

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Γεωλογίας



Χρήση της Τηλεπισκόπησης στη γεωλογική
χαρτογράφηση και εντοπισμό κοιτασμάτων

Διπλωματική Εργασία
Της
Δημητρας Παλάντζα

Επιβλέπων Καθηγητής: κ. Δημήτρης Οικονομίδης

Τομέας: Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας.

Θεσσαλονίκη 2011

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας



**Χρήση της Τηλεπισκόπησης στη Γεωλογική
χαρτογράφηση και εντοπισμό κοιτασμάτων.**

Διπλωματική Εργασία

Της

Δήμητρας Παλάντζα

Επιβλέπων καθηγητής: κ. Δημήτρης Οικονομίδης

Τομέας: Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας.

Θεσσαλονίκη 2011



TN
270.P3
20-11
Δ/Γ
C.A

9015

HB 973309
HC, 1314519

Περιεχόμενα.

1. Εισαγωγή.....	
2. Κεφάλαιο 1. Η χρήση της τηλεπισκόπησης για τον εντοπισμό κοιτασμάτων (μεταλλικά, υδροθερμικά, υδρογονάνθρακες.).....	1
1.1 Υδροθερμική χαρτογράφηση με τη χρήση ASTER δεδομένων στα πορφυριτικά κοιτάσματα του Infiernillo, Αργεντινή.....	1
1.2 Χαρακτηρισμός της ορυκτογένεσης χρυσού στην περιοχή Garin Hawal, Kebbi State ΒΔ της Νιγηρίας με τη χρήση της τηλεπισκόπησης.....	7
1.3 Χαρτογράφηση της ορυκτολογικής εξαλλοίωσης που οφείλεται σε υδρογονάνθρακες στη βόρεια Tian Shan χρησιμοποιώντας πολυφασματικά δεδομένα Aster.....	12
1.4 Χρήση της τηλεπισκόπησης και γεωχημικών μελετών για την εύρεση εξαλλοιώσεων που οφείλονται σε υδρογονάνθρακες στην περιοχή Lisbon valley, Utah.....	17
1.5 Χαρτογράφηση των προτεροζωικών κοιτασμάτων ουρανίου στην περιοχή Rockhole, Βόρεια Επικράτεια, Αυστραλία.....	21
1.6 Διάκριση μεταξύ των σιδηρομεταλλευμάτων της νότιας χερσονήσου της Ινδίας με τη χρήση ASTER δεδομένων.....	26
3.Κεφάλαιο 2. Η χρήση της τηλεπισκόπησης στη λιθολογική χαρτογράφηση.....	31
2.1 Λιθολογική χαρτογράφηση της Κεντρικο-Ανατολικής ερήμου της Αιγύπτου με δεδομένα ASTER.....	31
2.2 Λιθολογική χαρτογράφηση της περιοχής Mountain Pass, Καλιφόρνια με τη χρήση ASTER δεδομένων.....	36
2.3 Χαρτογράφηση του οφιολιθικού συμπλέγματος Muslin Bagh με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων και δεδομένων υπαίθρου.....	40
2.4 Χρήση του Landsat 7 ETM+ για τη λιθολογική και δομική χαρτογράφηση της περιοχής Wadi Afara Heouine.....	44
4. Κεφάλαιο 3. Η χρήση της τηλεπισκόπησης στην αναγνώριση τεκτονικών δομών.	

3.1 Γεωμετρία, κινηματική και χαρακτηριστικά του τοπίου από μια ενεργή ζώνη τεκτονικής μετατόπισης της έντασης, Karakoram ρηξιγενής ζώνη, ΝΔ Θιβέτ.....	50
3.2 Επέκταση της διάρρηξης στο βόρειο παράκτιο τμήμα της Cordillera, Χιλή. Νέα στοιχεία για εξωτερική του τόξου επέκταση.....	54
3.3 Δομική και τεκτονική εξέλιξη του βυθίσματος της περιοχής El – Faiyum, ΒΔ Έρημος, Αίγυπτος. Βασισμένη στην ανάλυση με δεδομένα Landsat ETM+ και SRTM.....	56
3.4 Μια σειρά από SAR παρατηρήσεις της επιφανειακή παραμόρφωσης του νοτιότερου άκρου του ρήγματος του Αγίου- Ανδρέα.....	58

5.Βιβλιογραφία.....63

Εισαγωγή.

Η χρήση της τηλεπισκόπησης σήμερα είναι πολύ διαδεδομένη σε όλες τις γεωεπιστήμες. Ιδιαίτερα στη γεωλογία έχει συμβάλει στη βελτίωση της λιθολογικής και τεκτονικής χαρτογράφησης ενώ χρησιμοποιείται ευρύτερα και στην κοιτασματολογία για τον εντοπισμό κοιτασμάτων είτε μεταλλικών και υδροθερμικών είτε υδρογονανθράκων.

Ο στόχος της εργασίας αυτής ήταν να δείξει πως χρησιμοποιείται η τηλεπισκόπηση στο λιθολογικό/ορυκτολογικό διαχωρισμό των πετρωμάτων, στον εντοπισμό διαφόρων ειδών κοιτασμάτων και στην αναγνώριση τεκτονικών δομών. Από υλικό που συλλέχτηκε από το www.scopus.com έγινε επιλογή είτε RGB εικόνων, είτε ασπρόμαυρων στις οποίες διακρίνονταν οι τεκτονικές δομές, οι διαφορετικές λιθολογίες και τα κοιτάσματα που εντοπίζονταν σε κάθε περιοχή. Επίσης έγινε και χρήση κάποιων δεδομένων SAR στα οποία με βάση τη διαφορά φάσης εντοπίζονται οι μετατοπίσεις του αναγλύφου.

Η εργασία αυτή χωρίζεται σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος και με βάση επιστημονικές εργασίες γίνεται ανάλυση το πώς γίνεται μέσα από δορυφορικές εικόνες να γίνει εντοπισμός κοιτασμάτων. Στο δεύτερο μέρος βλέπουμε πως γίνεται η λιθολογική διαφοροποίηση με τη χρήση των δορυφορικών εικόνων ενώ στο τρίτο μέρος έχουμε τον εντοπισμό των τεκτονικών δομών με βάση τις δορυφορικές εικόνες και τη μετατόπιση αναγλύφου με βάση εικόνων SAR.

Όλα αυτά τα δεδομένα μας δείχνουν ότι η τηλεπισκόπηση είναι μια επιστήμη φοβερά επίκαιρη και χρήσιμη στη χαρτογράφηση καθώς και άκρως εφαρμοσμένη σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς λύνει τα χέρια των επιστημόνων οι οποίοι σε συνδυασμό με την εργασία στην ύπαιθρο μπορούν να οδηγηθούν σε καλύτερα συμπεράσματα για μια περιοχή και φυσικά να γίνει καλύτερη αξιοποίηση της.

Κεφάλαιο 1. Η χρήση της τηλεπισκόπησης για τον εντοπισμό κοιτασμάτων(μεταλλικά, υδροθερμικά, υδρογονάνθρακες).

1.1 Υδροθερμική χαρτογράφηση με τη χρήση ASTER δεδομένων στα πορφυριτικά κοιτάσματα του Infiernillo, Αργεντινή (από D. I. Tommaso, Rubinstein) 2007.

Htdrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina.

Γεωλογία περιοχής

Τα κοιτάσματα πορφυριτικού χαλκού εντοπίζονται σε ορογενετικές ζώνες εντός των ηπειρωτικών περιθωρίων ή νησιωτικών τόξων. Η περιοχή που εξετάζουμε εδώ βρίσκεται στις Άνδεις (Ν. Αμερική) κάτω από τις οποίες η κατάδυση της πλάκας του Ειρηνικού συνεχίζεται και σήμερα στα ανενεργά μαγματικά τόξα. Το κοίτασμα του πορφυριτικού χαλκού βρίσκεται στον ορεινό όγκο του San Rafael. Εντοπίζεται μέσα σε πετρώματα του Κατώτερου Περμίου που σχετίζονται με το μαγματισμό της Γκοντβάνα και δημιουργήθηκαν εντός μαγματικών τόξων. Συγκεκριμένα το κοίτασμα στο Infiernillo εμφανίζεται μέσα στην ακολουθία Choiyio και μάλιστα στην κατώτερη σειρά της ακολουθίας μέσα σε πυροκλαστικά πετρώματα. Τα πετρώματα της σειράς είναι ρυολιθικά και βασαλτικά με διείδυση πορφύρη που δημιουργεί την ποταστική ζώνη εξαλλοίωσης. Η ακολουθία Choiyio δημιουργήθηκε στη μαγματική ζώνη του δυτικού περιθωρίου της Γκοντβάνα που ήταν ενεργή από το Λιθανθρακοφόρο, μέσα στην τάφρο, πίσω από το τόξο και τα αποθέματα παραμορφώθηκαν κατά την ουρογεννητική φάση που δημιούργησε τον ορεινό όγκο San Rafael. Η ηφαιστειότητα διακόπτεται κατά το Τριαδικό και έδωσε την ηφαιστειακή ακολουθία Choiyio όπου μπορούν να εντοπιστούν δύο σειρές πετρωμάτων: η σειρά του κατώτερου Περμίου, που αποτελείται από ρυόλιθους, δακίτες και ανδεσίτες, χαρακτηριστική γεωχημεία ζώνης υποβύθισης και του Α. Περμίου-Κ. Τριαδικού όπου και εκεί έχουμε ρυολιθικούς ιγκνιβρίτες, ανδεσιτικές φλέβες, δακίτες. Εμείς θα ασχοληθούμε με τη σειρά του Κ. Περμίου όπου εντοπίζεται και το κοίτασμα.

Σχετικά με το κοίτασμα.

Ποσότητα πορφυριτικού χαλκού και πορφυριτικού μολυβδαινίου φαίνεται όπως είπαμε να υπάρχει στο κατώτερο μέρος της ακολουθίας Choiyio. Αυτά τα κοιτάσματα συνδέονται γενικά με τους δακιτικούς και ρυολιθικούς πορφύρεις με την ποταστική ζώνη εξαλλοίωσης που

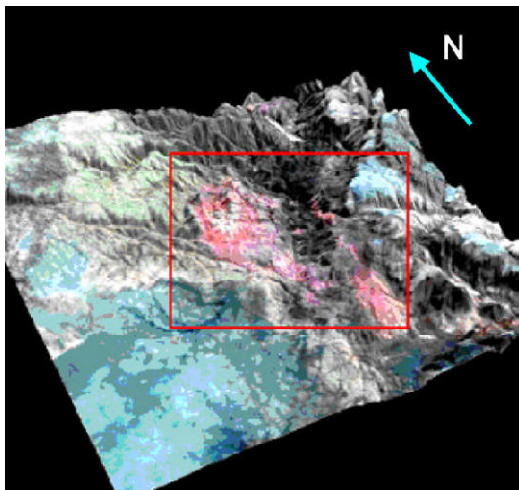
βρίσκεται στο εσωτερικό του κοιτάσματος και περιβάλλεται από την φυλετική και προπονητική. Μεταλλικές ζώνες με χαλκό, μόλυβδο, ψευδάργυρο, άργυρο και χρυσό εμφανίζονται είτε στο εσωτερικό της ζώνης είτε πολύ κοντά της. Η ζώνη εξαλλοίωσης του κοιτάσματος έχει οβάλ σχήμα με διαστάσεις 3km x 2km με παράταξη BBA-NNΔ. Αποτελείται από κρυστάλλους χαλαζία που σχηματίζει στο εσωτερικό έναν μικρό οβάλ λαιμό, οξειδωμένο σιδηροπυρίτη, πιο σπάνιο σερικήτη και αρκετό αιματίτη. Περιβάλλεται από σύστημα stockwork χαλαζία με διαστάσεις 500m x 200m το οποίο αναπτύσσεται κοντά στην επαφή με τον χαλαζία. Οι φλέβες έχουν διάμετρο 5cm και παράταξη 40°, 80° και 120°. Στα όριά τους αναπτύσσεται ελάχιστος αιματίτης. Γύρω από τον χαλαζία βρίσκεται η ποτασική ζώνη εξαλλοίωσης με αστρίους χαλαζία και βιοτίτη με έντονη σερικήτωση. Οξειδία του σιδήρου και μαγγανίου είναι διασκορπισμένα μέσα στη ζώνη και εντοπίζονται ίχνη αζουρίτη και μαλαχίτη. Εξωτερικά της ζώνης βρίσκεται μία καλά σχηματισμένη και έντονα λευκοκρατική φυλλιτική ζώνη με χαλαζία σε μορφή φλεβών, σερικήτη, ρουτίλιο, απατίτη και πιο σπάνια τουρμαλίνη. Η ζώνη αυτή είναι έντονα οξειδωμένα με οξείδια σιδήρου και μαγγανίου κερουσίτη και πιο σπάνια μαλαχίτη. Έξω από τη φυλλιτική συναντάμε την προπυλική ζώνη με χλωρίτη και καλά αναπτυγμένο επίδοτο. Ανθρακικές φλέβες με λίγο χαλαζία παρατηρούνται εξωτερικά της φυλλιτικής ζώνης. Τα βασικά ορυκτά σχηματίζουν κρυστάλλους σε φλέβες στείρες από χαλαζία και είναι: σιδηροπυρίτης με χαλκοπυρίτη, αρσеноπυρίτης, μολυβδαινίτης και μαγνητίτης, ελάχιστος γαλιτής και σφαλερίτης με ασθένεια χαλκοπυρίτη και πιο σπάνια βορνίτης, μαρκασίτης και τετραπεδρίτης. Τα δευτερεύοντα ορυκτά είναι: χαλκοσίνης και κοβελλίνης.

Εικόνες ASTER

Για τη χαρτογράφηση της περιοχής χρησιμοποιούνται δεδομένα ASTER (Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection radiometer) με διακριτική ικανότητα 15μ, 30μ και 90μ στο ορατό κοντινό υπέρυθρο (VNIR), βραχύ υπέρυθρο (SWIR) και θερμικό υπέρυθρο (TIR). Οι πολυφασματικές πληροφορίες θερμικού υπέρυθρου του ASTER έχουν δυνατότητες για ορυκτολογικό / λιθολογικό διαχωρισμό και αναγνώριση. Γενικότερα όμως οι εικόνες ASTER είναι καλό να χρησιμοποιούνται σε περιοχές όπου είναι γνωστή η γεωλογία και όχι μόνο για να βρεθούν νέα δεδομένα αλλά και για να χαρτογραφηθούν οι ζώνες εξαλλοίωσης.

Στη συγκεκριμένη περιοχή οι ζώνες απορρόφησης του ASTER μας δείχνουν:

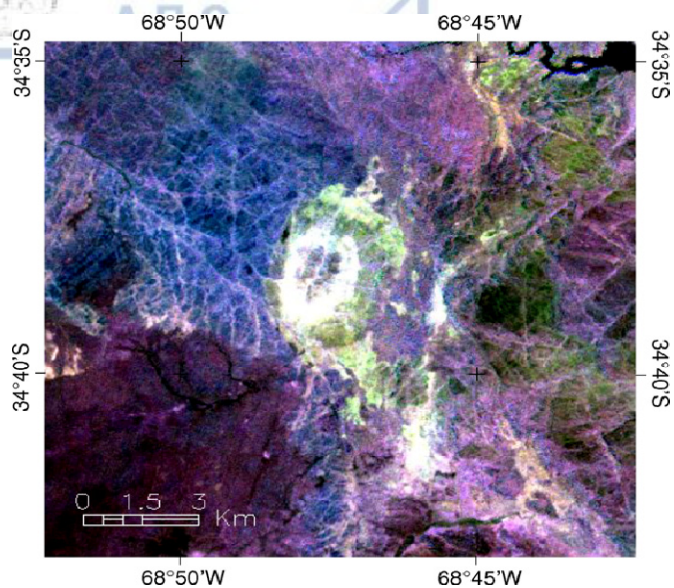
- 1 και 3 καταγράφουν κυρίως οξείδια του σιδήρου.
- 5 και 6 καταγράφουν ορυκτά της αργίλου, αλλουνίτη, μοσχοβίτη και σερίκίτη.
- Η Ζώνη 7 καταγράφει υδροξείδια του σιδήρου που προκύπτουν κυρίως από ιαρουσίτη και Fe-μοσχοβίτη
- Η Ζώνη απορρόφησης 8 εντοπίζει υδροξείδια του μαγνησίου που προήλθαν από χλωρίτη, επίδοτο ή άνθρακα.



□

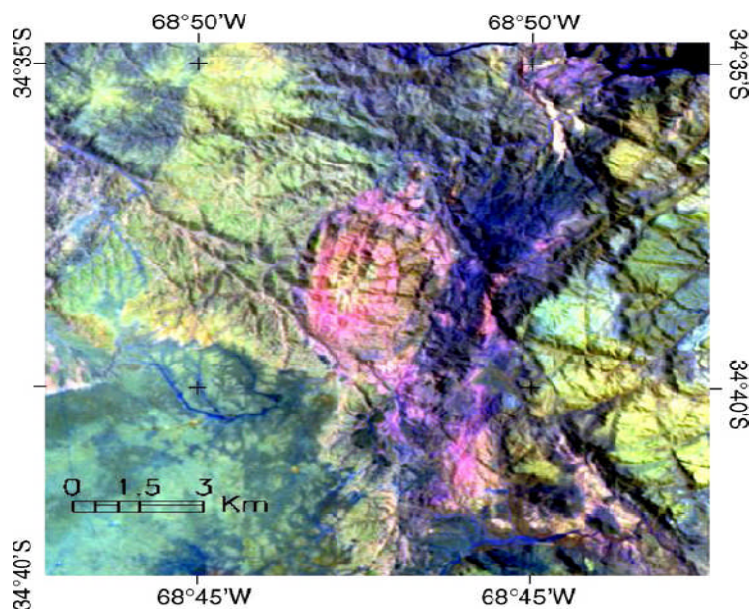
Εκ. 1. 3D RGB 468 το κοίτασμα εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα.

Σε 3D εικόνα με συνδυασμό των ζωνών 468 δημιουργείται η εικόνα RGB όπου η περιοχή του κοιτάσματος φαίνεται με κόκκινο χρώμα.



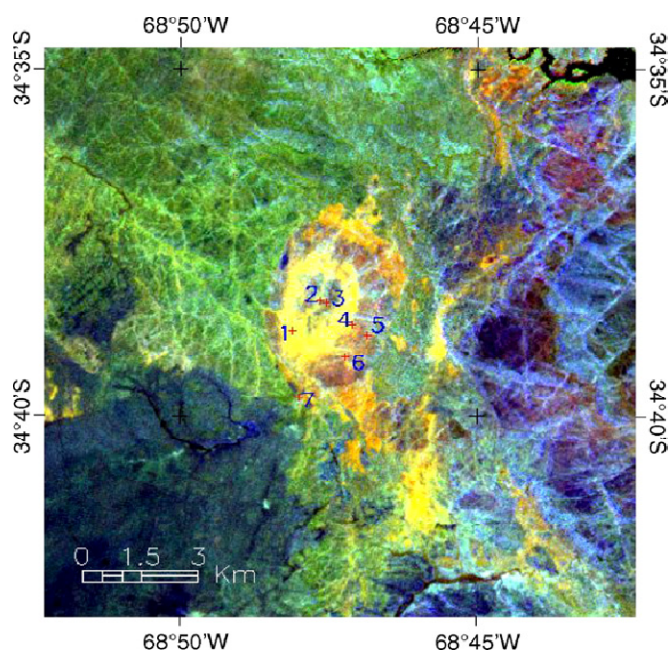
Εικ.2 Aster band ratio 4/5, 4/6, 4/7 Η λευκή περιοχή δείχνει απορρόφηση 2.6 μm , 2.2 μm και 2.26 μm

Στις RGB εικόνες 4/5, 4/6, 4/7 (Εικ.2) η περιοχή με λευκό χρώμα δείχνει τα αποτελέσματα των ζωνών 5, 6 (Al – OH) και 7 (Fe – OH).



Εικ.3 RGB:461 δείχνουν τη φυλλιτική ζώνη με μωβ χρώμα και με κίτρινο τον αματίτη.

Στην Εικ. 3 ο συνδυασμός RGB:461 δείχνει τη ζώνη εξαλλοίωσης του κοιτάσματος του Infernillo ενισχυμένη με δύο διαφορετικές ομόκεντρες έγχρωμες ζώνες με την εξωτερική μωβ ζώνη που μας δείχνει η ζώνη απορρόφησης 6 και την κεντρική κίτρινη λόγω της ζώνης 1 (οξειδία του σιδήρου)



Εικ.4 ASTER band ratio 4/4, 4/7, 3/1 με πράσινο τα κοιτάσματα των παθητικών περιθωρίων, με μπλε τα ηφαιστειακά της Choiroi ακολουθίας, με κίτρινο – καφέ τα κοιτάσματα του Infernillo. 1 – 7 θέσεις δειγματοληψίας.



Ο συνδυασμός των ζωνών 4/6, 4/7,3/1 (RGB) (Εικ.4) μας δίνει καλά αποτελέσματα για τη λιθολογική διαφοροποίηση. Συγκεκριμένα με πράσινο χρώμα εντοπίζουμε τα κοιτάσματα στα παθητικά περιθώρια. Με μπλε χρώμα τα κοιτάσματα της κατώτερης και ανώτερης σειράς της ακολουθίας Choiyoi. Με κίτρινο και καφέ χρώμα είναι η ζώνη εξαλλοίωσης που σχετίζεται με τα πυροκλαστικά πετρώματα των αποθεμάτων στο Infernillo.

1.2 Χαρακτηρισμός της ορυκτογένεσης χρυσού στην περιοχή Garin Hawal, Kebbi State ΒΔ της Νιγηρίας με τη χρήση της τηλεπισκόπησης.(από Talaat M. Ramadan [a,*](#), Mohammed F. Abdel Fattah) 2010.

Characterization of gold mineralization in Garin Hawal area, Kebbi state, NW Nigeria, using remote sensing.(T.M. Ramadan)

Γεωλογία περιοχής.

