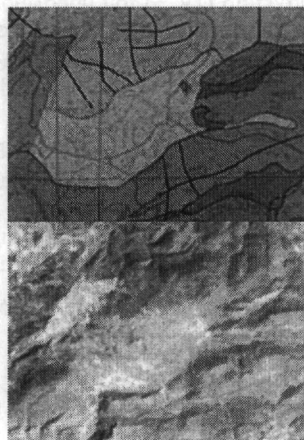
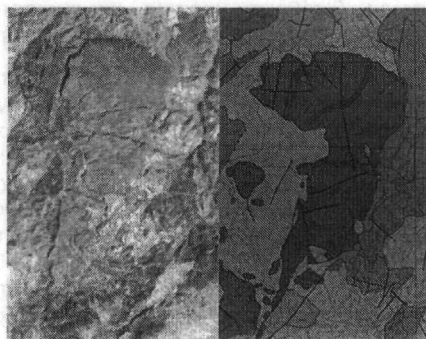
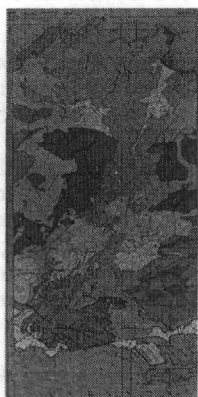
1. 35°-45° 2. 45°-55° 3. 25°-35°

Τα συστήματα κυρίων διευθύνσεων των φωτογραμμώσεων πιθανού γεωλογικού ενδιαφέροντος είναι:

1. 35°-45° 2. 85°-95° 3. 25°-35°

Είναι φανερό ότι δύο από τα τρία συστήματα κυρίων διευθύνσεων των ρηγμάτων και των φωτογραμμώσεων είναι κοινά. Αυτό αποτελεί σημαντικό συμπέρασμα το οποίο καταδεικνύει τη δυνατότητα τηλεπισκοπικής αναγνώρισης ρηγμάτων και ότι είναι πιθανόν κάποιες από τις πρόσθετες φωτογραμμώσεις να αποτελούν τεκτονικές δομές αξιοποιήσιμες στην εξέλιξη της έρευνας. Από τα παραπάνω παραδείγματα είναι εμφανής η ουσιαστική χρησιμότητα και σημασία της συσχέτισης αντιπροσωπευτικών θεματικών επιπέδων πληροφοριών η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών και μπορεί να δώσει απαντήσεις και αποτελέσματα σε σημαντικά ζητήματα ανάλυσης των γεωλογικού και υδρογεωλογικού χαρακτήρα στοιχείων της περιοχής της έρευνας.

Τέλος με την υπέρθεση του χάρτη της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής (εικόνα 8) εμφανίζονται στις τρεις διαστάσεις τους οι γεωλογικές και γεωμορφολογικές φωτογραμμώσεις της περιοχής, η τεκτονική τάφρος Σητείας και η τοπογραφία της περιοχής, στοιχεία τα οποία υποβοηθούν στην προσπάθεια ολοκλήρωσης των δυνατοτήτων των τεχνολογιών αιχμής της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη γεωλογική και υδρογεωλογική έρευνα της περιοχής, η οποία συνεχίζεται.



Σχήμα 1. Πάνω εμφανίζεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας

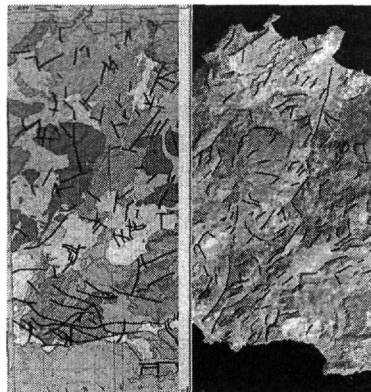
Σχήμα 2. Κάτω εμφανίζεται ο ψηφιακός υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής έρευνας

Σχήμα 3 (πάνω) Αριστερά εμφανίζεται η λιθολογική ενότητα Ασβεστολίθων δολομιτών στο ψευδέγχρωμο σύνθετο 5,4,1(R,G,B) της ΨΤΑ Landsat TM της 16^{ης} Νοεμβρίου 1987 και δεξιά παρουσιάζεται η ίδια ενότητα στον ψηφιακό γεωλογικό χάρτη Σητείας-Λιθινών.