Η περιοχή μελέτης είναι τμήμα της ΒΔ Νιγηρίας και χωρίζεται σε τρεις λιθοστρωματογραφικές ενότητες. Το γνευσιο-μυγματικό σύμπλεγμα , τις σχιστολιθικές ζώνες και τις γρανιτικές διεισδύσεις. Στη γνευσιο-μυγματική ενότητα εντοπίζεται η αμφιβολιτική φάση μεταμόρφωσης όπου και διεισδύουν οι πλουτωνίτες. Οι σχιστολιθικές ζώνες του Ανω Πρωτεροζωικού μεταμορφώθηκαν μαζί με το γνευσιο-μυγματικό σύμπλεγμα κατά την Παν-Αφρικανική ορογένεση. Οι πλουτωνικές διεισδύσεις αποτελούνται από γρανίτες, γρανοδιορίτες και διορίτες με κάποιους γάββρους και συηνίτες. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε μια ισχυρά τεκτονισμένη ζώνη όπου τα πετρώματα είναι ισχυρά παραμορφωμένα και πτυχωμένα. Επίσης εντοπίζεται και η δράση των brittle δομών. Η πύχωση της περιοχής έγινε σε δύο φάσεις.

Στην περιοχή εντοπίζονται τρεις χρυσοφόρες ζώνες μέσα στις ζώνες διάρρηξης με παράταξη BA-NA. Τα κοιτάσματα χρυσού της περιοχής είναι άμεσα συνδεδεμένα με τις brittle δομές κατά την Παν-Αφρικανική ορογένεση(530 Ma), Και τα τρία συστήματα ζωνών διάρρηξης είναι παράλληλα μεταξύ τους με διεύθυνση BA-NA. ζώνη διάρρηξης εντοπίστηκε για πρώτη φορά με τη χρήση LandsatETM+ και μελέτη στην ύπαιθρο στην περιοχή Garin Hawal. Τα κοιτάσματα χρυσού της περιοχής εντοπίζονται σε πετρώματα αλλά κυρίως στις σχιστολιθικές ζώνες. Ενώ οι γνωστές θέσεις του κοιτάσματος εντοπίζονται στις περιοχές Bin Yauri, Zuru και Anka, νέες θέσεις έχουν εντοπιστεί που συνδέονται με τεράστιες ζώνες εξαλλοίωσης και χαλαζιακές φλέβες με τη χρήση του Landsat ETM και Quick-Bird με παράλληλες γεωλογικές μελέτες. Η περιοχή Garin Hawal 12τ.χμ. χαρακτηρίζεται από έντονη εξαλλοίωση που εντοπίζεται στο ανατολικότερο τμήμα του χωριού Garin Hawal. Οι ζώνες διάρρηξης στην περιοχή λειτουργούν ως "κανάλια" για την κυκλοφορία των υδροθερμικών ρευστών και την απόθεση των ορυκτών του κοιτάσματος.

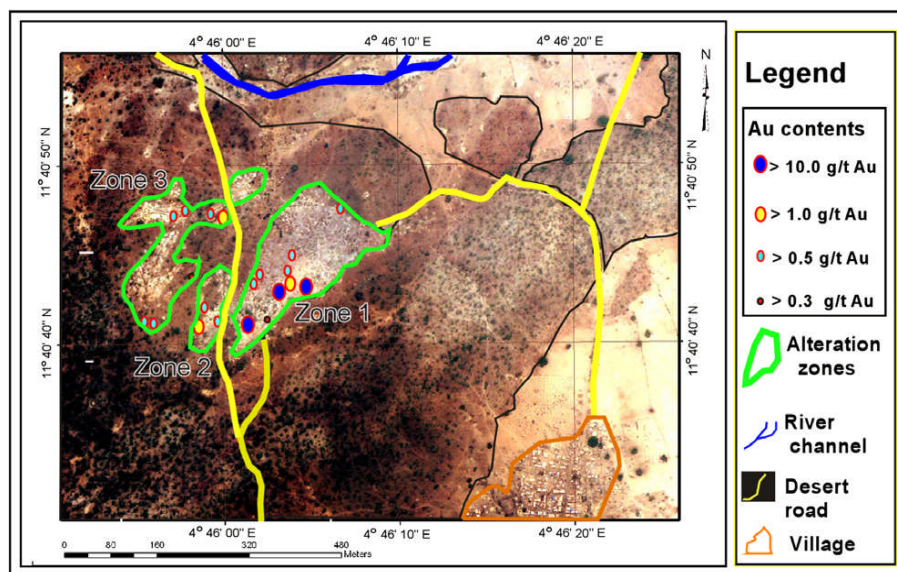
Ορυκτολογικές μελέτες έδειξαν ότι η εξαλλοίωση είναι ισχυρά ποτασσική ενώ τα κύρια ορυκτά του κοιτάσματος είναι χρυσός, σιδηροπυρίτης, αρσеноπυρίτης, γαληνίτης και οξείδια του σιδήρου.

Εικόνες LandsatETM+ και Quick-Bird.

Ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η χρήση Landsat ETM+ και QuickBird δορυφορικών εικόνων για τη χαρτογράφηση των χρυσοφόρων φλεβών και των πετρωμάτων της περιοχής.

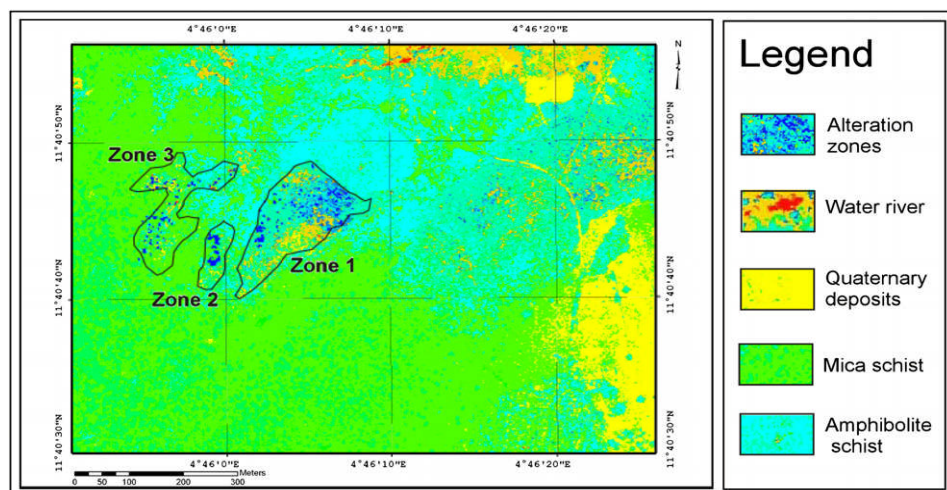
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Δύο ζεύγη δορυφορικών δεδομένων χρησιμοποιούνται για τη συγκεκριμένη μελέτη. Η πρώτη είναι η Landsat ETM+ εικόνες και για την έρευνα της περιοχής και η δεύτερη είναι η υψηλής ανάλυσης εικόνων Quick Bird για πιο λεπτομερή ανάλυση. Για τις εικόνες Landsat χρησιμοποιήθηκε οι ζώνες 7(κατάλληλη για λιθολογικό διαχωρισμό και υδροθερμική χαρτογράφηση), 4(για οριοθέτηση υδάτινων μαζών και υπολογισμό βιομάζας), 2(η πράσινη ζώνη που καθορίζει την υγιή βλάστηση) σε R, G, B αντίστοιχα για γεωλογική χαρτογράφηση και ανάλυση της δομής της περιοχής.(Σχ.6) . Οι εικόνες QuickBird με υψηλή ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν για πιο λεπτομερή μελέτη και ανάλυση της γεωλογικής δομής της περιοχής καθώς και για τον εντοπισμό των χρυσοφόρων φλεβών. Η πρώτη εικόνα QuickBird καλύπτει την περιοχή μελέτης. Ψηφιακή επεξεργασία των QuickBird δεδομένων έδωσε δύο ψευδοέγχρωμες εικόνες με ζώνες 1, 2,3 και 4 με διακριτική ικανότητα 2,5 μ.



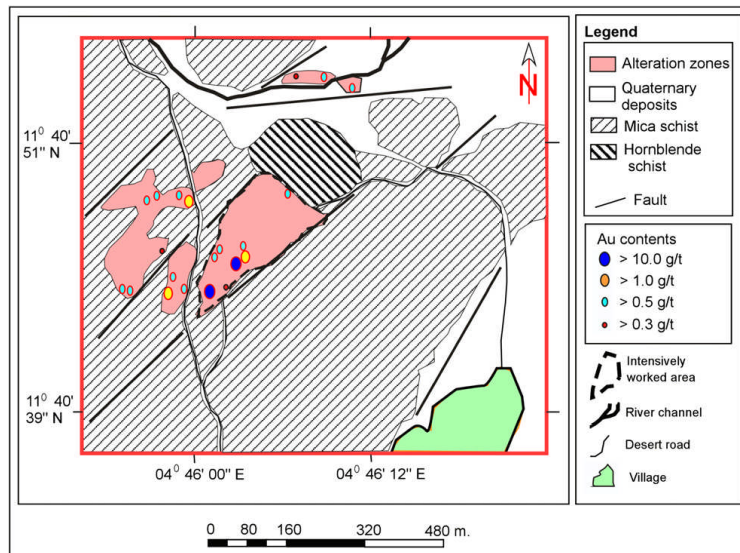
Εικ.5 Ψευδοέγχρωμη εικόνα Quick-Bird (ζώνες 1, 2, 3 και 4 σε R,G,B) για το ορυχείο χρυσού στην περιοχή Garin Hawal που δείχνει τις ζώνες εξαλλοίωσης.

Η ερμηνεία της εικόνας Quick- Bird (ζώνες 1,2,3 και 4) χρησιμοποιείται για τη λεπτομερέστερη γεωλογική ανάλυση της περιοχής (Εικ.5).



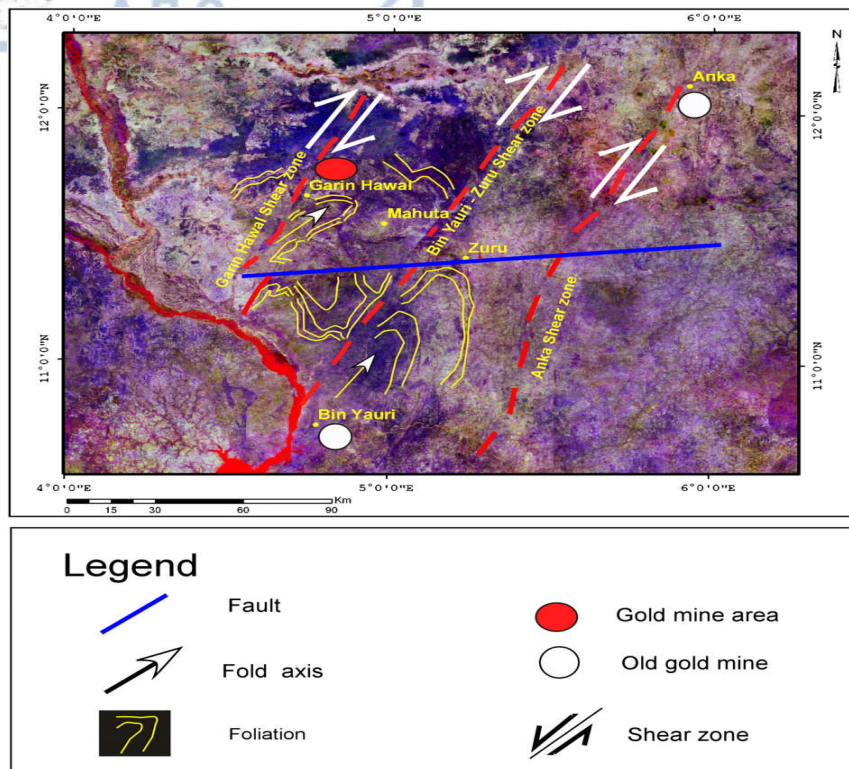
Εικ.6 Quick Bird εικόνα που δείχνει τις ζώνες εξαλλοίωσης.

Στη συνέχεια με ειδική επεξεργασία στην ίδια εικόνα (Εικ.6) ξεχωρίζουν οι ζώνες ορυκτών (μπλε χρώμα) από τις στείρες ζώνες με τη μέθοδο της "επιβλεπόμενης ταξινόμησης."



Εικ.7 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής των ορυχείων χρυσού Garin Hawal.

Στην εικόνα αυτή διακρίνουμε ότι η περιοχή του χρυσού καλύπτεται από την ισχυρά πτυχωμένη και τεκτονισμένη αμφιβολιτική ζώνη και καθώς και από γραφιτικό και μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο(Εικ.7).



Εικ.8 Χάρτης προσαρμοσμένος σε LandsatETM+ της περιοχής.

Διακρίνουμε τις ζώνες διάρρηξης που είναι παράλληλες μεταξύ τους , τα παλιά ορυχεία χρυσού καθώς και το καινούριο της περιοχής Garin Hawal.(Εικ.8).

Συμπεράσματα.

Για τη γεωλογική και δομική ανάλυση της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα LandsatETM+ ενώ τα υψηλής ανάλυσης δεδομένα QuickBird με τη μέθοδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκαν για το διαχωρισμό μεταξύ των πλούσιων σε ορυκτά ζωνών από τις στείρες ζώνες. Παράλληλα εντοπίστηκαν νέες ζώνες κατά μήκος των BA-ΝΔ ζωνών διάρρηξης που είναι παράλληλες με άλλες χρυσοφόρες ζώνες στα ανατολικά.

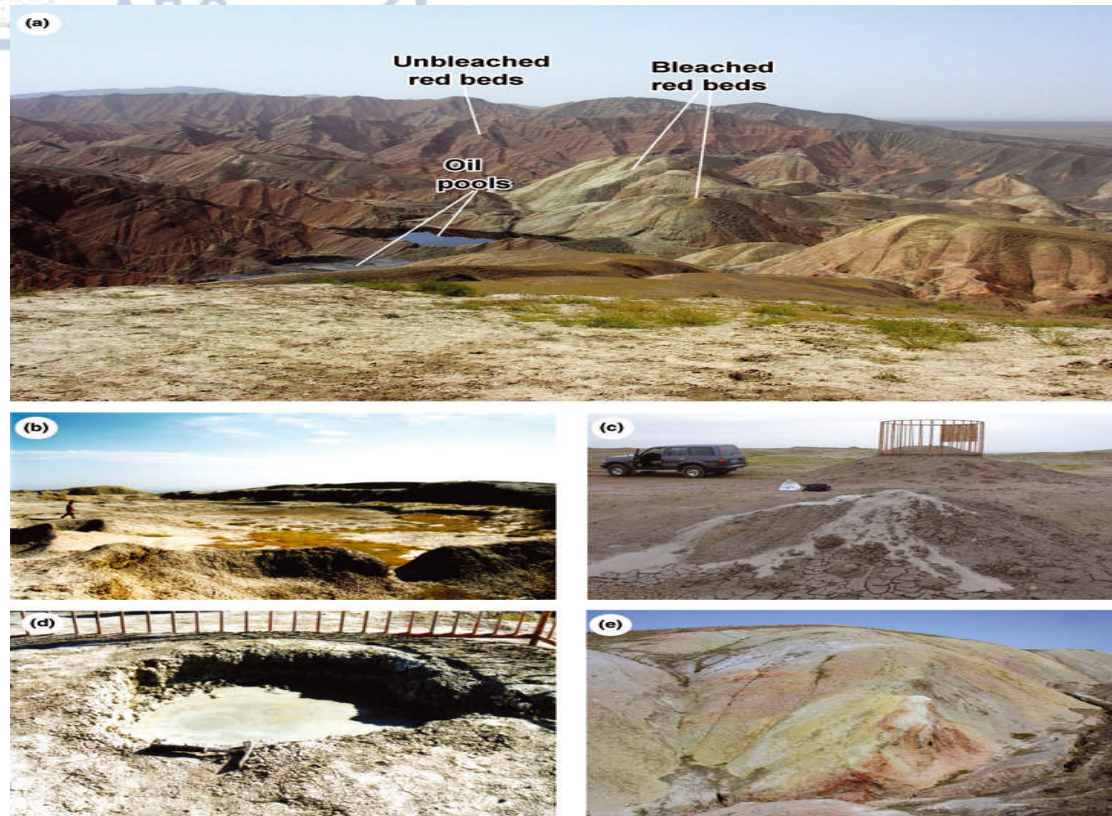
1.3 Χαρτογράφηση της ορυκτολογικής εξαλλοίωσης που οφείλεται σε υδρογονάνθρακες στη βόρεια Tian Shan χρησιμοποιώντας πολυφασματικά δεδομένα Aster.(απο B.Fu, G.Zheng, Ch.Wang, Gu.Sun) 2007.

Mapping hydrocarbon-induced mineralogical alteration in the northern Tian Shan using ASTER multispectral data.

Γεωλογία περιοχής.

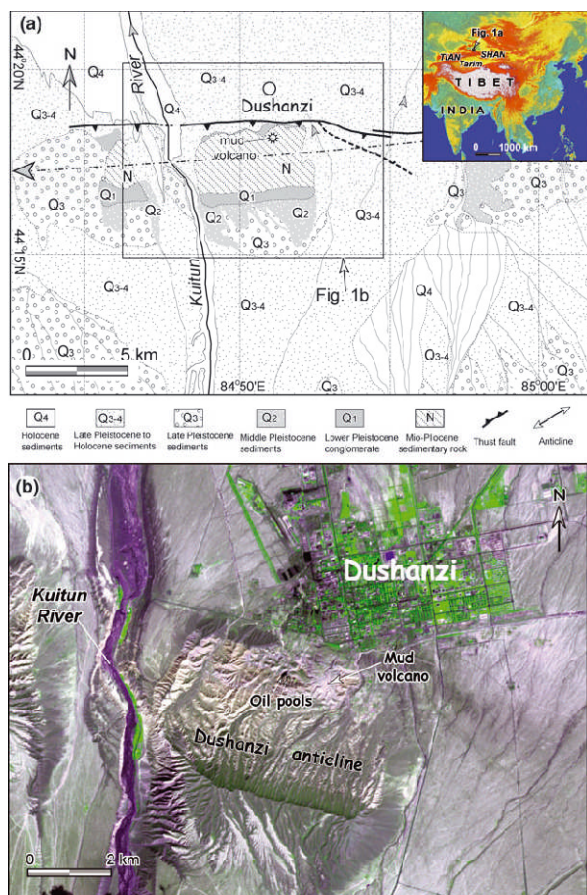
Η περιοχή μελέτης το αντικλινό Dushanzi βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της οροσειράς Tian Shan. Το κλίμα είναι ξηρό ως ημίξηρο και η περιοχή χαρακτηρίζεται από αραιή βλάστηση. Μια ιζηματογενής σειρά πάχους μεγαλύτερο από 2000 μ βρίσκεται στην περιοχή με ηλικία Ανωτέρου Καινοζωικού. Αυτή η ακολουθία αποτελείται από ερυθροστρώματα δηλαδή στρώσεις ερυθρωτών ιζηματογενών πετρωμάτων όπως ψαμμίτες, ιλλύτες και αργιλικά πετρώματα που αποτέθηκαν σε ζεστό κλίμα υπο οξειδωτικές συνθήκες. Υπάρχουν τρεις παράλληλες – υποπαράλληλες πτυχωσιγενής ρηξιγενής ζώνες στο βόρειο τμήμα της Tian Shan οι οποίες προέκυψαν από την Ινδο-ασιατική σύγκρουση. Στο νότιο τμήμα του βρίσκεται ένας κρατήρας ηφαιστείου που καλύπτεται από λάσπη με διάμετρο 115 μ.

Τα αλλοιωμένα πετρώματα εμφανίζονται στην ύπαιθρο με γκρι, πράσινο και κίτρινο χρώμα γύρω από την κορυφή του αντικλίνου. Στην περιοχή υπάρχει μια έντονη μυρωδιά λόγω της εκπομπής μεθανίου από το ηφαίστειο και από τους ταμιευτήρες των υδρογονανθράκων.



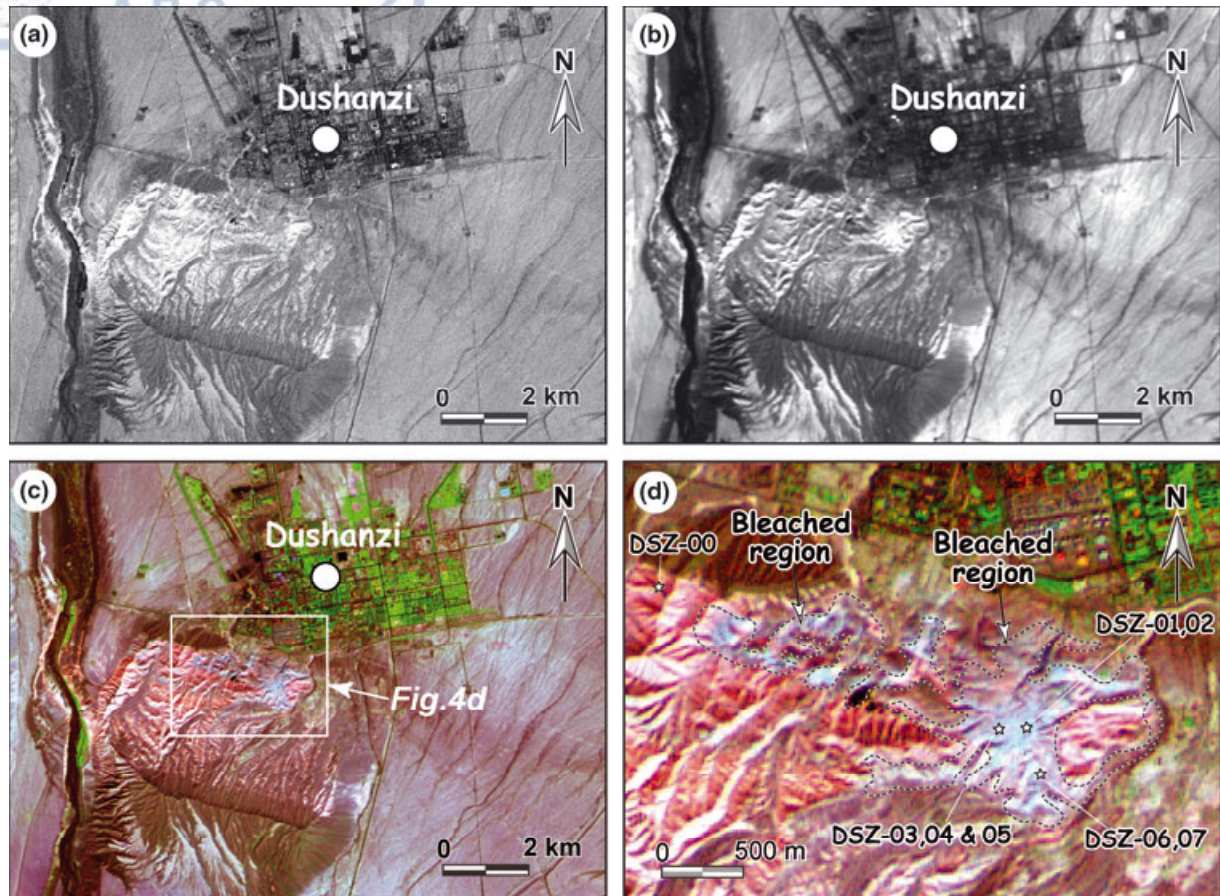
Εικ.9 Η φωτογραφία δείχνει αλλοιώσεις της επιφάνειας και τη διαρροή των υδρογονανθράκων. (α) ξεχωρίζουν τα ερυθροστρώματα από τα αλλοιωμένα στρώματα με πιο λευκό χρώμα, όπως επίσης και η διαρροή του υδρογονάνθρακα. (b) ο κρατήρας του ηφαιστείου, (c) δύο μικρές ηφαιστειακές φλέβες. (d) ένας ηφαιστειακός κώνος που βγάζει αέριο, λάσπη και νερό. (e) Η επιφάνεια των εξαλλοιωμένων πετρωμάτων που φαίνεται με γκρι, πράσινο και κίτρινο χρώμα στην κορυφή του αντικλίνου.

Εικόνες ASTER.



Εικ.10 α) γεωλογικός χάρτης του αντικλίνου που προέκυψε την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων. Β) ψευδοέγχρωμες εικόνες ASTER με ζώνες 5(R), 3(G), 1(B) του αντικλίνου Dushanzi. Η βλάστηση φαίνεται με πράσινο χρώμα.

Στην Εικ.10 φαίνεται η περιοχή μελέτης και συγκεκριμένα το αντίκλινο της περιοχής. Η βλάστηση φαίνεται με πράσινο χρώμα.



Εικ.11 Εικόνες ASTER της περιοχής α) γκριζα κλίμακα 2/1 β) γκριζα κλίμακα 4/8 γ) ψευδοέγχρωμες 2/1(R), 3(G), 4/8(B) δ) μεγεθυμένη εικόνα ASTER. Τα αλλοιωμένα πετρώματα λόγω της εξαλλοίωσης διακρίνονται με απαλό μπλε ή μπλε χρώμα.

Οι συνδυασμοί των ζωνών που χρησιμοποιούνται είναι οι:

- 2/1 για την ανίχνευση των ερυθροστρωμάτων πλούσια σε οξείδια σιδήρου (hem-Fe³⁺)
- 4/8 για την ανίχνευση αργλικών και ανθρακικών ορυκτών.
- Ζώνη 3 για την ανίχνευση πετρωμάτων πλούσια σε χλωρίτη.



Γκρίζα κλίμακα.

Στη γκρίζα κλίμακα Εικ.11α με συνδυασμό 2/1 φαίνονται τα μη αλλοιωμένα ερυθροστρώματα να παρουσιάζουν υψηλές τιμές(λευκές περιοχές) επειδή είναι πλούσια σε οξείδια του σιδήρου, ενώ στην Εικ.11β τα αλλοιωμένα πετρώματα παρουσιάζουν υψηλές τιμές(λευκές περιοχές.)

Ανάλυση.

Επιπλέον η αναλογία 2/1 , η ζώνη 3 και η αναλογία 4/8 εμφανίζονται με κόκκινο(R), πράσινο(G) και μπλε(B) αντίστοιχα και επιλέχτηκαν για να δημιουργήσουν μια ψευδοέγχρωμη σύνθετη εικόνα. Έτσι τα μη αλλοιωμένα και αλλοιωμένα ερυθροστρώματα εμφανίζονται με καφέ, κόκκινο και μπλε χρώμα αντίστοιχα κατά μήκος της κορυφής του αντικλίνου. Την αλλοιωμένα πετρώματα φαίνονται με φλογοειδή μορφή με ανοιχτό μπλε – μπλε χρώμα (Εικ.11c,d).

Συμπέρασμα.

Με τη χρήση των πολυφασματικών δεδομένων ASTER πραγματοποιήθηκε η χαρτογράφηση των αλλοιωμένων και μη αλλοιωμένων πετρωμάτων εκ των οποίων η αλλοίωση προκλήθηκε από τη διαρροή υδρογονανθράκων. Η χρήση των ASTER δεδομένων μπορεί να αποτελέσει ένα καλό εργαλείο για τον εντοπισμό υδρογονανθράκων σε περιοχές με κλίμα ξηρό έως ημι-ξηρο και με ελάχιστη βλάστηση.

1.4 Χρήση της τηλεπισκόπησης και γεωχημικών μελετών για την εύρεση εξαλλοιώσεων που οφείλονται σε υδρογονάνθρακες στην περιοχή Lisbon valley, Utah (από A. Petrovic, S.D. Khan, H.S. Hafetz.)

Remote sensing detection and geochemical studies for finding hydrocarbon – induced alterations in Lisbon Valley, Utah

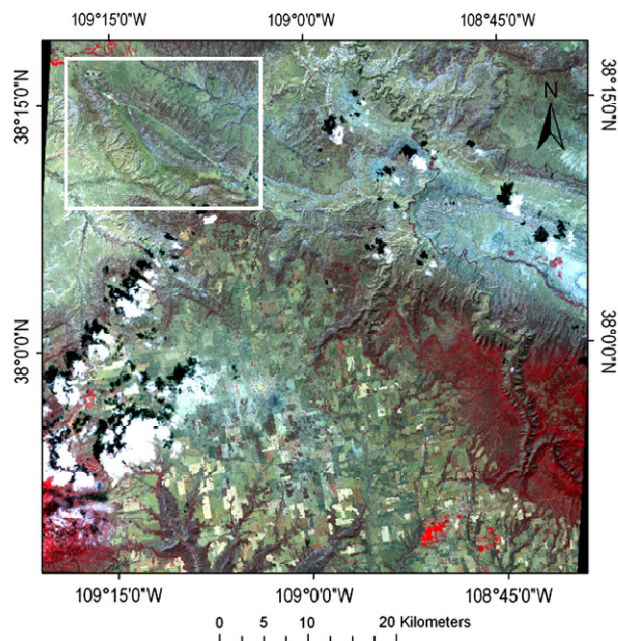
Γεωλογία περιοχής.

Η περιοχή Lisbon βρίσκεται στο ΝΑ τμήμα της Utah. Πρόκειται για ένα αντίκλινο με φορά ΒΔ. Ο πυρήνας της πτυχής έχει επηρεαστεί από τη διάβρωση κ έχει υποστεί κατάρρευση. Η αλλοίωσή του οφείλεται στην διαρροή υδρογονανθράκων με αποτέλεσμα την εξαλλοίωση των πετρωμάτων και συγκεκριμένα των ερυθροστρωμάτων της περιοχής. Ο ψαμμίτης Wingate βρίσκεται στο κέντρο αυτής της μελέτης και αναγνωρίζεται εύκολα λόγω του πορτοκαλί και κόκκινου χρώματος του. Είναι στρώμα αρκετού πάχους που δεν έχει επηρεαστεί από τη διάβρωση.

Ο Ψαμμίτης Wingate εμφανίζεται αλλοιωμένος στη νοτιοδυτική πλευρά του αντικλίνου. Σε αυτές τις περιοχές η εξαλλοίωση των πετρωμάτων φαίνεται με γκρί χρώμα και επίσης εμφανίζει διαφορετική ορυκτολογική σύνθεση και διάβρωση από ότι τα μη αλλοιωμένα στρώματα της βόρειας πλευράς του αντικλίνου. Τα αλλοιωμένα πετρώματα περιέχουν μεγαλύτερα ποσοστά σε λειμμωνίτη και ανθρακικά καθώς επίσης και σε καολινίτη και άλλα ορυκτά της αργίλλου. Ο ψαμμίτης Wingate μετατρέπεται από ένα αρχικά μη διαβρωσιγενές πέτρωμα σε σαθρό εξαιτίας της αλλοίωσης του που οφείλεται στη διαρροή υδρογονανθράκων και ευνοεί τη διάβρωση.

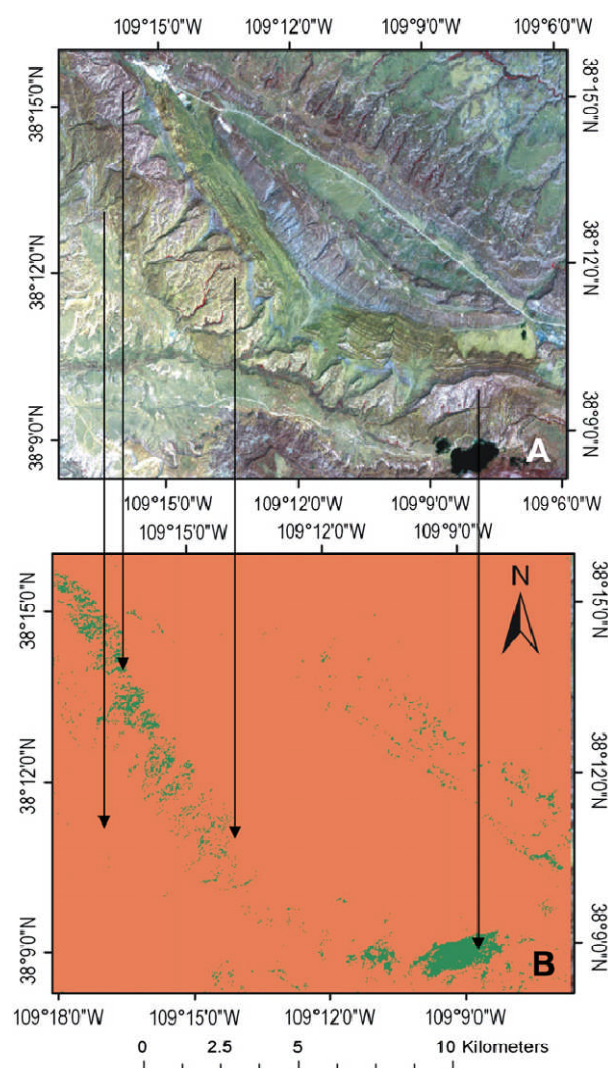
Τα κοιτάσματα πετρελαίου της Lisbon valley βρίσκονται στη νοτιοδυτική πλευρά του αντικλίνου και συγκεκριμένα μέσα στους ψαμμίτες του Δεβονίου. Η διαρροή οφείλεται σε ρήγμα στη βορειοανατολική πλευρά που παρουσιάζει κλίση και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση του ψαμμίτη Wingate στη βορειοδυτική πλευρά του αντικλίνου.

Για την αναγνώριση της αλλοίωσης του ψαμμίτη κατά μήκος της βορειοδυτικής και νοτιοδυτικής πλευράς του αντικλίνου χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές τηλεπισκόπησης. Επίσης βοήθησε να εδραιωθεί η σχέση μεταξύ των αλλοιωμένων και μη αλλοιωμένων περιοχών και να φανεί η διαφορά του βαθμού αλλοίωσης μεταξύ του βορειοδυτικού και νοτιοδυτικού τμήματος.



Εικ.12 Εικόνα ASTER της κοιλάδας Lisbon και της γύρω περιοχή. Συνδυασμός των ζωνών (RGB) 3-2-1 (ορατό κοντινό υπέρυθρο με ανάλυση 15mm. Η αντικλινική δομή της κοιλάδας Lisbon τοποθετείται στο λευκό παραλληλόγραμμο.

Στο λευκό παραλληλόγραμμο εμφανίζεται η αντικλινική δομή της περιοχής μελέτης.



Εικ.13 (Α) ASTER 3-2-1 (RGB) εικόνα της κοιλάδας Lisbon. (Β) φαίνεται το αποτέλεσμα ανάλυσης της ίδιας περιοχής. Το πράσινο χρώμα αντιπροσωπεύει μέρος του ψαμμίτη Wingate που είναι αλλοιωμένος. Τα βέλη ενώνουν την ίδια περιοχή στην εικόνα (Α) και (Β) που δείχνουν τον ψαμμίτη αλλοιωμένο και μη- αλλοιωμένο.

Η αλλοίωση που εντοπίστηκε με τη χρήση τεχνικής επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανότητας φαίνεται (Εικ.13β). με πράσινο χρώμα. Οι πιο έντονες αλλαγές χαρτογραφήθηκαν στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής του αντικλίνου. Οι πορτοκαλί περιοχές ανάμεσα στις πράσινες δείχνουν τον μη αλλοιωμένο ψαμμίτη. Επίσης η εικόνα δείχνει την παρουσία



αλλοιωμένου ψαμμίτη κατά μήκος της ανατολικότερης πλευράς του αντικλίνου που δεν είχε εντοπιστεί προηγουμένως.

Συμπέρασμα.

Η διαρροή υδρογονανθράκων από ταμιευτήρες υπόγειους οδηγεί στην υποτίμηση του περιβάλλοντος της επιφάνειας με αποτέλεσμα την αλλοίωση των πετρωμάτων.

1.5 Χαρτογράφηση των προτεροζωικών κοιτασμάτων ουρανίου στην περιοχή Rockhole, Βόρεια Επικράτεια, Αυστραλία.(από H.M. Rajesh.) 2007.

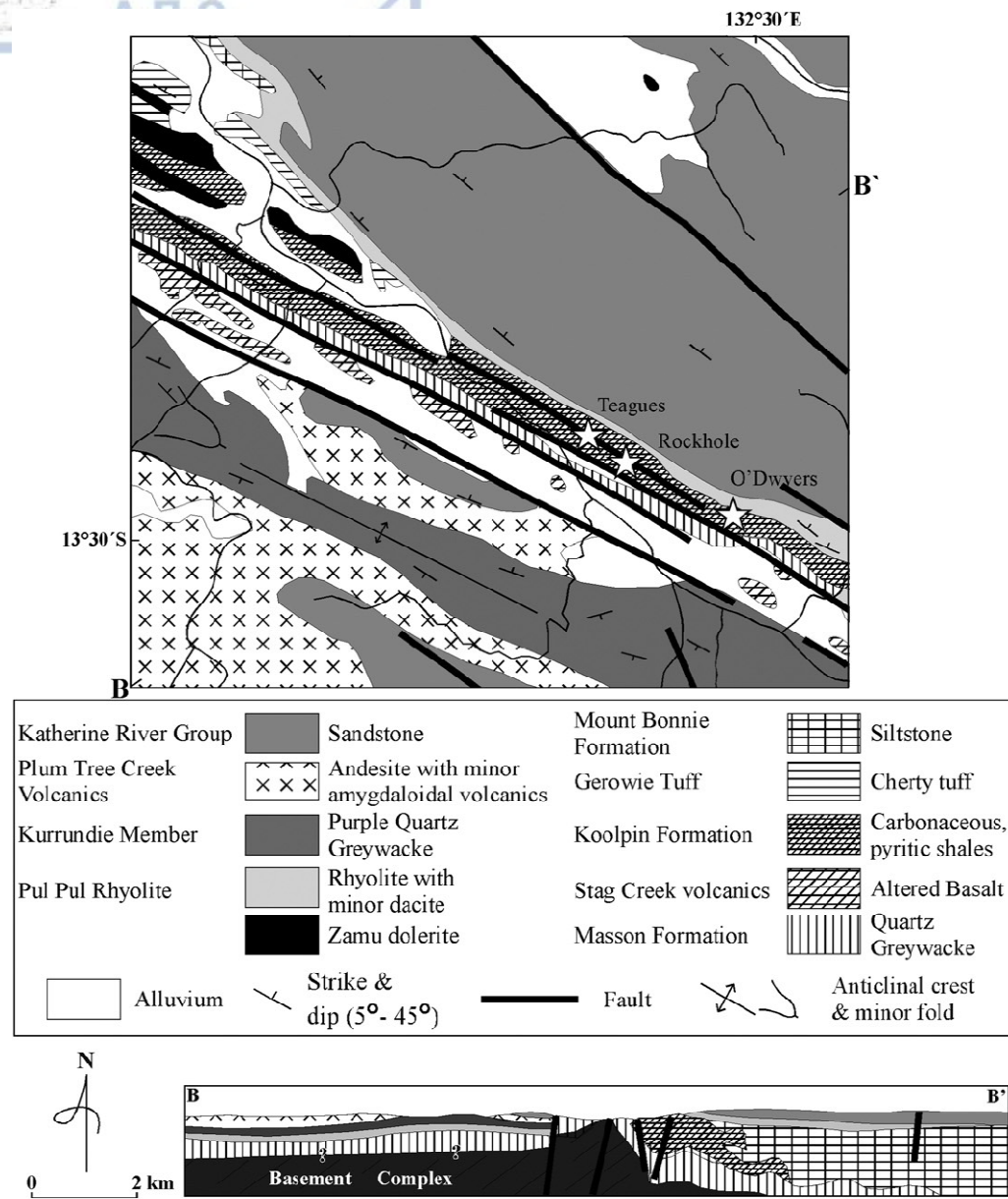
Mapping Proterozoic unconformity related uranium deposits in the Rockhole area, Northern Territory, Australia using Landsat ETM+.

Γεωλογία περιοχής.

Η περιοχή Rockhole βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο του ορογενούς Pine Greek και διασχίζει το νοτιοδυτικό περιθώριο της λεκάνης McArthur. Η περιοχή αποτελείται λιθολογικά από Παλαιοπρωτεροζωικά μετα- ιζήματα και ηφαιστειακά πετρώματα που βρίσκονται πάνω σε γνευσιακό και γρανιτικό υπόβαθρο στο οποίο διεισδύουν δολερίτες και γρανιτοειδή. Ανατολικά και Δυτικά της περιοχής εντοπίζεται αμφιβολιτική και γρανουλιτική μεταμόρφωση ενώ στο κεντρικό τμήμα πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση. Λόγω της διείσδυσης των γρανιτικών σωμάτων δημιουργείται άλλως θερμικής μεταμόρφωσης με αποτέλεσμα την εμφάνιση σύνοδων ορυκτών.

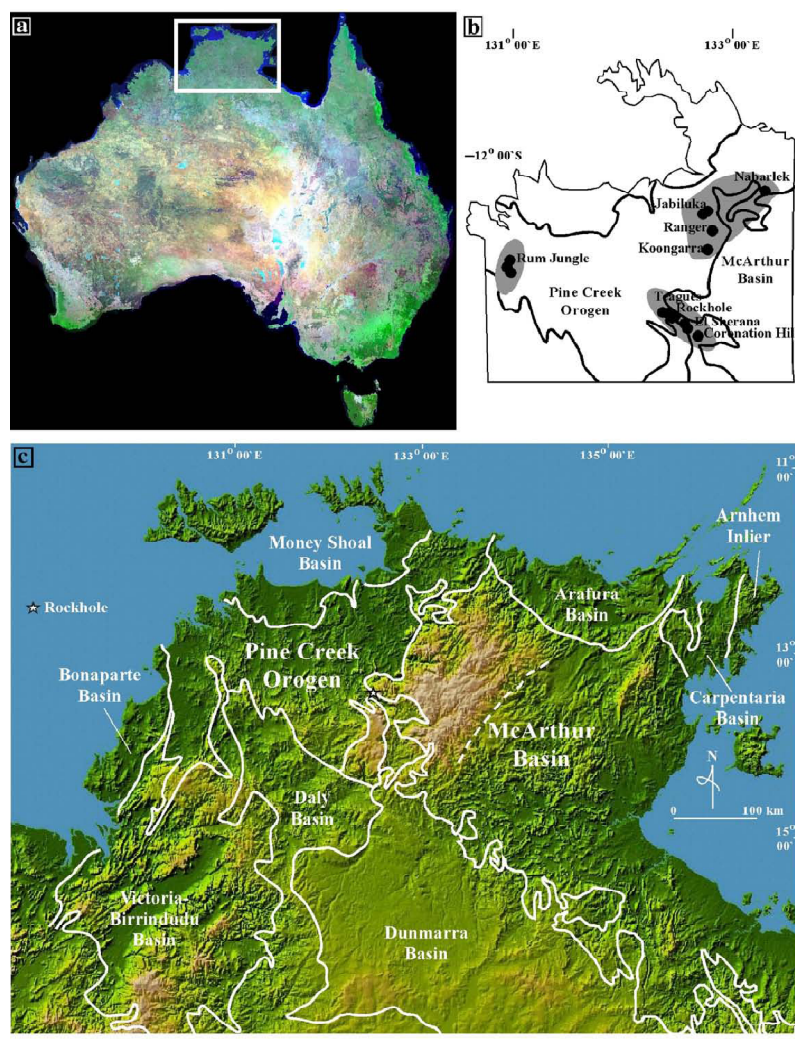
Σχετικά με το κοίτασμα.

Το κοίτασμα του ουρανίου εντοπίζεται στην ασυμφωνία που δημιουργείται στην επαφή ενός χαλαζιακού ψαμμίτη και του παλαιο-πρωτεροζωικού υποβάθρου. Τα ορυκτά του ουρανίου προκύπτουν μέσα σε λατυποπαγή και σαν «γέμισμα» σε επιμήκης ζώνες που βρίσκονται μέσα σε ιζηματογενή και μετα-ιζηματογενή πετρώματα της περιοχής κάτω από την ασυμφωνία. Τα ορυκτά που βρίσκονται μαζί με το ουράνιο είναι σιδηροπυρίτης, μαρκασίτης, χαλκοπυρίτης, χρυσός και σπάνια δευτερογενή ορυκτά του ουρανίου.



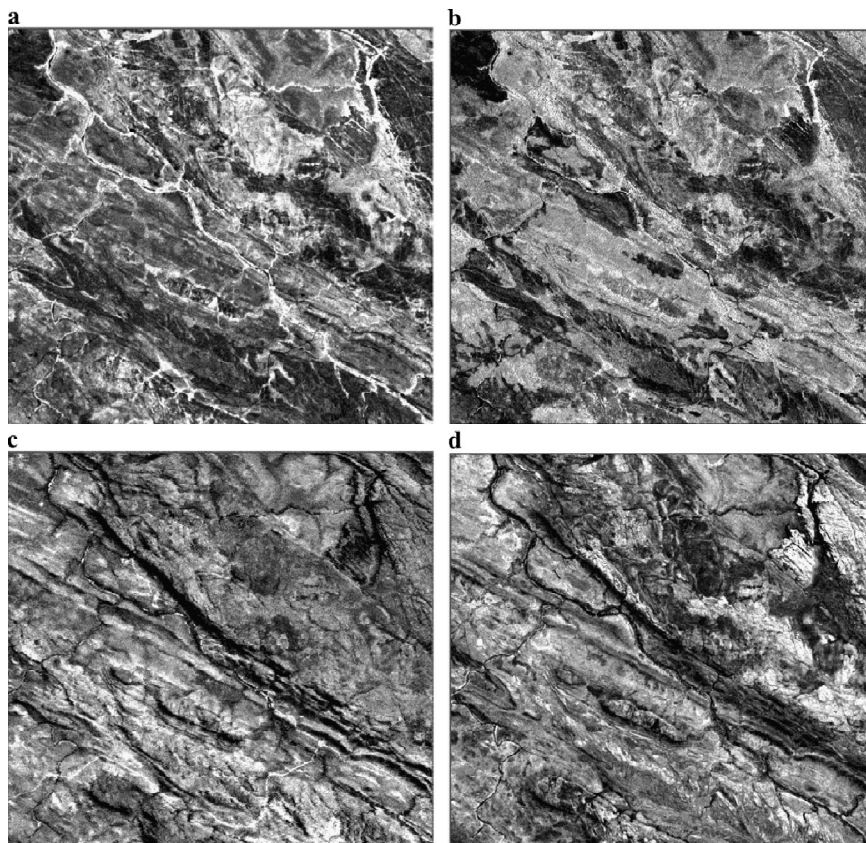
Εικ.14 Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης που προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων LandsatETM+. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν τα ρήγματα ενώ με τα αστεράκια αντιπροσωπεύονται οι θέσεις των κοιτασμάτων ουρανίου.