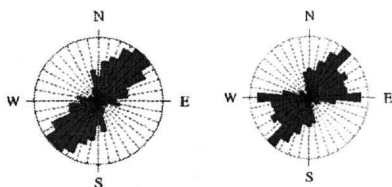
Σχήμα 4 (κάτω) Πάνω εμφανίζονται Τεταρτογενείς αποθέσεις στον ψηφιακό γεωλογικό χάρτη Σητείας – Λιθινών και κάτω παρουσιάζονται οι ίδιες αποθέσεις στο ψευδέγχρωμο σύνθετο 5,4,1(R,G,B) της ΨΤΑ Landsat TM της 16^{ης} Νοεμβρίου 1987 .



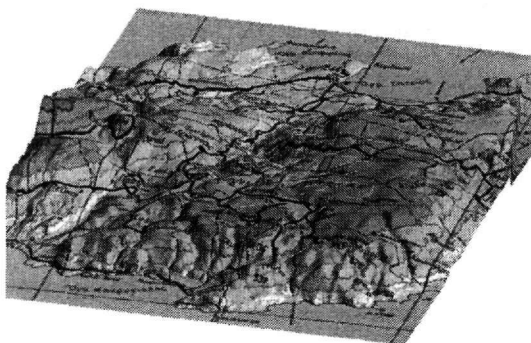
Σχήμα 5. Υδρολιθολογικός χάρτης και σημεία νερού της περιοχής



Σχήμα 6. Αριστερά εμφανίζεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας, με ψηφιοποιημένα τα ρήγματα. Δεξιά εμφανίζεται το ψευδέγχρωμο σύνθετο των καναλιών 5,4,1 (R,G,B) της ΨΤΑ Landsat 5 TM της 16^{ης} Νοεμβρίου 1987 με ψηφιοποιημένες τις φωτογραμμώσεις (lineaments) της περιοχής.



Σχήμα 7. Αριστερά εμφανίζεται το ροδοδιάγραμμα των φωτογραμμώσεων οι οποίες έχουν εντοπιστεί και ψηφιοποιηθεί από την ΨΤΑ Landsat 5 TM της 16^{ης} Νοεμβρίου 1987 έπειτα από τις κατάλληλες ψηφιακές επεξεργασίες. Δεξιά εμφανίζεται το ροδοδιάγραμμα των ρηγμάτων, όπως αυτά έχουν ψηφιοποιηθεί από το γεωλογικό χάρτη της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 8. 3-D ανάγλυφο της περιοχής έρευνας όπου στο ψηφιακό μοντέλο έχει επιτεθεί ο χάρτης της Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδας.