Τα κοιτάσματα συνήθως συνοδεύονται από εξαλλοιώσεις των γύρω πετρωμάτων. Το είδος και η επέκταση της εξαλλοίωσης αντανακλούν το είδος του κοιτάσματος. Στο συγκεκριμένο κοιτάσμα η χαρτογράφηση των ζωνών εξαλλοίωσης γίνεται με τη χρήση του Landsat TM (Thematic mapper) - θεματικός χάρτης και του Landsat ETM+ (enhanced thematic mapper) - ενισχυμένος θεματικός χάρτης.



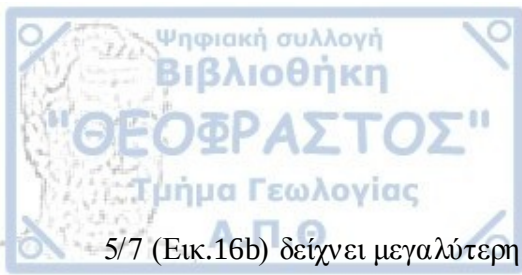
Εικ.15 (α) Landsat ETM+ 754 (RGB) μωσαϊκό της Αυστραλίας. (β) τα τρία πεδία των αποθεμάτων ουρανίου. (γ) οι κύριες γεωλογικές περιοχές.

Στην Εικόνα (Εικ.15) οι ζώνες 7(για λιθολογική χαρτογράφηση), 5(υπολογισμός της υγρασίας στα φυτά), 4(υπολογισμός βιομάζας και οριοθέτηση των υδάτων) χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία της εικόνας RGB κι έτσι ξεχωρίζει καλύτερα η βλάστηση με μπλε χρώμα και τα αλλουβιακά με πράσινο χρώμα από τους διάφορους τύπους πετρωμάτων που φαίνονται με κίτρινο, πορτοκαλί και καφέ χρώμα.



Εικ.16 Η περιοχή Rockhole (a) NDVI ,(b)5/7, (c)3/1, (d)5/4. Η βλάστηση εμφανίζεται φωτεινή την (α), τα ορυκτά της αργίλλου φαίνονται φωτεινά στη (b), τα ορυκτά του σιδήρου εμφανίζονται φωτεινά στην (c), τα σιδηρούχα ορυκτά εμφανίζονται φωτεινά στην (d).

Προεπεξεργασία της εικόνας περιλαμβάνει ραδιομετρική διόρθωση για την εξάλειψη των ατμοσφαιρικών επιπτώσεων. Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI: Ζώνη 4 – Ζώνη 3/ Ζώνη 4 + Ζώνη 3) έδειξε υψηλή πυκνότητα βλάστησης σαν φωτεινές περιοχές εκεί όπου η κάλυψη του εδάφους φαίνεται πολύ πιο σκοτεινή(Εικ.16α). Μια εικόνα με αναλογίες ζωνών 5 και 7, 3 και 1, 5 και 4 επισημαίνει πιθανή περιοχή με συγκεντρώσεις ορυκτών αργίλου και σιδήρου ενώ παράλληλα διαχωρίζει τις αλλοιώσεις και μη αλλοιώσεις του εδάφους. Η αναλογία



5/7 (Εικ.16b) δείχνει μεγαλύτερη συγγέντρωση των ορυκτών της αργίλου στο βόρειο τμήμα της περιοχής Rockhole. Ορυκτά του σιδήρου κυριαρχούν στο νοτιοδυτικό μέρος της περιοχής μελέτης που καλύπτεται από ηφαιστειακά πετρώματα.(Εικ.16c). Ομοίως σιδηρούχα ορυκτά κυριαρχούν στο βορειοανατολικό τμήμα που καλύπτεται από ψαμμίτη (Εικ.16d). Η ζώνη 8 ETM+ (15 παγχρωματική εικόνα) αποκάλυψε δομικές λεπτομέρειες για την υπογράμμιση της ασυμφωνίας με την οποία σχετίζεται το κοίτασμα. Από την Εικ.16 προκύπτει και ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Εικ.14.)

1.6 Διάκριση μεταξύ των σιδηρομεταλλευμάτων της νότιας χερσονήσου της Ινδίας με τη χρήση ASTER δεδομένων (από S. Rajendran, A.Thirunavakarrasu, G .Balamurugan, K. Shankar, 2009)

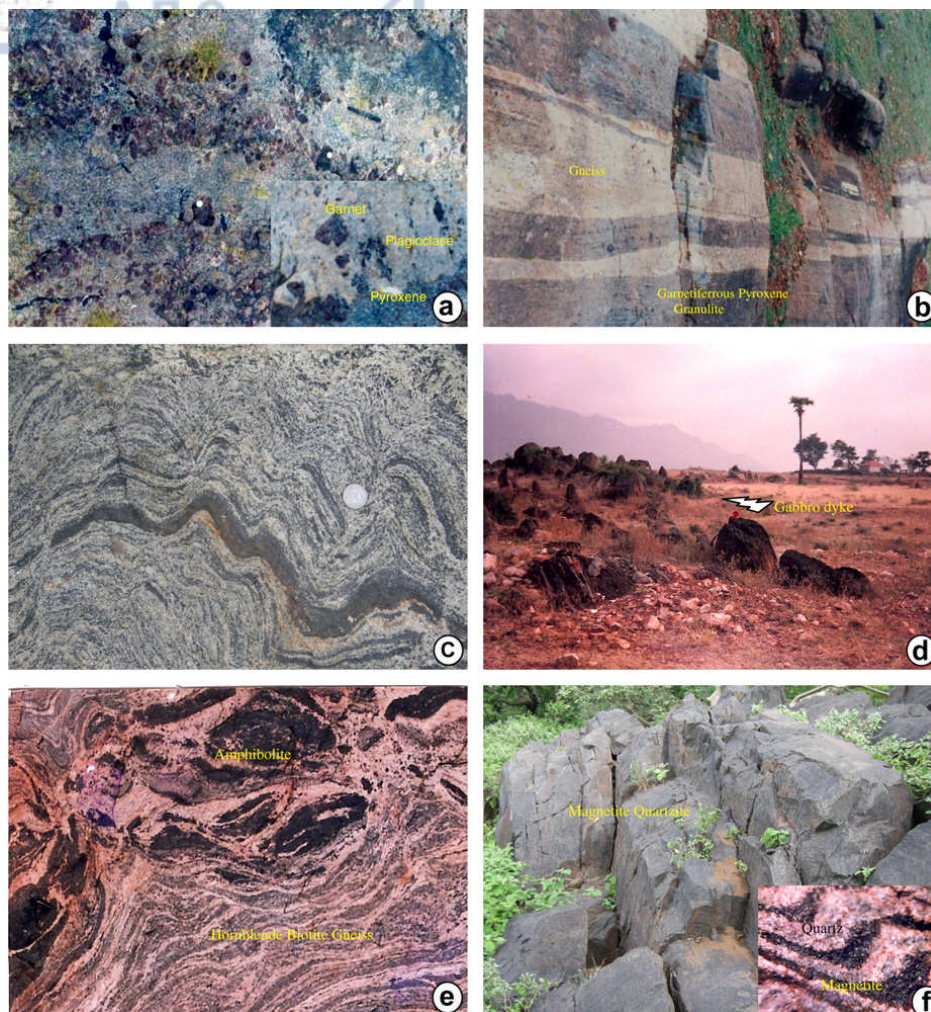
Discrimination of iron ore deposits of granulite terrain of Southern Peninsular India using ASTER data.

Γεωλογία περιοχής.

Τα σιδηρομεταλλεύματα στην περιοχή Salem σε λευκολιθικά εδάφη είναι πλούσια σε σίδηρο και πυριτικά άλατα. Οι λευκολιθικές περιοχές αποτελούνται κατά κύριο λόγο από μαγνητίτη, χαλαζίτη(σιδηρομεταλλεύματα), γρανατούχο πυροξενικό γρανουλίτη, κεροστίλβικο – βιοτιτικό γνεύσιο και αμφιβολίτη. Στην περιοχή διεισδύουν γαββικές φλέβες, δουνιτικές και πυγματικές που «κόβουν» τις μονάδες του λευκολίθου. Τα γρανατούχα λευκολιθικά

πετρώματα που περιβάλλουν τα χαλαζιακά μετα – ιζήματα αποτελούν τμήμα της ακολουθίας λευκολίθου που αναπτύχθηκε στην ζώνη ρηγμάτωσης της περιοχής Salem – Attur. Υπάρχει ένα υδροθερμικό μεταμορφικό φαινόμενο μεταξύ του σιδηρομεταλλεύματος και του λευκολίθου και η επαφή τους με τα διεισδύοντα πετρώματα είναι απότομη και έντονη. Οι επαφές των σιδηρομεταλλευμάτων με τα πετρώματα καλύπτονται από βλάστηση. Ο λευκόλιθος παρουσιάζει αιχμηρές επαφές με τους γνεύσιους ο οποίος γνεύσιος αποτελείται από πλαγιόκλαστα,

κεροστίλβη και βιοτίτη. Οι δουνίτες και πυγματίτες της περιοχής σχετίζονται με γρανατούχους λευκόλιθους. Οι αμφιβολίτες και οι γάββροι προβάλλονται με τη μορφή λόφου στο γνευσιακό υπόβαθρο. Οι γάββροι έχουν τη μορφή επιμήκους σώματος. Η επαφή του αμφιβολίτη με το γνεύσιο είναι ισχυρά τεκτονισμένη και με φολίδωση.

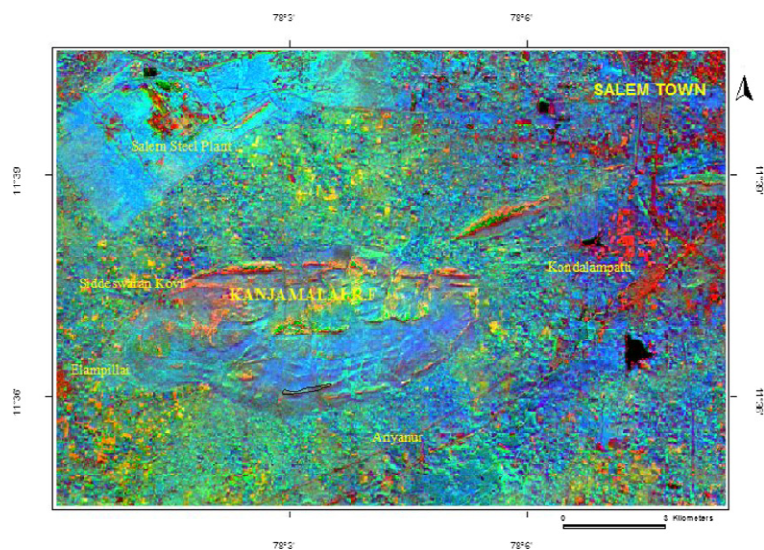


Εικ.17. (α) Εικόνα του λευκόλιθου όπου φαίνονται οι γρανάτες, πλαγιόκλαστα και οι πυρόξενοι στην περιοχή Siddeswaran Konl. (β) Η επαφή του λευκόλιθου με τον γνεύσιο. (γ) Κεροσίλβη, βιοτίτης, γνεύσιος σε πυγματίτη. Χατακτηριστική πτύχωση και ζώνωση των ορυκτών. (δ) Γάββρος νότια της περιοχής Nettimedu Hill. (ε) Επαφή του αμφιβολίτη με γάββρο κοντά στην περιοχή Anyanur. (φ) Σιδηρομεταλλεύματα.

Σχετικά με το κοίτασμα.

Στην ύπαιθρο το σιδηρομετάλλευμα δημιουργήθηκε σαν αποτέλεσμα της υψηλής μεταμόρφωσης των ιζημάτων με τη χαρακτηριστική ζώνωση. Η ζώνωση οφείλεται στην εμφάνιση του πυριτίου και πλούσια σε σίδηρο ορυκτά σε εναλλαγές σκουρόχρωμων και ανοιχτόχρωμων στρώσεων. Η μέγιστη συγκέντρωση του κοιτάσματος βρίσκεται στο σημείο που η πλαγιά του λόφου γίνεται από πολύ απότομη, ομαλή. Το κοίτασμα αποτελείται από χαλαζία, πυριτικά και μαγνητιτικά ορυκτά.

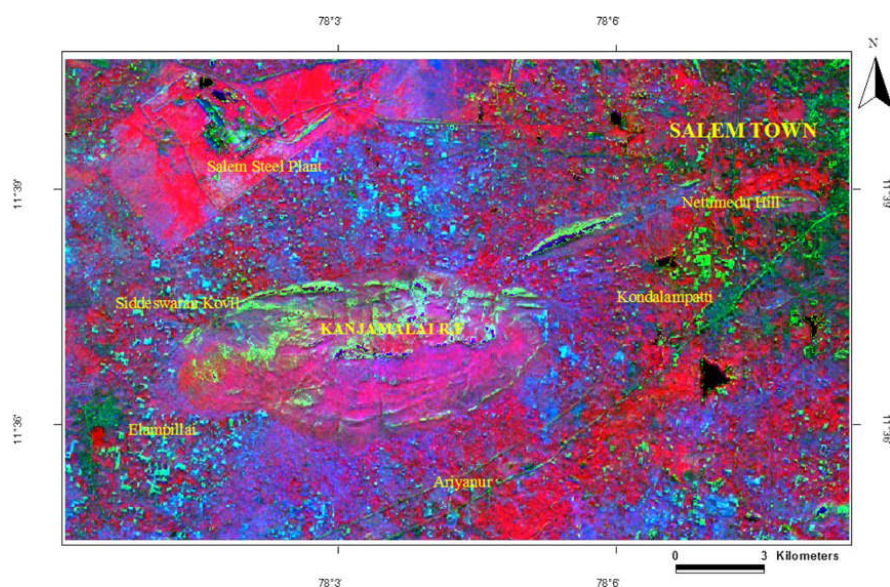
Εικόνες ASTER.



Εικ.18. Συνδυασμός ζωνών ASTER (2/1, 4/3, 4/5) RGB.

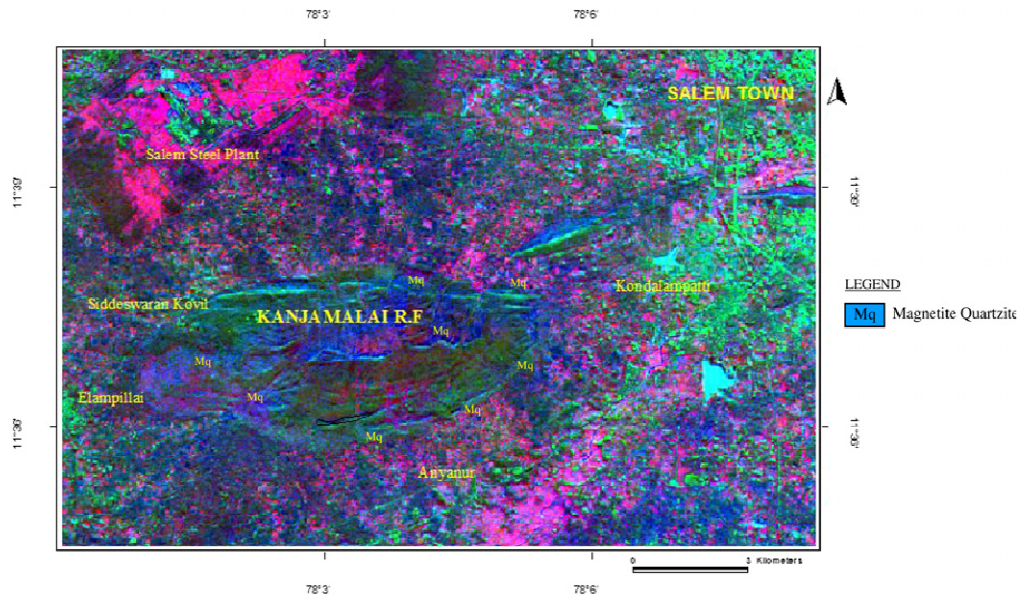
Στην εικόνα (Εικ.18) βλέπουμε με κιτρινοκόκκινο χρώμα το σιδηρομετάλλευμα.

- 2/1 για τι σιδηρομετάλλευμα.



Εικ.19 Συνδυασμός ζωνών ASTER (4/7, 4/1, 4/5) RGB.

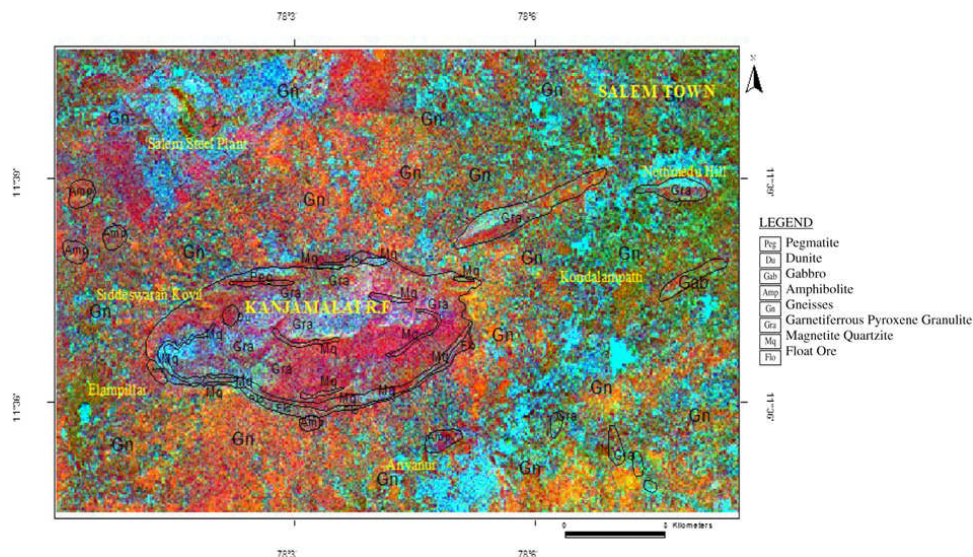
Στην εικόνα (Εικ.19) βλέπουμε με ρόζ χρώμα του λευκόλιθους ενώ με σκούρο μπλε και ανοιχτό μπλε τους γνεύσιους.



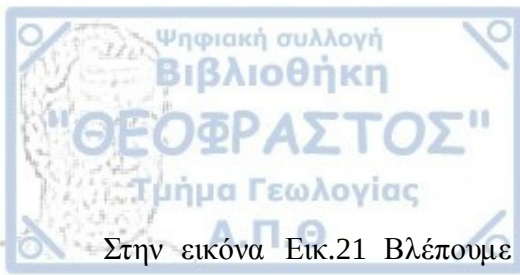
Εικ.20 Συνδυασμός ζωνών ASTER ((1+3)/2, (3+5)/4, (5+7)/6) RGB.

Στην καινούρια εικόνα Εικ.20 το σιδηρομετάλλευμα ξεχωρίζει με σκούρο μπλε χρώμα και πιο ανοιχτό μπλε χρώμα.

- (5+7)/6 για τους γνεύσιους.



Εικ 21. Συνδιασμός ζωνών ASTER((2+4)/3, (5+7)/6,(7+9)/8) RGB.



Στην εικόνα Εικ.21 Βλέπουμε τους λευκόλιθους με ροζ χρώμα και τους γνεύσιους με πορτοκαλί. Η βλάστηση και οι καλλιεργημένες γνευσιακές εκτάσεις εμφανίζονται με βιολετί και ανοιχτό μπλε.

- $(2+4)/3$ για τους λευκόλιθους με γρανάτες και πυρόξενους.
- $(7+9)/8$ για τις βασικές φλέβες.

Κεφάλαιο 2. Η χρήση της τηλεπισκόπησης στη λιθολογική χαρτογράφηση.

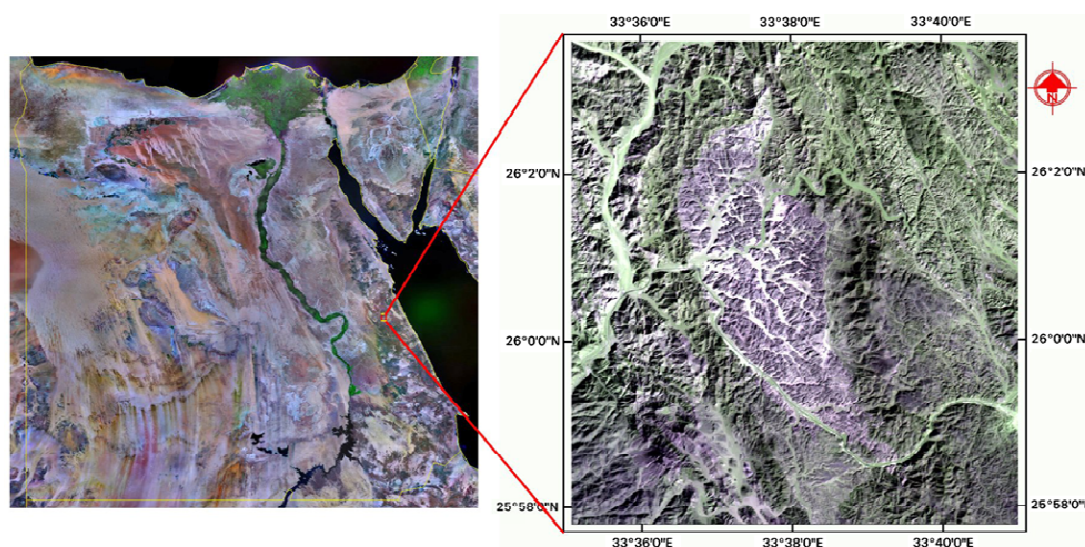
2.1 Λιθολογική χαρτογράφηση της Κεντρικο-Ανατολικής ερήμου της Αιγύπτου με δεδομένα ASTER (από R.Amer, T.Kusky, Ab.Ghulam.) 2008

Lithological mapping in the central Eastern Desert of Egypt using ASTER data.

Γεωλογία περιοχής.

Η περιοχή Fawakhir αποτελείται κυρίως από οφιολίθους με κατά τόπους αλλόχθονα βασικά σώματα. Η οφιολιθική σειρά της περιοχής αποτελείται από σερπεντινίτες, μεταγάββρους, και μεταηφαιστειακά. Στους οφειλίθους διεισδύουν νεότερα γρανιτικά σώματα ενώ βασικές και όξινες φλέβες διακόπτουν επίσης την οφιολιθική σειρά και καλύπτονται από ιζήματα. Τα οφιολιθικά πετρώματα της περιοχής που περιβάλλουν τους γρανιτοειδείς πλουτωνίτες είναι μέρος της οφιολιθικής σειράς που σχηματίστηκε σε ζώνη υποβύθισης. Δεν υπάρχει θερμική μεταμόρφωση στους σερπεντινίτες ενώ η επαφή τους με τον υποκείμενο οφιολιθικό μείγμα είναι απότομη και διακρίνεται από ρήγμα διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΕ. Η επαφή των μεταγάββρων με τους σερπεντινίτες είναι ισχυρά μυλωνιτωμένη.

Στην περιοχή έχουν χρησιμοποιηθεί τεχνικές τηλεπισκόπισης χρήσιμες για τη λιθολογική χαρτογράφηση. Συγκεκριμένα ο Landsat TM με RGB(5/7, 5/1, 5/4 ή 3/4) έχει χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση των σερπεντινίτων ενώ ο Landsat ETM+ (5/3, 5/1, 7/5) και (7/5, 5/4, 3/1) έχει χρησιμοποιηθεί επίσης για τη χαρτογράφηση τους.

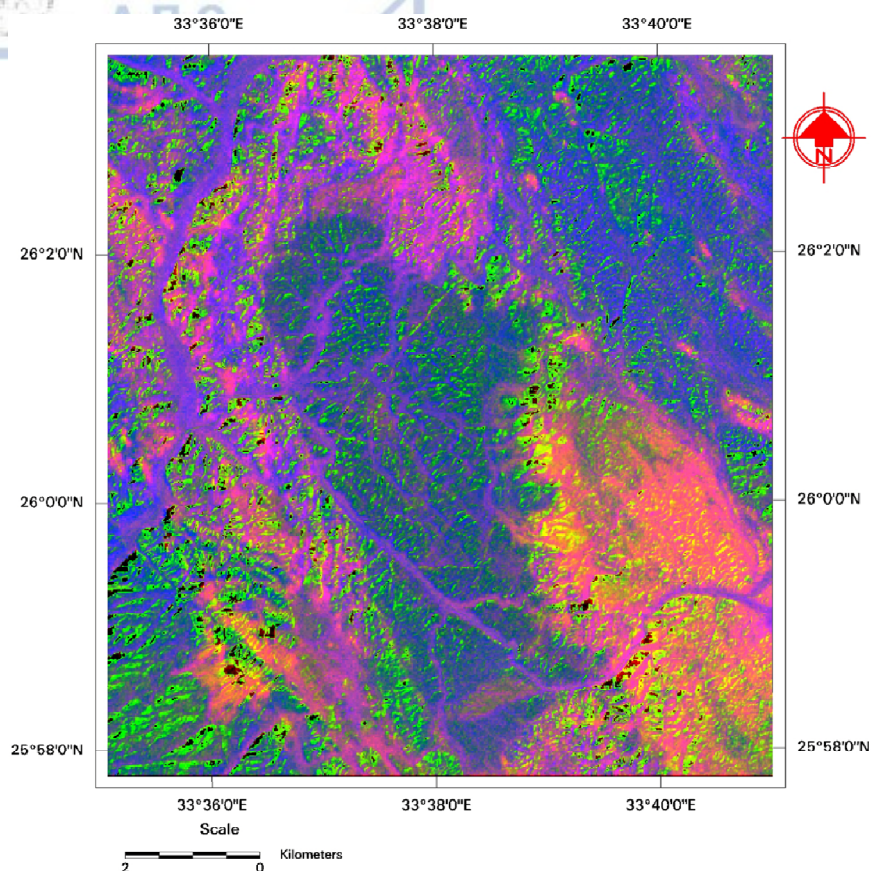


Εικ.22 Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής Fawakhir από δορυφορική εικόνα της Αιγύπτου. (a) Landsat ETM+(7,4,2) ψευδοέγχρωμη εικόνα της Αιγύπτου. (b) ASTER (3,2,1)

Η ζώνη 7 για λιθολογική διαφοροποίηση, η ζώνη 4 για τον υπολογισμό της βιομάζας και η ζώνη 2 που είναι η πράσινη ζώνη που καθορίζει την υγιή βλάστηση συνθέτουν την RGB εικόνα.

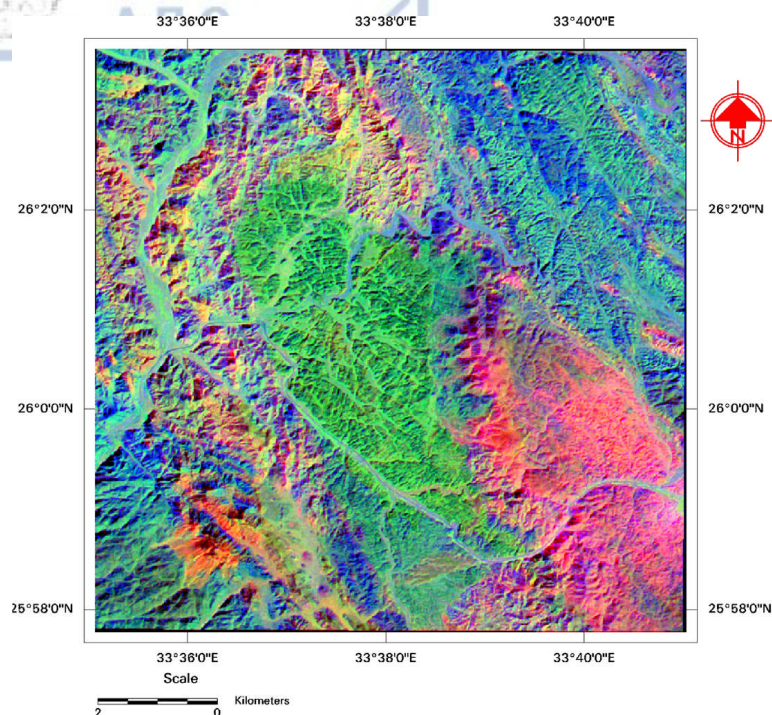
Εικόνες ASTER.

Παρόλαυτα για την καλύτερη λιθολογική χαρτογράφηση της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν ASTER δεδομένα έτσι ώστε να μπορέσουν να χαρτογραφηθούν κ άλλα πετρώματα όπως γρανίτες και μεταμορφικές ζώνες. Έτσι βλέπουμε παρακάτω εικόνες ASTER με αναλογία ζωνών (4/7, 4/6, 4/10) Εικ.23 για τους γρανίτες ενώ με αναλογία ζωνών με (4/7, 3/4, 2/1) Εικ.24 για τη χαρτογράφηση των οφιολίθων.



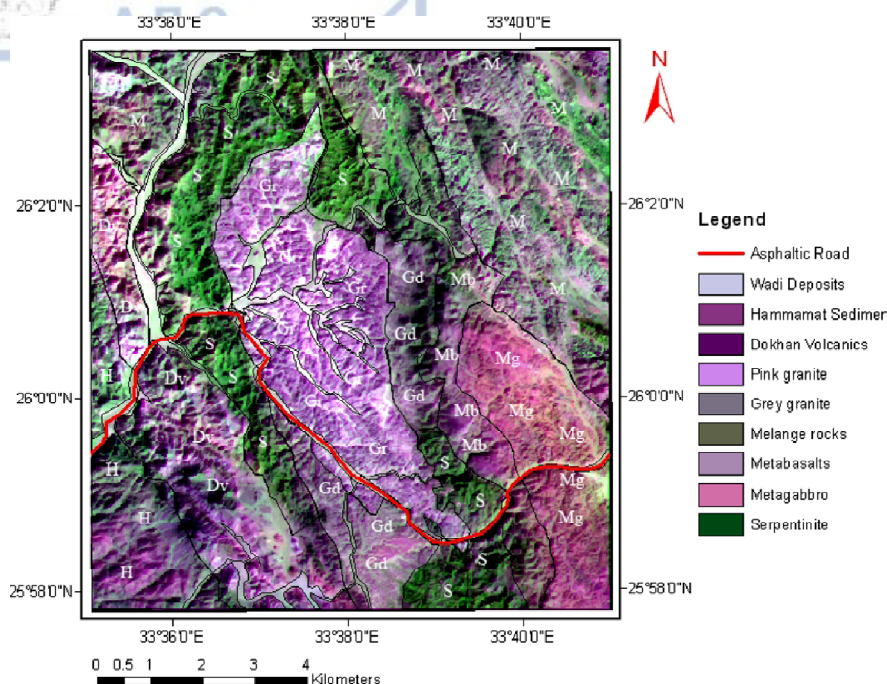
Εικ.23 ASTER RGB εικόνα με αναλογίες ζωνών (4/7, 4/1, 2/3, 4/3)

Σύγκριση του Εικ.23 με αναλογία (4/7, 4/1, 2/3, 4/3) με το Εικ.24 δείχνει ότι οι σερπεντινίτες στην Εικ.23 δεν μπορούν να διακριθούν από τους μεταγάββρους, τα ηφαιστειογενή δεν διακρίνονται από τα ιζήματα, ούτε οι μεταγάββροι από τους μεταβασάλτες. Επίσης οι γρανίτες παρουσιάζουν παρόμοιο χρώμα με το οφιολιθικό μείγμα.



Εικ.24 ASTER RGB εικόνα με αναλογία ζωνών (4/7,3/4,2/1)

Όμοια στην εικόνα (Εικ.24) οι σερπεντινίτες δεν ξεχωρίζουν από τα παρακείμενα πετρώματα ενώ οι μεταγάββροι παρουσιάζουν ίδιο χρώμα με τους μεταβασάλτες, όμως οι γρανίτες ξεχωρίζουν από τα παρακείμενα πετρώματα.



Εικ.25 ASTER RGB εικόνα((2+4)/3, (5+7)/6,(7+9)/8)

Στην εικόνα (Εικ.25) χρησιμοποιήθηκαν image spectra για την δημιουργία νέων αναλογιών για τις εικόνες ASTER όπου για κάθε χαρακτηριστικό απορρόφησης ο αριθμητής είναι το άθροισμα των ζωνών που αποτελούν τη μέγιστη απορρόφηση ενώ ο παρανομαστής αποτελεί το συγκρότημα που βρίσκεται στο ελάχιστο χαρακτηριστικό απορρόφησης.

Η γεωλογική ερμηνεία των εικόνων ASTER με αναλογίες ((2+4)/3, ((5+7)/6, (7+9)/8) δείχνει ότι οι διάφορες λιθολογικές μονάδες και οι μεταξύ τους επαφές μπορούν να διακριθούν πιο εύκολα.

Παρατηρούμε ότι στην εικόνα (Εικ.25) οι λιθολογικές μονάδες διαχωρίζονται ευκρινώς. Οι σερπεντινίτες είναι με ελαφρύ πράσινο χρώμα σε σχέση με τα παρακείμενα πετρώματα, οι μεταγάββροι με ροζ χρώμα, οι μεταβασάλτες με σκούρο πράσινο ενώ ο γκρι και ροζ γρανίτες παρουσιάζονται με το ίδιο βιολετί χρώμα.

Έτσι οι αναλογίες ζωνών που χρησιμοποιούνται αντιπροσωπεύουν και ένα σχηματισμό.

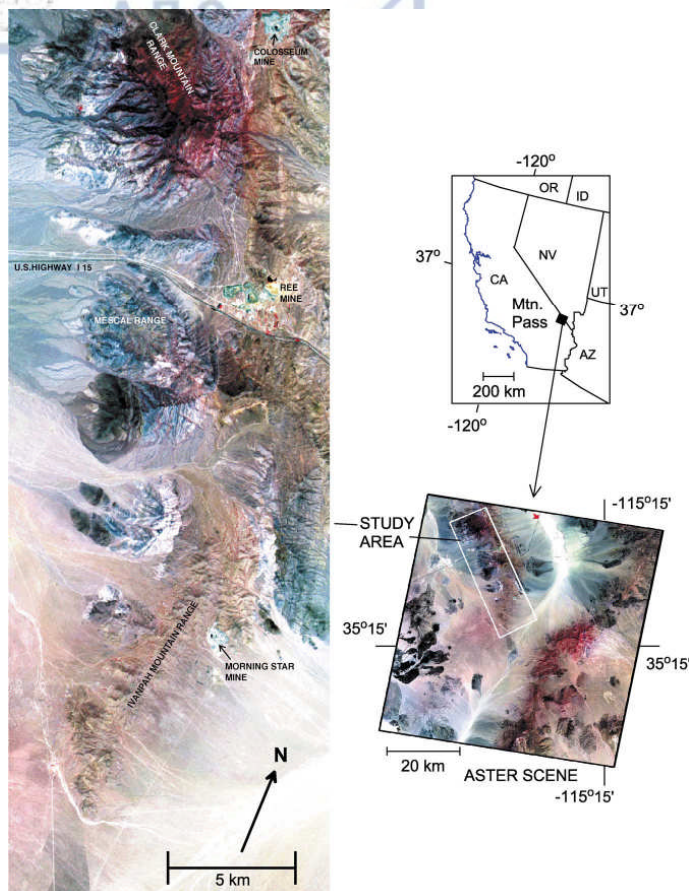
- 4/3 για τη βλάστηση.
- (2+4)/3 για τους σερπεντινίτες και μεταβασάλτες. R
- (5+7)/6 για τα γρανιτικά πετρώματα. G
- (7+9)/8 για μεταγάββρους και σερπεντινίτες. B

2.2 Λιθολογική χαρτογράφηση της περιοχής Mountain Pass, Καλιφόρνια με τη χρήση ASTER δεδομένων.(από L.C. Rowan, J.C. Mars) 2002.

Lithological mapping in the Mountain Pass, California area using ASTER data.

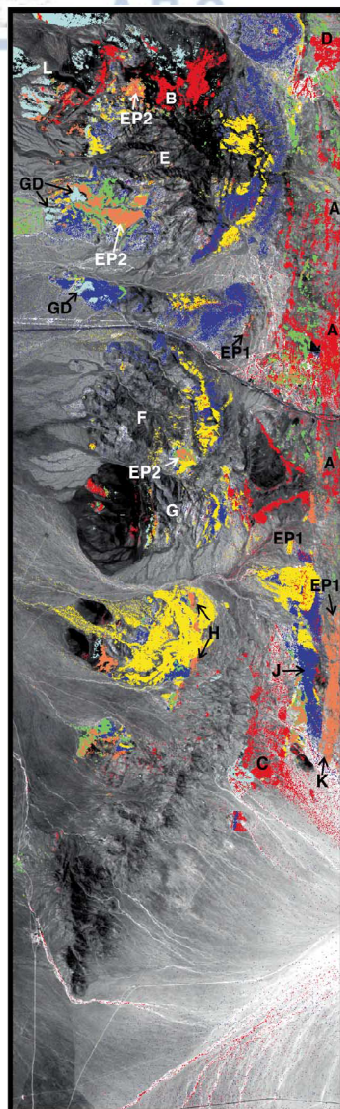
Λιθολογία περιοχής.

Στην περιοχή Mountain Pass συναντάμε πρωτεροζωικό γνεύσιο, γρανιτοειδή, και αμφοβολίτη και όλα αυτά κυρίως στο ανατολικό κομμάτι ενώ το κεντρικό και δυτικό κομμάτι χαρακτηρίζετε από πτυχωμένα και τεκτονικά τοποθετημένα ανθρακικά και χαλαζιακά κλαστικά πετρώματα. Στο νότιο τμήμα συναντάμε γρανιτικά πετρώματα του Ιουρασικού. Επίσης στο νότιο κομμάτι παρατηρούμε διεισδύσεις από μεσωζωικούς γρανοδιορίτες και διορίτες που επίσης έχουν προκαλέσει στην περιοχή θερμική μεταμόρφωση τύπου skarn. Επίσης στην περιοχή συναντάμε και σημαντικά κοιτάσματα λόγω της θερμικής μεταμόρφωσης, κυρίως κοιτάσματα μεικτών σουλφιδίων. Ηφαιστειακά πετρώματα του τεταρτογενούς επικαλύπτουν κατά μέρη τους ψαμμίτες Aztec και τους γνεύσιους κοντά στο κέντρο της περιοχής. Επίσης αλλουβιακές αποθέσεις του τεταρτογενούς καλύπτουν τις δυτικές και νοτιοανατολικές πλαγίες.



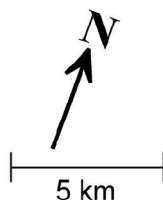
Σχ.26 Εικόνα ASTER της περιοχής Mountain Pass . Κόκκινη ζώνη 3, πράσινη ζώνη 2, μπλε ζώνη 1(RGB)

Στην εικόνα (Εικ.26) φαίνονται οι θέσεις των ορυχείων των κοιτασμάτων με συνδυασμό των υπέρυθρων ζωνών που συνθέτουν την εικόνα.



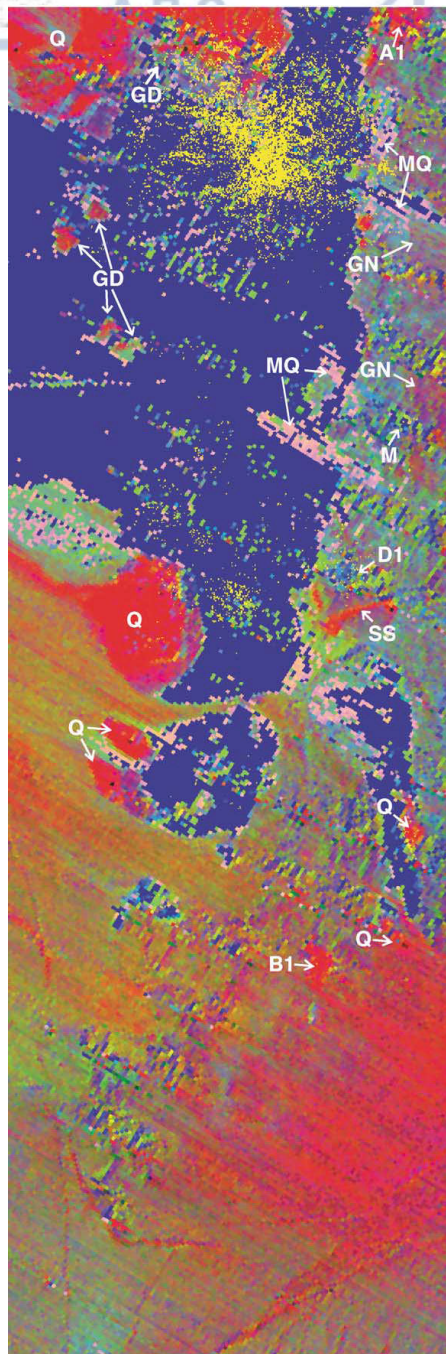
Explanation:

Al-MUSCOVITE
DOLOMITE
LIMESTONE
Fe-MUSCOVITE
EPIDOTE - BEARING ROCKS
Fe,Mg-O-H
+ Al-O-H MINERALS
REE-RICH ROCKS



Εικ.27 Εικόνα Aviris.

Στην εικόνα (Εικ.27) τα ανθρακικά πετρώματα ξεχωρίζουν με κίτρινο χρώμα και σκούρο μπλε (για τους δολομίτες) στο κεντρικό και δυτικό κομμάτι της περιοχής μελέτης. Δύο είδη από πετρώματα με επίδοτο εμφανίζονται αλλά δεν είναι καλά αναγνωρίσιμα στην εικόνα (πορτοκαλί χρώμα). Βασικά γνευσιακά πετρώματα τοποθετούνται στα περιθώρια δυτικά των Ορυχείων (EP1) και γρανοδιוריτικές διεισδύσεις (EP2). Κάποια από τα πετρώματα που διεισδύουν περιέχουν μοσχοβίτη και βλέπουμε με κυανό χρώμα. Τα πρασινα μέρη στην εικόνα αντιπροσωπεύουν κυρίως αμφιβολίτη, βιοτίτη και χλωρίτη, ορυκτά που αποτελούν πετρώματα όπως αμφιβολίτης και βιοτικό σχιστόλιθο μαζί με γνεύσιο κατά μήκος του ανατολικού περιθωρίου της περιοχής (A). Οι γρανοδιוריτικές διεισδύσεις (GD), Το κοίτασμα των μεικτών σουλφιδίων παρουσιάζεται με βιολετί χρώμα.



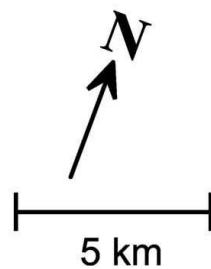
Explanation:

False color composite
decorrelation stretch
of TIR radiance bands

R = band 13

G = band 12

B = band 10



Εικ.28 TIR ζώνη 13, ζώνη 12, ζώνη 10(RGB) με κόκκινο χρώμα Al-μοσχοβίτης, με μπλε ο δολομίτης, με κίτρινο ο ασβεστόλιθος, με κυανό ο Fe-μοσχοβίτης, με πορτοκαλί η μεταμόρφωση επαφής (skarn), ο αμφιβολίτης με επίδοτο και ο σχιστόλιθος, με πράσινο τα ορυκτά Fe, Mg-O-H και Al-O-H και με βιολετί χρώμα τα πετρώματα πλούσια σε REE.

2.3 Χαρτογράφηση του οφιολιθικού συμπλέγματος Muslin Bagh με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων και δεδομένων υπαίθρου.(από Sh.D. Khan, K. Mahmood, J.F.Casey, 2006)

Mapping of Muslin Bagh ophiolite complex (Pakistan) using new remote sensing and field data.

Οφιόλιθικό σύμπλεγμα Muslim Bagh.