-  Υδροπερατοί προσχλωσιγενείς σχηματισμοί.
-  Υδροπερατοί σχηματισμοί με δυνατότητα ανάπτυξης υδροφόρων οριζόντων.
-  Επικρατούν οι υδατοστεγείς μάργες. Φτωχοί υδροφόροι οριζόντες στους υδροπερατούς σχηματισμούς.
-  Υδροπερατοί σχηματισμοί (κυρίως λόγω καρστικών διαρρήξεων). Ικανοποιητική υπόγεια υδροφορία.
-  Υδατοστεγείς σχηματισμοί.
-  Υδατοστεγείς μάργες με υπερκείμενους ασβεστολίθους εντός των οποίων αναπτύσσεται ικανοποιητική υπόγεια υδροφορία (ελεύθεροι υδροφόροι οριζόντες).
-  Πυκνές εναλλαγές λεπτοστρωματωδών υδροπερατών και υδατοστεγών σχηματισμών. Φτωχοί υπο πίεση υδροφόροι οριζόντες.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Avery, T.E. "Interpretation of Aerial Photographs." Burgess Publ., Minneapolis Minnesota, 1977.
- Βιδάκη, Μ., Μυλωνάκη, Ι. «Γεωλογικός χάρτης περιοχών Σητείας-Λιθινών», ΙΓΜΕ, 1995.
- Βιδάκη Μ., Μυλωνάκη, Ι., Παπαζέτη, Ε., Σκούρτση Κορωναίου, Β., Πομόνη Παπαιωάννου, Φ., Γαλανάκη, Δ. "Η γεωλογική δομή των περιοχών Σητείας – Λιθινών (Ανατολική Κρήτη)", Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Διεύθυνση Γεωλογίας και Γεωλογικών Χαρτογραφήσεων, Αθήνα, 1995.
- Curran, P.J. "Principles of Remote Sensing." Longman, London, 1985.
- Drury, S.A. "A Guide to Remote Sensing: Interpreting Images of the Earth." Oxford University Press, Oxford, 1990.
- Drury, S.A. "Image Interpretation in Geology." Allen and Unwin, London, 1987.
- Jensen, J.R. "Introductory digital image processing - a remote sensing perspective." Englewood Cliffs, Prentice-Hall, N.J., 1986.
- Καλλέργης, Γ.Α. «Επιχειρησιακή Υδρογεωλογία», Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 1993.
- Mostafa, M.E. and Zakir, F.A. "New enhancement techniques for azimuthal analysis of lineaments for detecting tectonic trends in and around the Afro-Arabian Shield.", Int. J. Remote Sensing, 1996, vol.17, No. 15, 2923-2943
- Ομπτεσάνοφ Ι. Κουμαντάκης, Ι., Σταματάκη Σ., Καθηγήτρια Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Τομέας Μεταλλευτικής «Καρστικές πηγές στην Ελλάδα. Αποτύπωση και αξιολόγηση με τη χρήση Φεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS)» Τεχνικά Χρονικά Μάρτιος-Απρίλιος 2004, σελ. 1-22.
- Ρόκος, Δ. "Ψηφιακές Επεξεργασίες Τηλεπισκοπικών Απεικονίσεων", Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1989.
- Ρόκος, Δ. "Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση." Ε.Μ.Π., Τ.Α.Τ.Μ., Σημειώσεις για τους σπουδαστές, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Αθήνα, 1988.
- Vincent, R.K. "Fundamentals of geological and environmental remote sensing", Prentice Hall, N.J., 1997.
- Φυτρολάκης, Ν. «Η γεωλογική δομή της Κρήτης», Διατριβή επί υφηγεσία, Αθήνα 1980.
- Φυτρολάκης, Ν., Μουρτζας, Ν. «Το καρστ και η υδροφορία της Κρήτης σε σχέση με την τεκτονική δομή», Anal.Geologie, τόμος XXXVI, σ.539-550, 1993-1995.

ABSTRACT

STRUCTURING A G.I.S. FOR THE INTEGRATED APPLICATION OF GEOLOGICAL, HYDROGEOLOGICAL AND REMOTE SENSING METHODS AND TECHNIQUES IN THE STUDY OF GROUND WATER IN THE SITIA TECTONIC GRABEN

Rokos E.¹, Andronis, V.²

¹ *Department of Geological Sciences, School of Mine Engineering-Metallurgy, NTUA, Iroon Politechniou 9, Zografos*

² *Remote sensing Laboratory, School of Surveying Engineers, NTUA, Iroon Politechniou 9, Zografos*

This paper utilizes data from the first author's doctoral research on the geological and hydrogeological study of the broader area of the Sitia tectonic graben, using geological, hydrogeological, remote sensing and G.I.S. methods and techniques. In this work a G.I.S. which has been developed to include the information levels produced in the course of the research, is presented. The information levels can thus be appropriately correlated, with the aim of integrating the results of geological and hydrogeological methods and related in situ studies and measurements with evaluations of the potential of digital processing and analysis of remotely sensed images. Some conclusions of this study are documented in the paper.