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα βρίσκεται στην περιοχή Zhab νοτιοανατολικά της Quetta και είναι η καλύτερη εμφάνιση των οφιολίθων του Πακιστάν. Οι οφιολίθοι αυτοί ανήκουν στη δυτική οφιολιθική ζώνη που διαχωρίζει την ινδική πλάκα από τα ηπειρωτικά τεμάχια Luth και Afghan. Οι οφιολίθοι αποτελούν το ανώτερο τμήμα ενός σωρού που αυξήθηκε βαθμιαία στο ημειρωτικό περιθώριο της Ινδο-Πακιστανικής κατά το κλείσιμο της Νέο – Τηθύς. Το κλείσιμο της Νέο – Τηθύς έληξε με τη σύγκρουση της Ινδικής πλάκας με την Ασιατική και τα ηπειρωτικά τεμάχια Afghan και Luth. Οι οφιολιθικό σύμπλεγμα του Muslim Bagh θεωρείται υπολειμματικό κομμάτι του ωκεάνιου φλοιού της Νέο – Τηθύς και είναι ίδιο με τους άλλους οφιολίθους της «Ινδικής συρραφής.» Το σύμπλεγμα Muslim Bagh περιλαμβάνει δυο κύρια σώματα που αποκαλούνται Jang Tog Gar(JTG) και Saplai Tor Ghar(STG). Αυτά τα δύο σώματα με ανάλογη χημική δομή ανήκουν στο ίδιο οφιολιθικό κάλυμμα και επικαλύπτονται από οφιολιθικό μείγμα και από Μεσοζωικά ιζήματα. Οι οφιολίθοι του Maslin Ragh συνεχίζονται προς τα ανατολικά κάτω από τα ιζήματα του Τεταρτογενούς.

- Jang Tor Ghar Massif.

Αποτελείται από σερπεντινιακούς περιδοτίτες (χαρτζβουργίτες, δουνίτες) και καλύπτει έκταση 150 τετ.χλμ. Η σειρά ξεκινά από την επαφή με περιδοτιτικούς μυλωνίτες και γρανατούχους αμφιβολίτες και συνεχίζει προς τα κάτω με αμφιβολίτες ως λεπτόκοκκους αμφιβολίτες με επίδοτο και σχιστόλιθους με επίδοτο και ενστρώσεις ασβεστίτη. Επίσης συναντάμε στο κατώτερο τμήμα φλέβες χαλαζία.

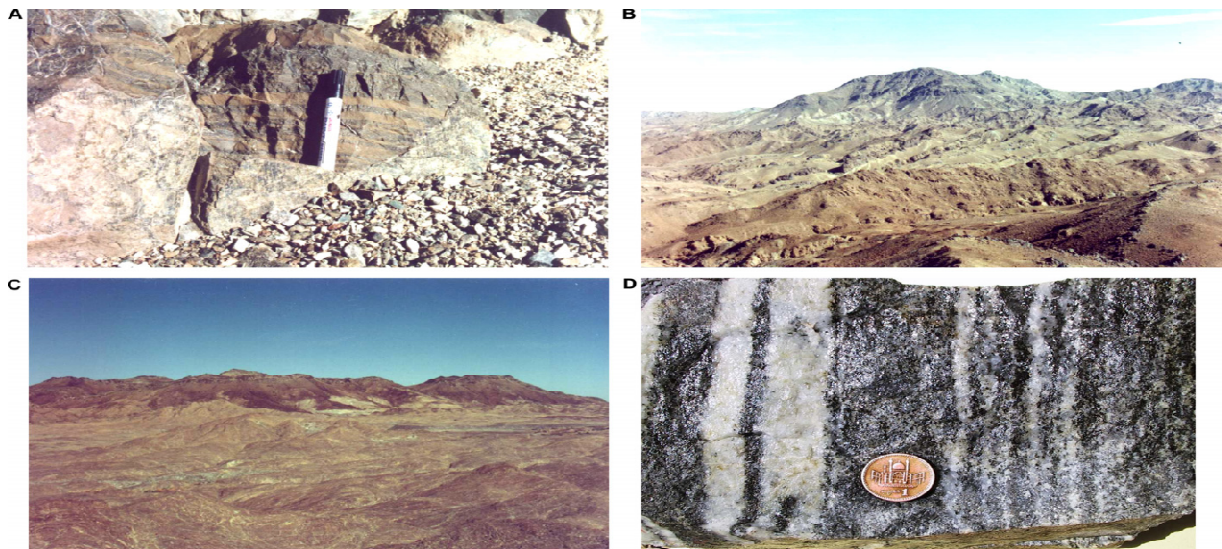
- Saplai Tor Ghar Massif(STG).

Είναι το ανατολικότερο κομμάτι και δείχνει μια σχεδόν πλήρη οφιολιθική ακολουθία. Μόνο το ανώτερο τμήμα αποτελείται από έκχυτα πετρώματα ενώ τα σχετικά ιζήματα απουσιάζουν. Οι βασικοί περιδοτίτες ξεχωρίζουν από μια εξέχουσας δουνιτικής – χαρτζβουργιτικής σύστασης ζώνης. Το πάχος των μεμονωμένων ζωνών ποικίλει από μερικά εκατοστά ως λίγα μέτρα. Τα βασικά μέρη του περιδοτίτη είναι εμφανή σε μεγάλη

έκταση σε σύγκριση με JTG. Το υπόλοιπο τμήμα αποτελείται από χαρτσουργίτη και δουνίτη ιδιαίτερα σερπεντωμένα.

- Μεταβατική ζώνη μανδύα-φλοιού.

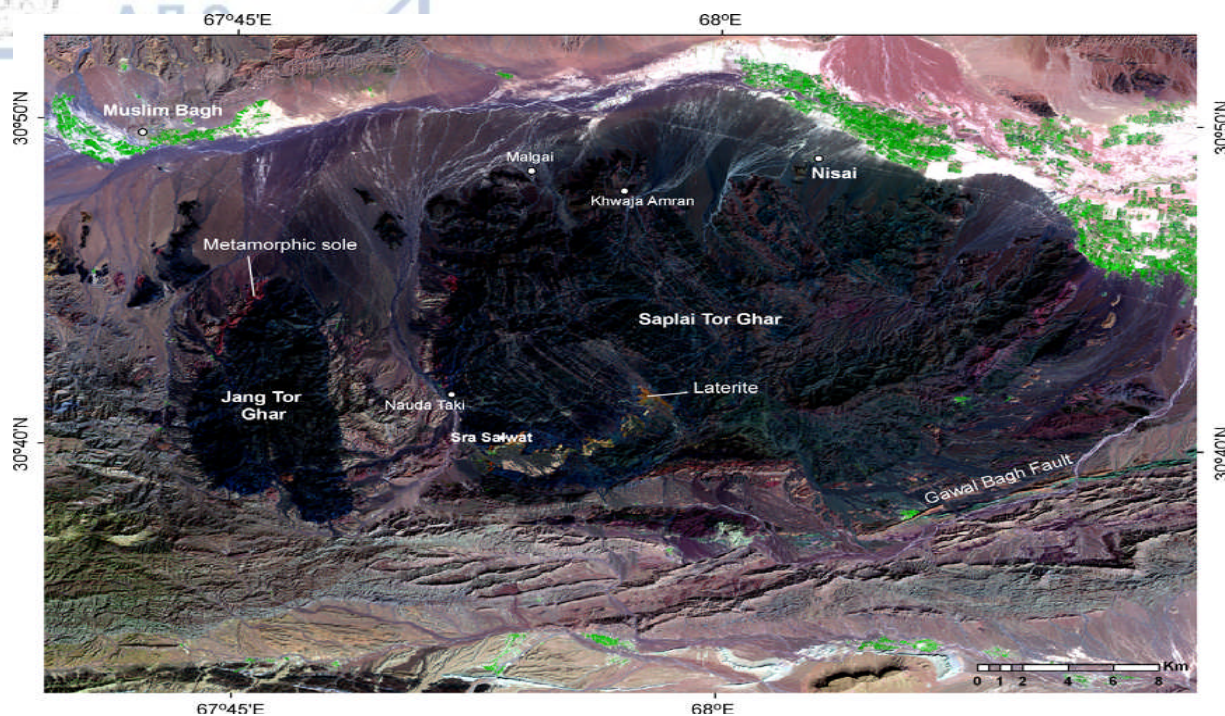
Απλώνεται από λίγα μέτρα ως ένα χιλιόμετρο και αποτελείται από πυροξενίτες, γάββρους και δουνίτες. Ο δουνίτης αποτελείται από 98% ολιβίνη, 2% χρωμίτη και έχει πάνω από 100 μέτρα πάχος.



Εικ.29 Α) Ζώνες χαρτζουργίτη – δουνίτη στην Jang Tor Ghar. (πιο ανοιχτόχρωμος ο δουνίτης και πιο σκουρόχρωμος ο χαρτσουργίτης. Β) πανοραμική εικόνα του περιδοτίτη με τις δολερικές διεisdύσεις. C) Φωτογραφία του δουνίτη στη ζώνη μετάβασης. D) Παραμορφωμένος γάββρος από το τμήμα του φλοιού.

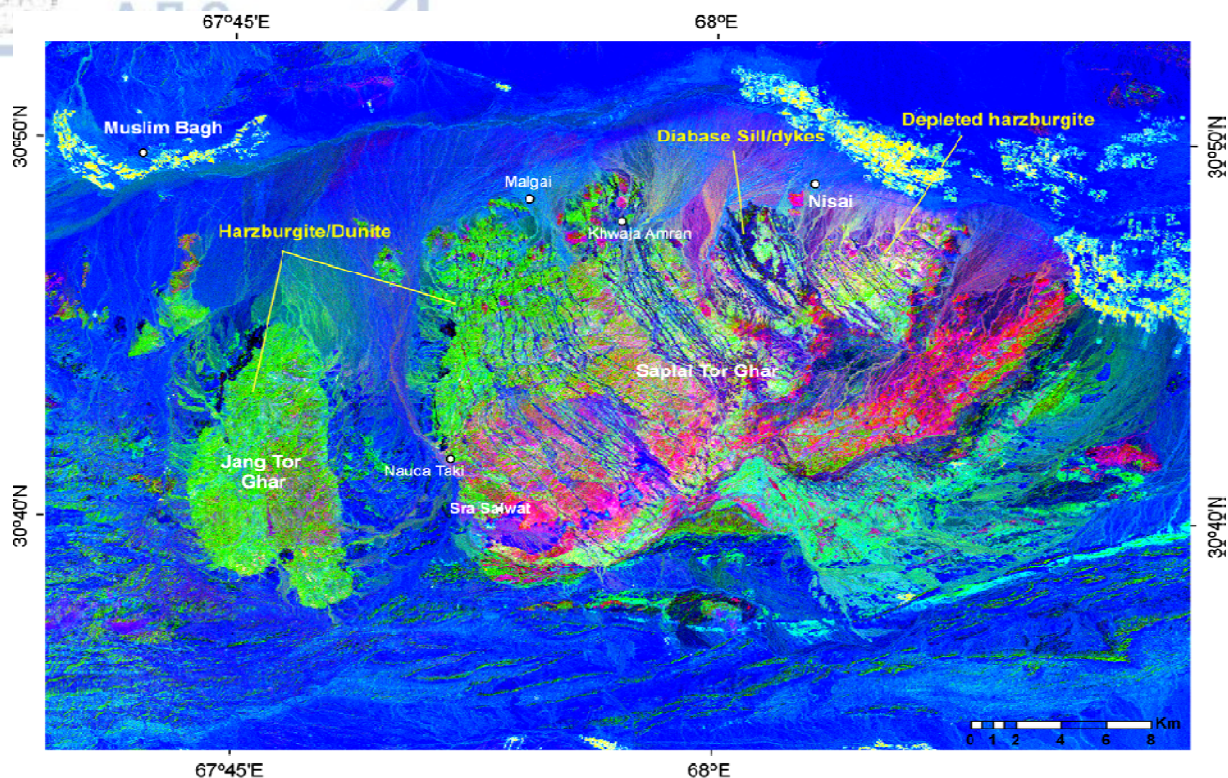
Εικόνες Landsat 7.

Οι ζώνες που χρησιμοποιούνται είναι οι 7 για λιθολογική και υδροθερμική χαρτογράφηση, 4 για υπολογισμό βιομάζας και οριοθέτηση υδάτινων μαζών και 2 που είναι η πράσινη ζώνη για τη διάκριση της υγιούς βλάστησης.



Εικ.30. Landsat 7 ψευδοέγχρωμη 7,4,2 (RGB). Δείχνει την έκταση του οφιολιθικού συμπλέγματος, του λατερίτη, της μεταμορφικής σόλας και μεγάλων ρηγμάτων.

Στην εικόνα (Εικ.30) βλέπουμε την έκταση του οφιολιθικού συμπλέγματος με μπλε – σκούρο μπλε χρώμα και τη μεταμορφική σόλα ενώ εντοπίζουμε μεγάλα ρήγματα. Παρόλα αυτά δεν γίνεται κανένας διαχωρισμός των βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων της ακολουθίας.



Εικ.31 Landsat 7 5/7, 4/5, 3/1(RGB) για το διαχωρισμό του διαβάση, χαρτζβουργίτη και των δουνιτικών σωμάτων.

Ο συνδυασμός που χρησιμοποιείται στην εικόνα (Εικ.31) βοηθάει στη χαρτογράφηση και τη διαφοροποίηση των βασικών και των υπερβασικών πετρωμάτων. Δηλαδή βλέπουμε τους χαρτζβουργίτες και τους δουνίτες που αποτελούν τα βασικά πετρώματα να ξεχωρίζουν στη φωτογραφία με πράσινο χρώμα ενώ τα υπερβασικά πετρώματα που είναι οι διαβάσεις ξεχωρίζουν με σκούρο μπλέ χρώμα.

2.4 Χρήση του Landsat 7 ETM+ για τη λιθολογική και δομική χαρτογράφηση της περιοχής Wadi Afara Heouine (Tahifet – Central Hoggar, Αλγερία) από K. Amri & Y. Mahdjoub & L. Guergour(Ιούλιος 2010)

Use of Landsat 7 ETM+ for lithological and structural mapping of Wadi Afara Heouine area (Tahifet–Central Hoggar, Algeria)

Λιθολογία περιοχής.

Στην περιοχή συναντάμε κυρίως μάρμαρα και χαλαζίτες. Επίσης ο βαθμός μεταμόρφωσης των πετρωμάτων ποικίλει από αμφιβολιτική μέχρι γρανουλιτική. Εκτός από τον ορθογνεύσιο πλούσιο σε κάλιο, αυτά τα μεταϊζήματα συνδέονται με διάφορα βασαλτικά πετρώματα.

Η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε τρεις κύριους τομείς.

- **Ο τομέας Oua Hellèdjène**

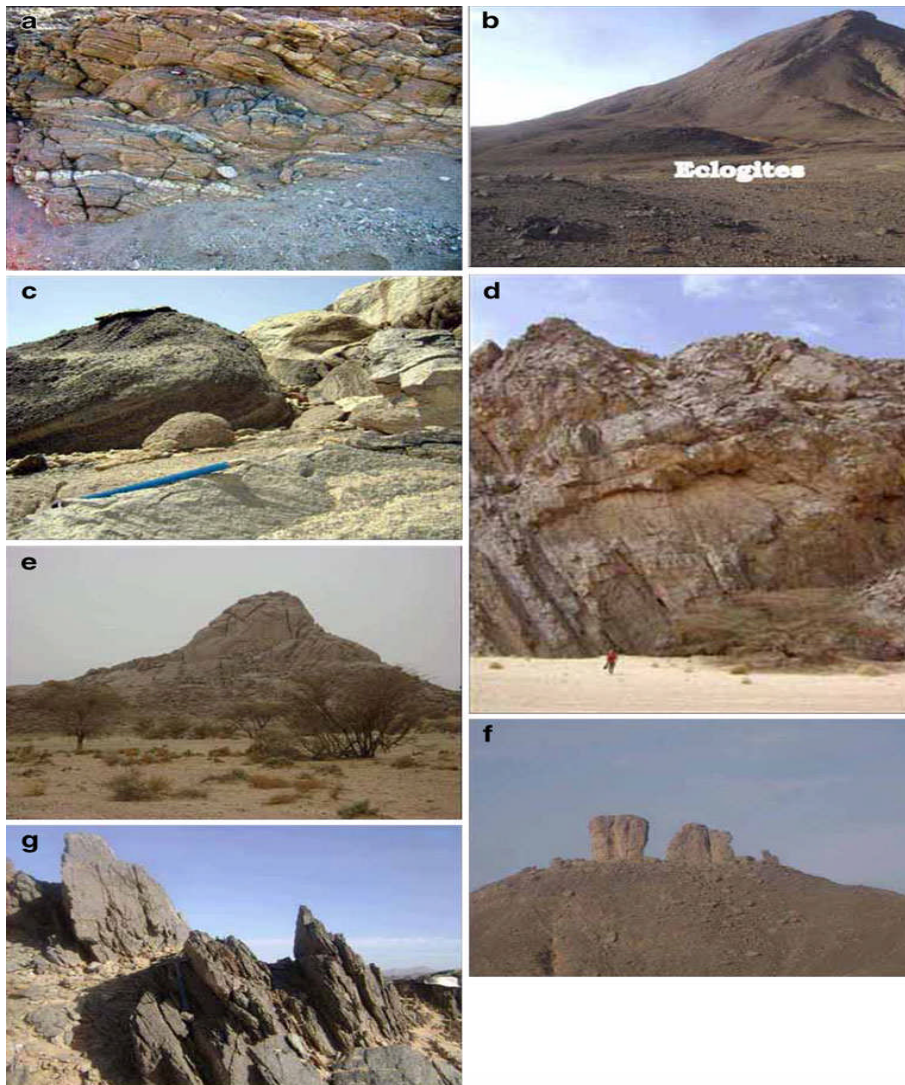
Ο τομέας αυτός έχει ισχυρή γνευσιακή σύνθεση. Μια ομάδα ορθογνεύσιων για βάση και μια ομάδα μεταϊζημάτων ως κάλυμμα. Η ομάδα των μεταϊζημάτων αποτελείται από μεταπηλίτες και σιδηρούχους χαλαζίες. Επίσης ο μαγματισμός είναι πολύ συχνός στην περιοχή. Οι ασβεστοκαλκικός βαθόλιθος της περιοχής Azir N' Fad καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια.

- **Ο τομέας Aghefsa.**

Στην περιοχή αυτή συναντάμε πετρώματα όπως αμφιβολίτες χαμιλής μεταμόρφωσης. Σε αντίθεση όμως στο βόρειο τμήμα της περιοχής συναντάμε αμφιβολίτες με παραγεννέσεις. Στο κομμάτι αυτό διεισδύουν γρανίτες διαφόρων τύπων, γάββροι και τοναλίτες. Στο βορειότερο κομμάτι επίσης εντοπίζεται έντονη ηφαιστειότητα και τα ηφαιστειακά πετρώματα που σχηματίζονται είναι αλκαλικής σύστασης όπως αλκαλικοί βασάλτες, τραχίτες και φωνόλιθοι.

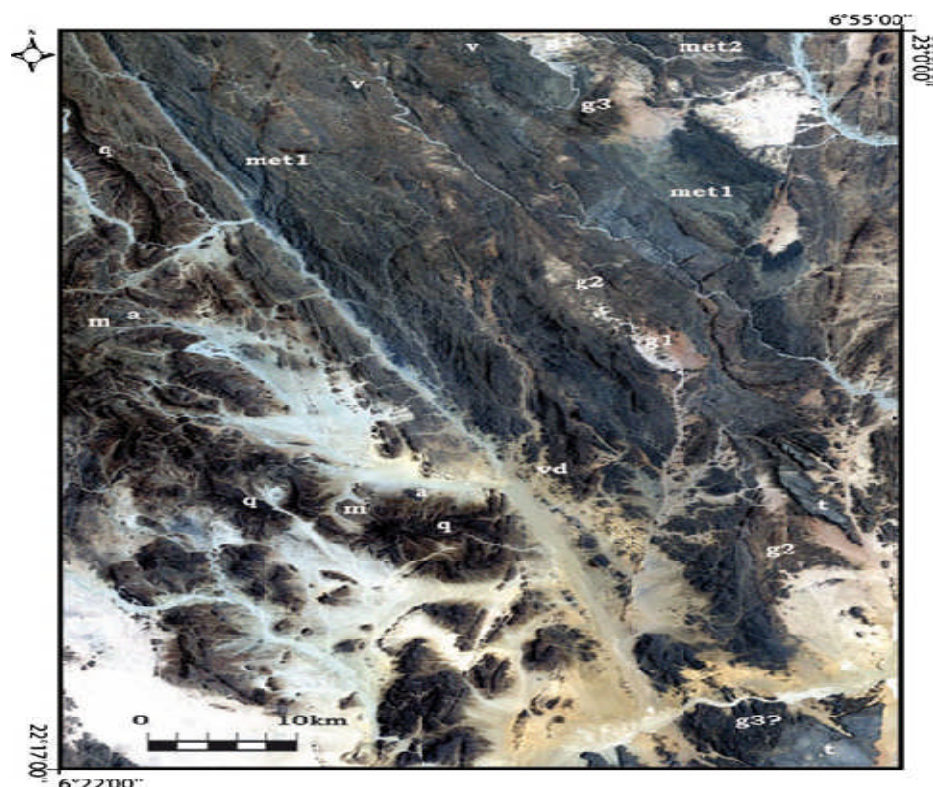
- **Ο τομέας Tin tarabine.**

Ο τομέας αυτός δεν έχει εξεταστεί με λεπτομέρεια αλλά η βάση του αποτελείται από γνεύσιο ίδιο με της περιοχής Oua Hellèdjène.



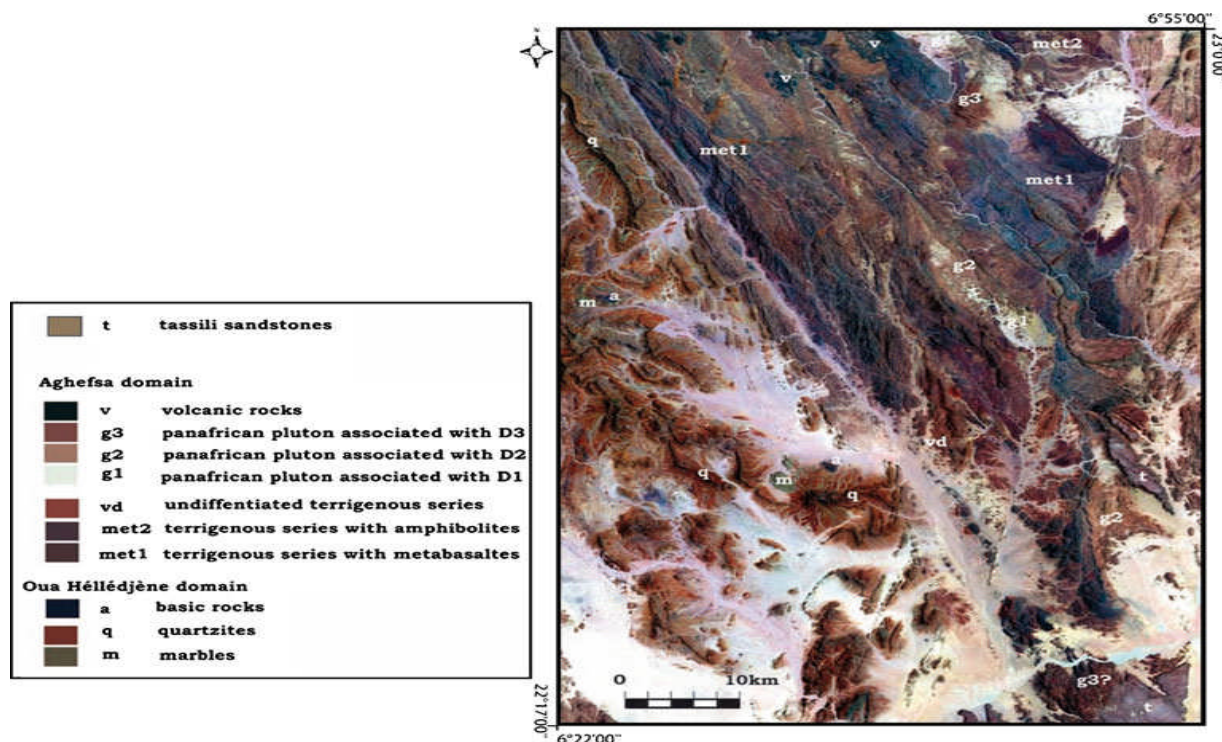
Εικ.32 Λιθολογική σύσταση της περιοχής μελέτης. (α) ορθογνεύσιος – γνεύσιος με πιο σκοτεινά (σιδηρομαγνησιούχα) και πιο φωτεινά (χαλαζιάς – άστριοι) επίπεδα. (β) φακοί από αμφιβολίτες και εκλογίτες (γ) μεταϊζηματογενής ακολουθία. (δ) μάρμαρο. (ε) αλκαλικός βαθόλιθος. (ς) Πρώτες αποκαλύψεις από τα αποθέματα του ορδοβίσιου. (γ) ηφαιστειακά πετρώματα.

Εικόνες Landsat 7 (ETM)+



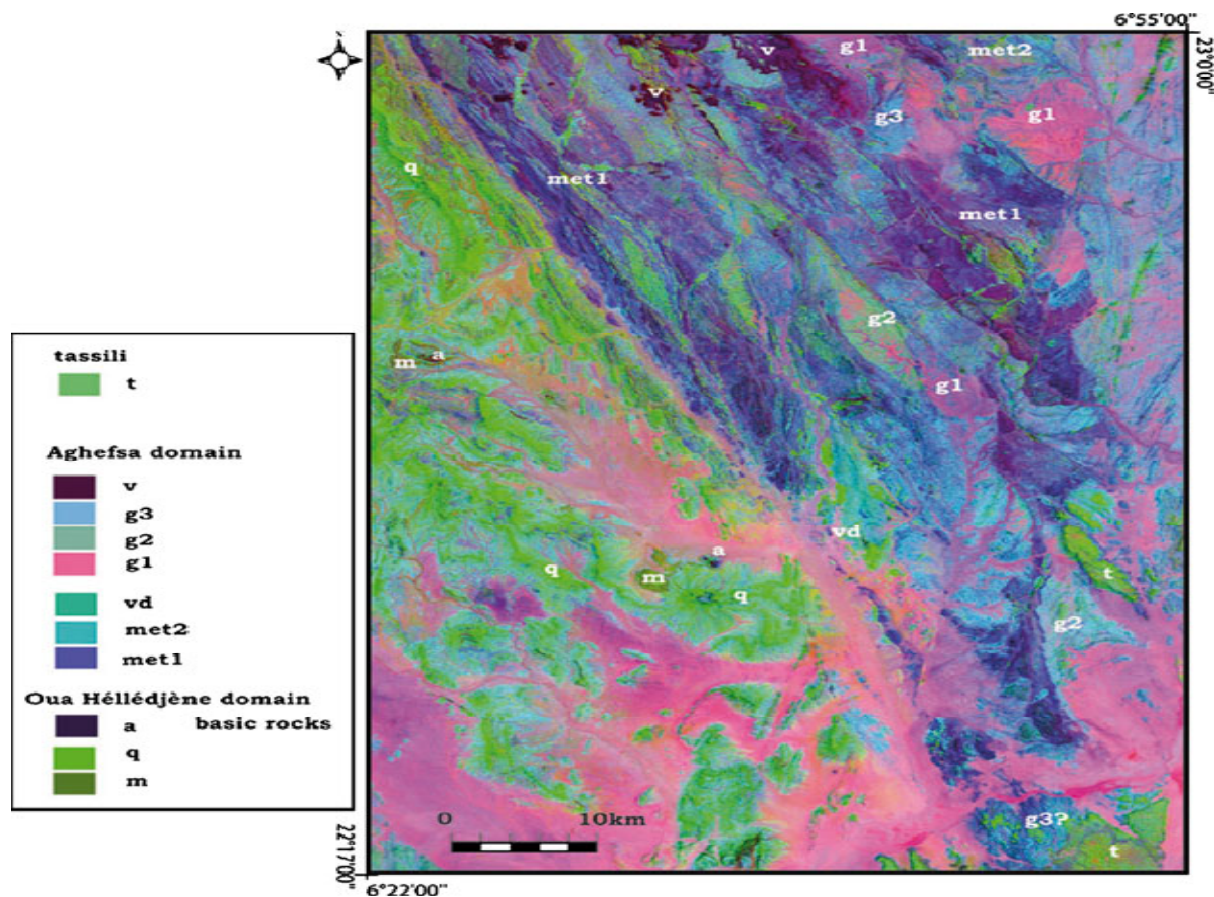
Εικ.32 321 (RGB) ETM+3 ETM+2-ETM+1

Η εικόνα αυτή είναι μέτριας ποιότητας καθώς δεν μπορούμε να διακρίνουμε τις διάφορες φάσεις των πετρωμάτων καθώς όλη η περιοχή παρουσιάζετε με σκούρο χρώμα. Οι ζώνες που χρησιμοποιούνται είναι οι 3 για τη διάκριση διαφορετικών ειδών φυτών, η ζώνη 2 που είναι η πράσινη για τη διαφοροποίηση της υγιούς βλάστησης και η ζώνη 1 χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση των παράκτιων υδάτων, διάκριση φυλλοβόλων/κωνοφόρων δέντρων.



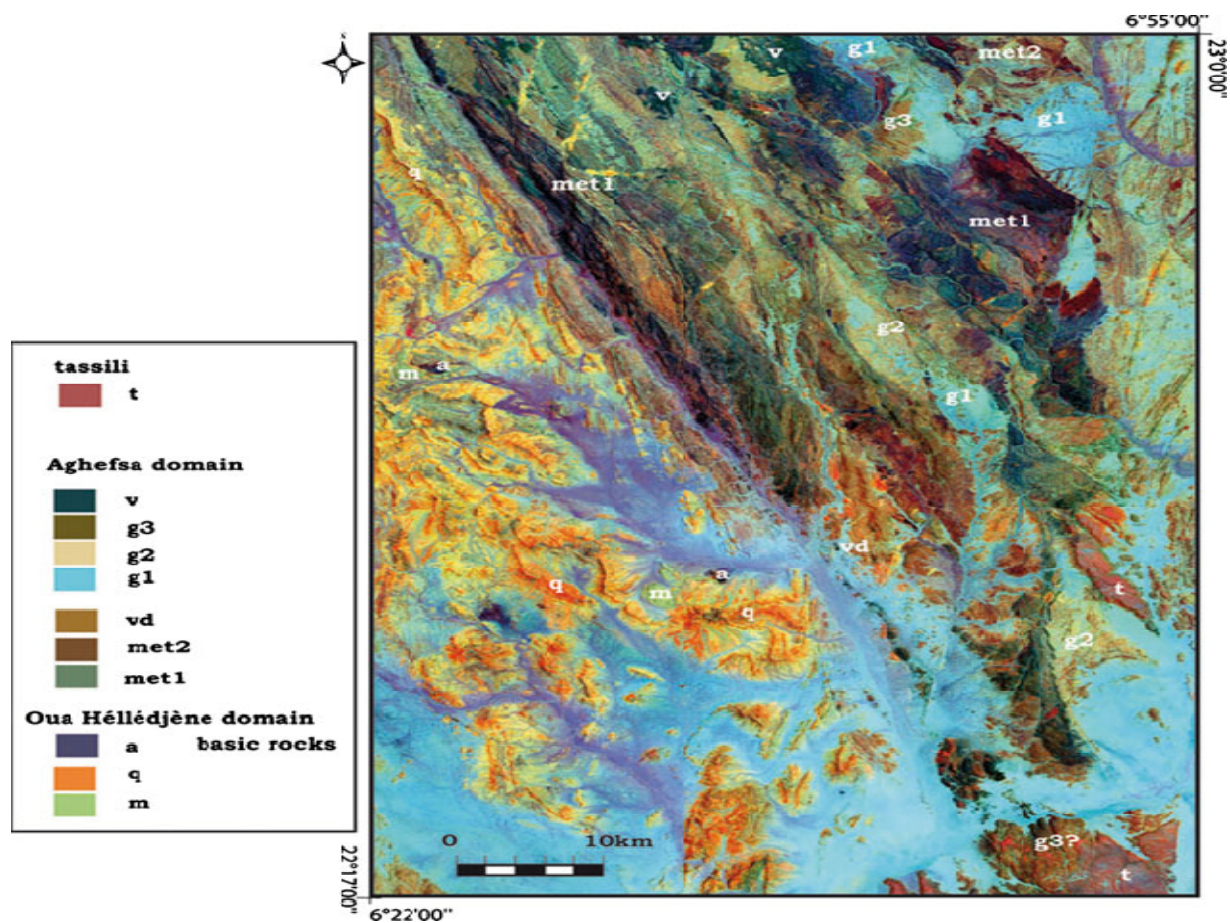
Εικ33. 742 (ETM+7 = μέσο υπέρυθρο, ETM+4 = κοντινό υπέρυθρο, ETM+2 = ορατό.)

Αντίθετα στην εικόνα (Εικ.33) διαχωρίζεται πολύ καλά η εικόνα της Aghefsa με πιο σκούρο χρώμα από την περιοχή Qua Helledjene. Παρόλαυτα ακόμα οι λιθολογία της περιοχής δεν είναι αρκετα διαχωρίσιμες. Οι πολύ σκούρες περιοχές της εικόνας μας αντιπροσωπεύουν το μαρμαρο. Η ζώνη 7 για λιθολογική διαφοροποίηση, η ζώνη 4 για προσδιορισμό βιομάζας και οριοθέτηση των υδάτων, η ζώνη 2 για τη βλάστηση.



Εικ.34. R(ETM+2/ETM+1), G(ETM+4/ETM+3), B(ETM+7/ETM+5)

Στην εικόνα (Εικ.34) τα όρια των περιοχών γίνονται πιο ευκρινή. Το μάρμαρο της περιοχής Qua Helledjène αντιπροσωπεύεται με σκούρο πράσινο χρώμα ενώ οι χαλαζίτες με ανοιχτό πράσινο. Με σκούρο καφέ διακρίνουμε τα ηφαιστειακά πετρώματα. Οι πλουτωνικές διεισδύσεις φαίνονται με ροζ και πρασινωπό χρώμα.



Εικ. 35. $R(ETM+5/ETM+3)$, $G(ETM+4/ETM+2)$, $B(ETM+3/ETM+1)$

Στην εικόνα αυτή οι χαλαζίτες είναι με πορτοκαλί χρώμα και οι ψαμμίτες στο χρώμα της ώχρας. Επίσης στην εικόνα αυτή ξεχωρίζουν καλύτερα τα ηφαιστειακά πετρώματα από τα μεταμορφωμένα. Οι γρανίτες εμφανίζονται με φιστική χρώμα.

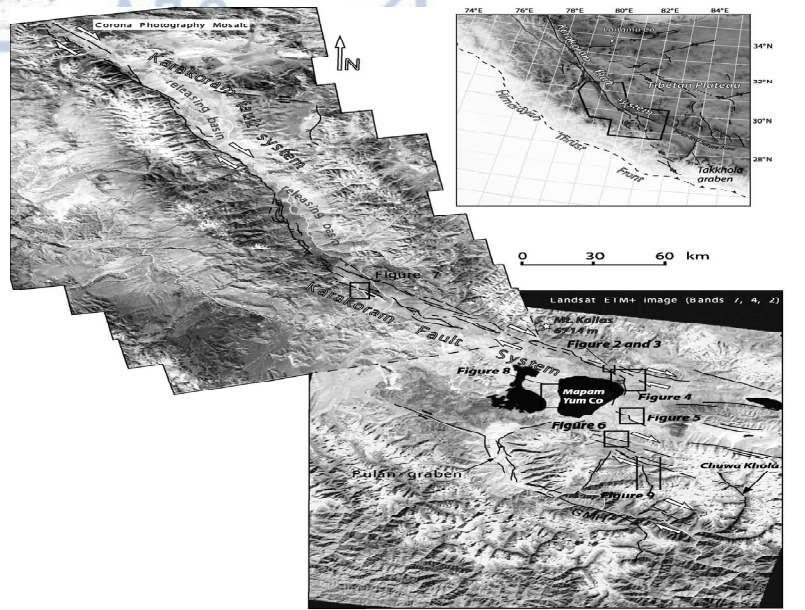
Κεφάλαιο 3. Η χρήση της τηλεπισκόπησης για την αναγνώριση τεκτονικών δομών(ρήγματα, πτυχές, ρωγμές).

3.1 Γεωμετρία, κινηματική και χαρακτηριστικά του τοπίου από μια ενεργή ζώνη τεκτονικής μετατόπισης της έντασης, Karakoram ρηξιγενής ζώνη, ΝΔ Θιβέτ. M.A Murphy, W.D. Burgess (2005)

Geometry, kinematics and landscape characteristics of an active transtention zone, Karakoram fault system, southwest Tibet.

Τεκτονική της περιοχής.

Η περιοχή μελέτης μας που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η περιοχή που βρίσκεται η ρηξιγενής ζώνη Karakoram η οποία τοποθετείται μεταξύ της ζώνης σύγκλισης Θιβέτ – Ιμαλαΐων. Στα ανατολικά βρίσκεται το οροπέδιο του Θιβέτ που σχετίζεται με ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης με παράταξη Α-Δ ενώ δυτικά εντοπίζουμε την πτυχο-εφφιπευτική ζώνη των Ιμαλαΐων. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μετατόπιση της έντασης (transtention) κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης σε πολλές τοποθεσίες. Η ζώνη Karakoram θεωρούνταν αρχικά ότι είναι μια στενή ζώνη ρηγμάτωσης. Παρόλα αυτά αργότερα παρατηρήθηκε ότι νότια της ζώνης το σύστημα φαίνεται να είναι πιο περίπλοκο και αποτελείται από διαφορετικές δομές και ποικιλία προσανατολισμών.

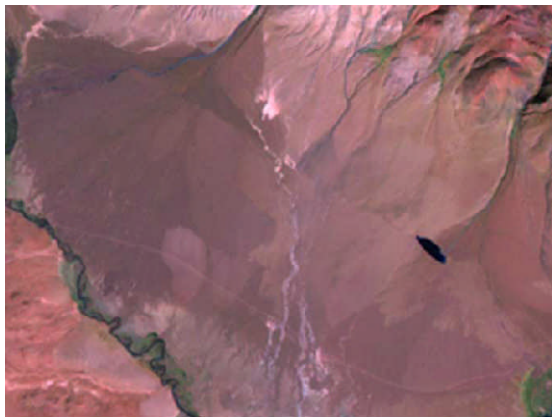


Εικ.36. Χάρτης των ενεργών ρηγμάτων στο νότιο τμήμα της ζώνης Karakoram. Φωτογραφίες Landsat ETM.

Για να αναλύσουμε καλύτερα την τεκτονική της περιοχής που μας ενδιαφέρει θα τη χωρίσουμε σε δύο τμήματα ώστε να μπορούμε να δούμε καλύτερα τη δομή της.

Νοτια της περιοχής Napam Yum Co.

Εικόνες LandsatETM.



Εικ.37. Εικόνα Landsat 7 με ζώνες 743(RGB) της περιοχής Napam Yum Co.

Οι ζώνες (743) που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνθεση της εικόνας δείχνουν τα αλλουβιακά ριπίδια αποτελούνται από μωβ και σκούρα ροζ χρώματα γεγονός που δείχνει το υψηλό επίπεδο υγρασίας σε σχέση με τη λιθολογία επομένως συμπεραίνουμε ότι τα αλλουβιακά ριπίδια είναι νεότερα από τα περιβάλλοντα πετρώματα και ότι η μετόπισή τους μαρτυράει πρόσφατη

ρηγμάτωση. Η χαρτογράφηση των αλλουβιακών ριπιδίων είναι σημαντικός δείκτης για τον εντοπισμό ρηγμάτων οριζόντιας μετ' ατόπισης καθώς δεν μπορούμε να τα διακρίνουμε από τις δορυφορικές εικόνες. Έτσι οποιαδήποτε μετατόπιση των αλλουβιακών ριπιδίων μας δείχνει και μετατόπιση του ανάγλυφου.

Στην περιοχή της φωτογραφία τα ιζήματα μεταφέρονται πρώτα νοτιοανατολικά και στη συνέχεια νοτιοδυτικά στην περιοχή Maram Yum Co διαμέσου δύο ρευμάτων που φαίνονται στη φωτογραφία ως μπλε κανάλια εκ των οποίων το ένα τέμνει το ανώτερο τμήμα των αλλουβιακών αποθέσεων που βρίσκονται δεξιά. Η παρατήρηση αυτή σε συνδυασμό με την ερμηνεία ότι οι πιο πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις βρέθηκαν στην κορυφή της βεντάλιας δείχνει ότι ο ρυθμός ανύψωσης του μπροστινού μετώπου είναι πιο γρήγορος από ότι η κοπή του καναλιού ροής. Αυτές οι βεντάλιες φαίνονται πιο αποχρωματισμένες από ότι τα γύρω πετρώματα (στη φωτογραφία είναι το σκοτεινό σημείο).

Επίσης στη φωτογραφία φαίνεται αρκετά καλά η γράμμωση που κόβει τα ριπίδια και είναι παράλληλη στο μέτωπο του βουνού. Αυτό το ρήγμα ερμηνεύεται ως δεξιόστροφο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης.

BA της περιοχής Maram Yum Co.

Εικόνες ASTER.



Εικ.38. Εικόνα ASTER 321(RGB) του BA τμήματος της περιοχής Maram Yum Co.

Στην εικόνα αυτή όπως και στην προηγούμενη η σύνθεση των ζωνών 321 του ASTER συνθέτει την εικόνα της περιοχής όπου οι αλλουβιακές αποθέσεις φαίνονται με σκούρο ροζ και μωβ χρώμα που δείχνουν το υψηλό ποσοστό τους σε υγρασία.

Αρκετοί επίσης γεωμορφολογικοί δείκτες ενεργούς τεκτονικής παρουσιάζονται σε αυτή την περιοχή.

- 1) Β30-40Δ ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης παρουσιάζει δεξιόστροφη πλευρική μετατόπιση που κόβει τα παλαιότερα αλλουβιακά.
- 2) Τα ρήγματα αυτά συνδέονται με ταπείνωση της δυτικής πλευράς και αλλαγές στη τοπογραφία σε όλη την έκταση της περιοχής.
- 3) Ρηχές λίμνες και περιοχές με υψηλό ποσοστό σε υγρασία, τα σύνορα τους είναι παράλληλα με απότομες πλευρές των ρηγμάτων.
- 4) Αυτό το σύστημα ρηγμάτων κόβει τις παλαιοακτές της περιοχής Marum Yum Co.

Αυτές οι σχέσεις προσδιορίζουν τη σύνδεση μεταξύ ενός κανονικού ρήγματος και ενός δεξιόστροφου ρήγματος οριζόντιας μετατόπισης, ένα νότιο σύστημα και ένα βόρειο σύστημα. Και τα δύο συστήματα συγχωνεύονται στο νότιο τμήμα κατά μήκος του ανατολικού ορίου της περιοχής Marum Yum Co.

3.2 Επέκταση της διάρρηξης στο βόρειο παράκτιο τμήμα της Cordillera, Χιλή. Νέα στοιχεία για εξωτερική του τόξου επέκταση. (από John P. Loveless, Gregory D. Hoke, Richard W.

Allmendinger, Gabriel González, Bryan L. Isacks και Daniel A. Carrizo) 2005

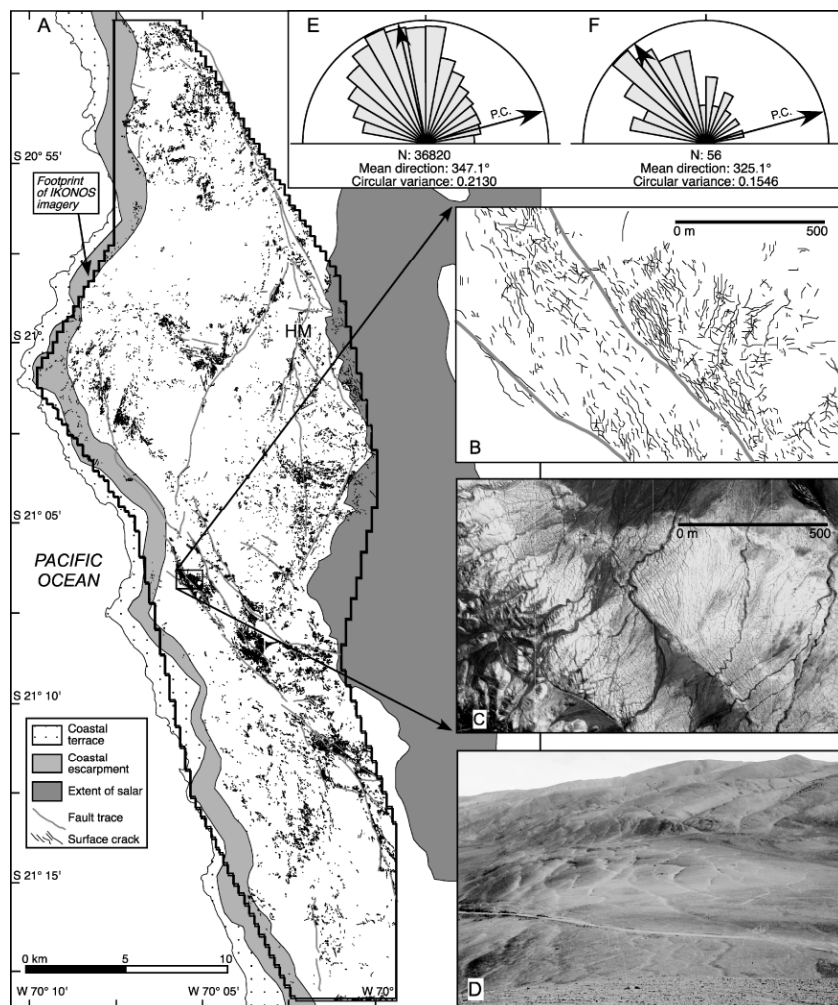
Pervasive cracking of the northern Chilean Coastal Cordillera. New evidence for forearc extension.

Τεκτονική της περιοχής.

Καθώς η λιθοσφαιρική πλάκα Nazca βυθίζεται κάτω από την πλάκα της Νότιας Αμερικής, η ισχυρή σύζευξη που παρατηρείται μεταξύ των δύο πλακών σε βάθος 20 με 50χλμ, επιτρέπει την ελαστική παραμόρφωση της πλάκα που επιπτεύει. Παρόλα αυτά καμία δομή της εξωτερικής πλευράς του τόξου δεν δείχνει δομές σμίκρυνσης λόγω της φόρτωσης. Αντίθετα πολλά χαρακτηριστικά δείχνουν επέκταση παράλληλη της σύγκλισης. Έτσι κανονικά ρήγματα με παράταξη B-N σχηματίζονται τόσο κατά μήκος της ακτής όσο και στο εσωτερικό μέρος. Το εκτόπισμα των κανονικών ρηγμάτων είναι βύθιση, ολίσθηση που υποδηλώνει την επέκταση κάθετα στην παράταξη των ρηγμάτων. Τα περισσότερα ρήγματα χαρτογραφήθηκαν με απότομη βύθιση προς την ξηρά ενώ υπήρχαν και ρήγματα με πιο ομαλή γωνία κλίσης στη χερσόνησο Mejilones. Εκτός από αυτά τα πολύ γνωστά ρήγματα, ρωγμές υπάρχουν και στην εξωτερική πλευρά του τόξου. Στη συγκεκριμένη μελέτη περιγράφεται ένα πυκνό σύστημα ρωγμών που βρίσκεται δυτικά της περιοχής Salar Grande (εικόνα 20), κοντά στην παράκτια περιοχή της Χιλής, Cordillera.

Εικόνα Ikonos.

Μέσω της χαρτογράφησης μια περιοχής 500 τ.χλμ. με τη χρήση του δορυφόρου Ikonos που παράγει δεδομένα υψηλής ανάλυσης σε συνδιασμό με την εργασία στην ύπαιθρο, βρίσκουμε ένα συνεχές σύστημα ρωγμών προσανατολισμένο προς τη μεριά της ζώνης σύγκλισης. Η προέλευση των ρωγμών δείχνει ότι είναι τεκτονική. Με τη χρήση του Ikonos με χωρική ανάλυση 1μ. στην παγχρωματική ζώνη, χαρτογραφήθηκαν περισσότερες από 36.000 ρωγμές (εικόνα 20). Οι ρωγμές έχουν παράταξη παρόμοια με αυτή της ακτογραμμής και του ορίου των πλακών ενώ είναι κάθετα με το διάνυσμα σύγκλισης των πλακών.



Εικ.39. Χαρτογράφηση των ρωγμών της περιοχής *Salar grande*. (A) Μορφολογικά χαρακτηριστικά και οι ρωγμές χαρτογραφήθηκαν με τη χρήση του Ikonos. Πολυάριθμες ρωγμές (μαύρες γραμμές) και συμπλέγματα (γκρι γραμμές) γύρω από τα ρήγματα. (B) Λεπτομερή χαρτογράφηση των ρωγμών γύρω από δύο ρήγματα. (C) Δορυφορική εικόνα του Ikonos που δείχνει το σύμπλεγμα των ρωγμών γύρω από τα ρήγματα. (D) Φωτογραφία του πεδίου που δείχνει τις ρωγμές παράλληλες στα ρήγματα.

Στην εικόνα (Εικ.39) γίνεται η χαρτογράφηση των ρωγμών στην περιοχή μελέτης. Οι ρωγμές στην εικόνα (Εικ.39c) φαίνονται με μαύρες γραμμές και με παράταξη σχεδόν παράλληλη στην παράταξη των ρηγμάτων.

3.3 Δομική και τεκτονική εξέλιξη του βυθίσματος της περιοχής El – Faiyum, ΒΔ Έρημος, Αίγυπτος. Βασισμένη στην ανάλυση με δεδομένα Landsat ETM+ και SRTM.(από Timothy M Kusky, Talaat M Ramadan, Mahmoud M Hassaan, Safwat Gabr) 2011.

Stractural and Tectonic Evolution of EL – Faiyum Depression, North Western Desert, Egypt. Based on Analysis of Landsat ETM+ and SRTM data.

Τεκτονική της περιοχής.

Η περιοχή El – Faiyum αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα που οφείλεται στη δράση τριών ρηγμάτων. Τα ρήγματα έχουν παράταξη ΒΔ-ΝΔ, ΒΔ-ΝΑ και Β-Ν.

Ρήγμα ΒΔ-ΝΑ.

Η περιοχή ανάμεσα στις καλλιέργειες και τα μεσο-Ηωκαινικά ιζήματα που εμφανίζονται ανατολικά της περιοχής Mishigiga, κόβεται από ένα μεγάλο ΒΔ-ΝΑ ρήγμα που μετατοπίζει τα πετρώματα του Ηωκαίνου ανατολικότερα από την περιοχή σε βάθος τουλάχιστον 900 ft. Κάτω από τα ιζήματα του Νείλου. Η περιοχή Mishigiga επηρεάζεται και από ένα ακόμα μεγάλο ρήγμα το οποίο βυθίζεται δυτικά και μεταθέτει τα πετρώματα του υποβάθρου και τα υπερκείμενα ιζήματα κατά 2.500ft. Έτσι τα δυο αυτά ρήγματα διαμορφώνουν το μεγάλο τεκτονικό κέρασ της περιοχής Mishigiga. Αυτό το τεκτονικό κέρασ βρίσκεται δυτικά μιας μεγάλης τάφρου που αποτελεί το βορειότερο βύθισμα της κοιλάδας του Νείλου.

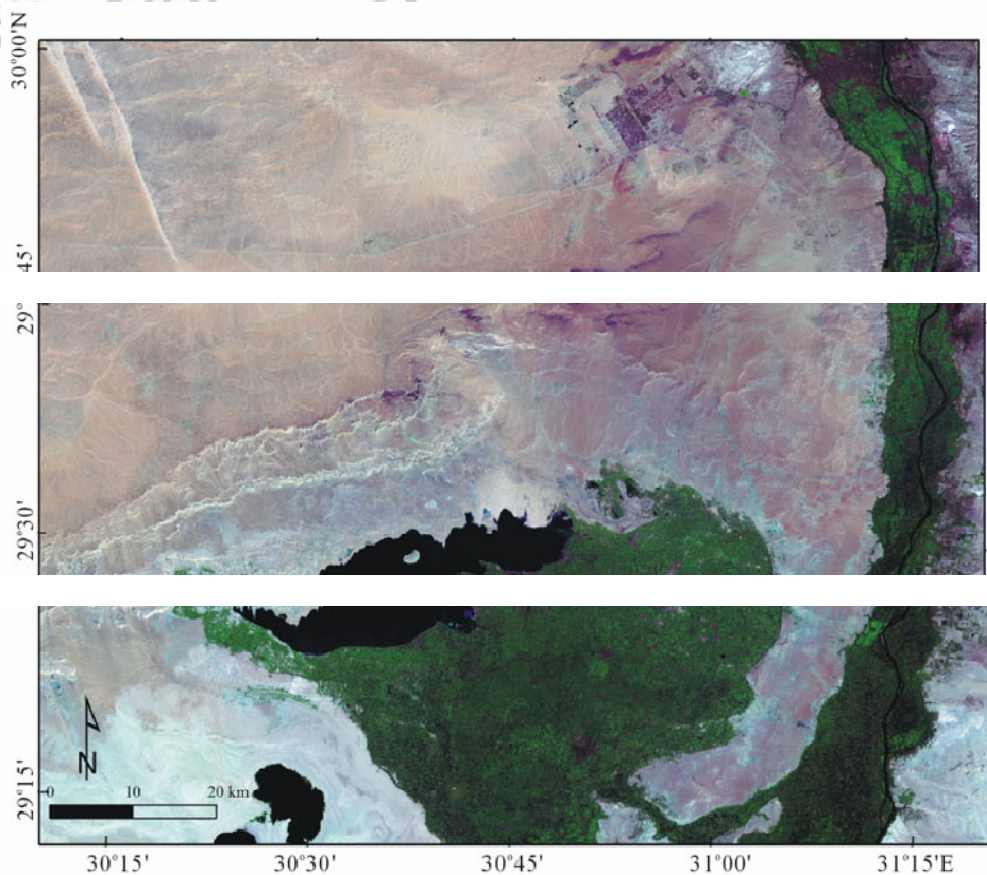
Ρήγμα ΒΑ-ΝΔ.

Αποτελεί το δυτικό ρήγμα της τάφρου του Νείλου .

Ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης Α-Δ.

Ζεύγος από ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης εντοπίστηκε βόρεια της περιοχής μελέτης που κόβουν τα Ολιγοκαινικά ιζήματα και μετατοπίζουν τα βασαλτικά πετρώματα παρουσιάζοντας μετατόπιση 2 Χλμ.

Εικόνες LandsatETM+.



Εικ.40. LandsatETM (7,4,2) RGB.

Ο συνδυασμός των ζωνών 7, 4, 2 είναι ο πιο κατάλληλος για τη μελέτη των τεκτονικών δομών. Μας παρέχει έναν πολύ καλό χάρτη υποβάθρου και πολύ καλό διαχωρισμό των ενοτήτων των πετρωμάτων. Εκτός από τα πετρώματα ξεχωρίζουν και οι γεωλογικές δομές(κυρίως ρήγματα) που είναι ορατά.

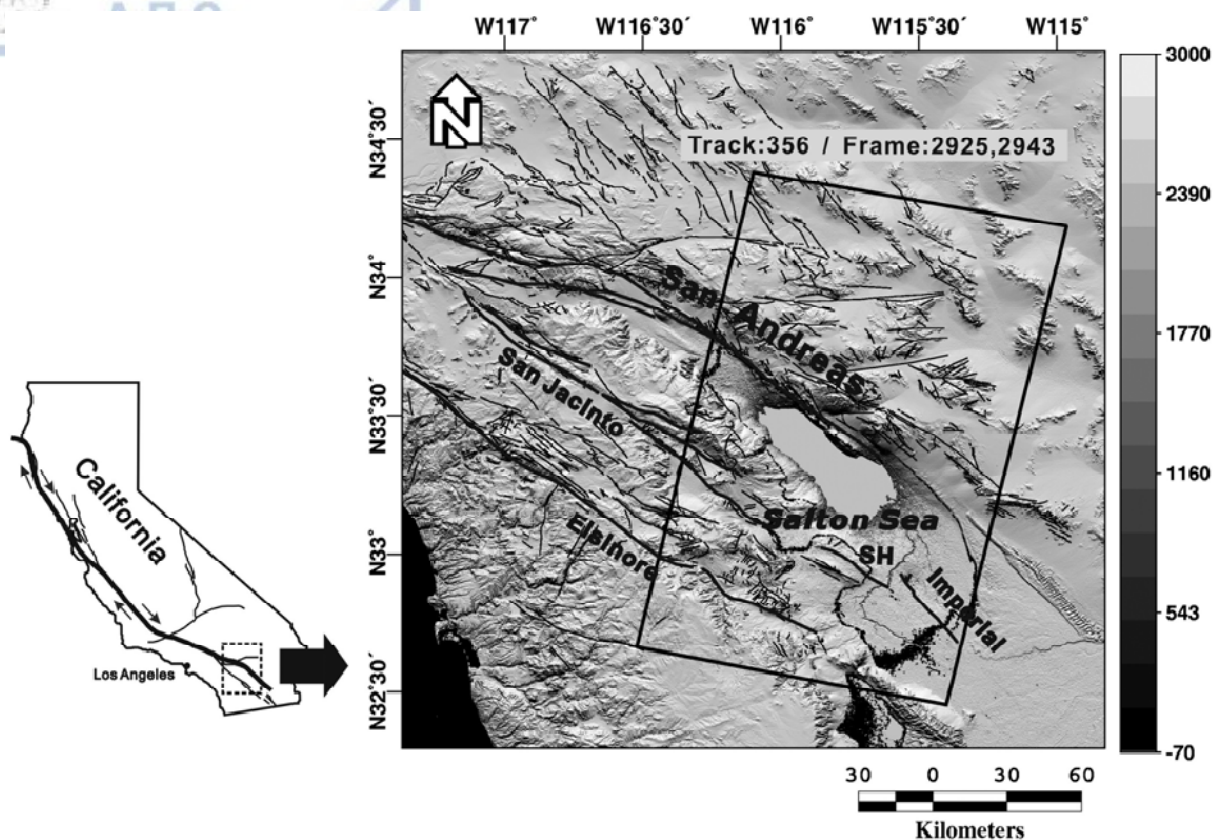
Στην εικόνα (Εικ.40)φαίνεται το τεκτονικό βύθισμα της περιοχής με σκούρο χρώμα.

3.4 Μια σειρά από SAR παρατηρήσεις της επιφανειακή παραμόρφωσης του νοτιότερου άκρου του ρήγματος του Αγίου-Ανδρέα(από Min-Jeong Jo, Joong-Sun Won*,Sang-Wan Kim, Hyung-Sup Jung, 2010).

A time series SAR observations of surface deformation at the southern end of the San Andreas fault zone.

Τεκτονική της περιοχής.

Το ρήγμα του Αγίου Ανδρέα αποτελεί μια πολύ γνωστή ηπειρωτική παραμόρφωση που προκύπτει από τη σχετική κίνηση της πλάκας του Ειρηνικού και της πλάκας της Νότιας Αμερικής. Το ρήγμα έχει μήκος 1.100χλμ. στην Καλιφόρνια και εκτείνεται από Βορειοδυτικά μέχρι Νοτιοανατολικά. Συνήθως αναφέρεται ως σύστημα ρηγμάτων του Αγίου Ανδρέα λόγω των πολλών κλάδων που έχει, οι οποίοι κλάδοι είναι υπο-παράλληλοι του κεντρικού ρήγματος. Η περιοχή μελέτης μας βρίσκεται στο νοτιότερο τμήμα του ρήγματος στην περιοχή Salton Sea. Στην περιοχή εντοπίζονται ίχνη ρηγμάτων και πολλά ενεργά ρήγματα. Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής είναι ξηρό και θερμό, υπάρχουν καλλιεργούμενες εκτάσεις που εντοπίζονται βορειοανατολικά και νοτιοδυτικά της περιοχής Salton Sea που εμφανίζουν εμφανή αποσυσχέτιση μεταξύ των εικόνων SAR. Από τη στιγμή που η φάση από την περιοχή αποσυσχέτισης παρουσιάζει θόρυβο και δεν είναι κατάλληλη για τον εντοπισμό μετατοπίσεων μικρής κλίμακας, χρησιμοποιούμε μόνο περιοχές που παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση και παραμορφώσεις μεγάλης κλίμακας. Το σύστημα ρηγμάτων καλύπτει παραπάνω από 2.500 μ. τοπογραφικού αναγλύφου. Για το λόγο αυτό για να αποφύγουμε λάθη στα DEM λόγω του υψηλού αναγλύφου μια εύστοχη εκτίμηση και αφαίρεση της φάσης της τοπογραφίας είναι κρίσιμα βήματα.



Εικ.41 Χάρτης αναγλύφου το νοτιότερου άκρου της περιοχής μελέτης που συμπεριλαμβάνει ρήγματα του Τεταρτογεννούς και Ολοκαίνου. Οι πιο παχιές γραμμές αντιπροσωπεύουν τα μεγάλα ενεργά ρήγματα της περιοχής. Μέσα στο παραλληλόγραμμο βρίσκεται η περιοχή μελέτης. Το υπόμνημα δείχνει τα τοπογραφικά υψόμετρα της περιοχής και χρησιμοποιεί κλίμακα του μέτρου.

Γενικά για τη συμβολομετρία SAR.

Η συμβολομετρία SAR χρησιμοποιείται γενικότερα για την κατασκευή μεγάλης ακρίβειας ψηφιακών αναγλύφων (DEM). Η τεχνολογία αυτή βοήθησε αρχικά στον εντοπισμό και τη μέτρηση παραμορφώσεων της επιφάνειας της γης μετά από σεισμούς αλλά στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε και για τη μέτρηση άλλων παραμορφώσεων στην επιφάνεια της γης που οφείλονται σε ηφαίστεια και καθιζήσεις εδαφών ή που έχουν σχέση με την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Η συμβολομετρία βασίζεται στη φάση της H/M ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, συγκρίνοντας τη διαφορά φάσης της ανακλώμενης ακτινοβολίας που καταγράφεται στις εικόνες οι οποίες ελήφθησαν από το ίδιο σημείο είναι δυνατόν να εντοπιστούν μικρομεταβολές του ανάγλυφου. Η προϋπόθεση όμως για την επιτυχή εφαρμογή της συμβολομετρίας είναι η ύπαρξη υψηλής συσχέτισης (ομοιότητας) των εικόνων που θα χρησιμοποιηθούν.

Στην πράξη ο πιο ασφαλής τρόπος για να μετρήσουμε αλλαγές στη φάση είναι να τις καταγράψουμε επακριβώς και στη συνέχεια να υπερθέσουμε τη μια πάνω στην άλλη ή να αφαιρέσουμε τη μια από την άλλη. Έτσι θα προκύψει το συμβολόγραμμα (interferogram), η οποία εικόνα θα είναι συνήθως κωδικοποιημένη χρωματικά για να δείχνει τις διαφορές φάσεων σε μορφή κροσσών. Τα pixels των εικόνων που θα έχουν την ίδια φάση θα ενισχύουν το ένα το άλλο και θα χρωματίζονται με κόκκινο χρώμα. Όπου τα pixels θα έχουν διαφορετικό χρώμα θα ακυρώνουν το ένα το άλλο και θα καταγράφονται με μπλε χρώμα, ενώ οι ενδιάμεσες φάσεις θα καταγράφονται με ενδιάμεσα χρώματα. Με περαιτέρω επεξεργασία των εικόνων που καλείται unwrapping (ξετύλιγμα), καταγράφεται η περιοδικότητα του προτύπου των κροσσών και γίνεται η αρίθμηση τους και στη συνέχεια πραγματοποιείται ο υπολογισμός της πραγματικής απόστασης μεταξύ των αντικειμένων με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλης ακρίβειας DEM.

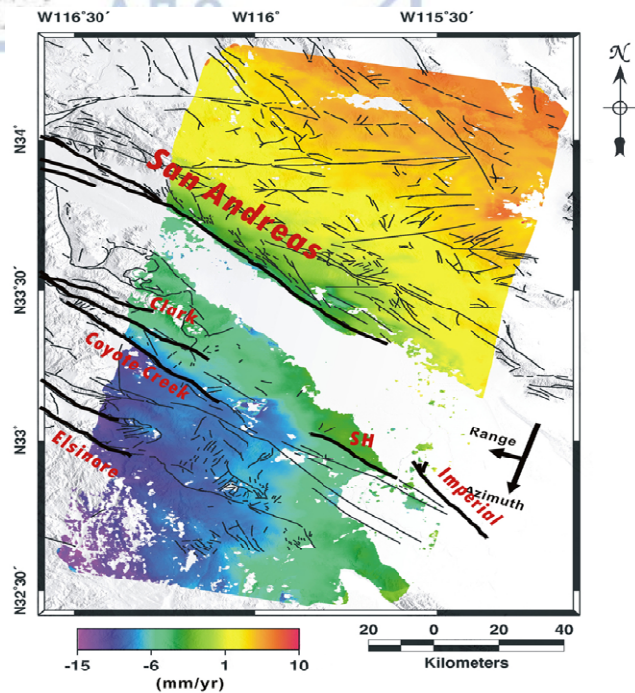
Πολλαπλές εικόνες SAR χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των επι σειρά ετών επιφανειακών παραμορφώσεων της περιοχής μελέτης. Σαράντα τέσσερα σετ SAR δεδομένων από τους δορυφόρους ERS-1 και ERS-2 ενώ δώδεκα σετ δεδομένων από τον Envisat ASAR. Ένα συμβολόγραμμα SAR δεδομένων κατασκευάζεται από τη μέτρηση της διαφοράς φάσης μεταξύ δύο ίδιων εικόνων. Στο συμβολόγραμμα συμπεριλαμβάνεται η επιφανειακή παραμόρφωση καθώς και οι φάσεις του τοπογραφικού υψομέτρου, του ατμοσφαιρικού και του θερμικού θορύβου. Τα ψηφιακά μοντέλα ανάγλυφου (DEM) χρησιμοποιήθηκαν για την αφαίρεση της τοπογραφικής φάσης. Πολλά από τα συμβολογράμματα που προήλθαν από τους δορυφόρους ERS-1/2 και από τον Envisat είχαν τροποσφαιρική καθυστέρηση του σήματος που σχετίζεται με την τοπογραφική ανύψωση. Η επίδραση αυτών των ατμοσφαιρικών στοιχείων επηρεάζει την επιφανειακή παραμόρφωση. Για να ελαχιστοποιήσουμε αυτή την επίδραση κατάλληλα στοιχεία των συμβολογραμμάτων των ERS-1/2 χρησιμοποιήθηκαν. Τα κατάλληλα συμβολογράμματα επιλέχθηκαν ώστε να είναι άκρως συσχετιζόμενα και με λιγότερη επίδραση από την τροπόσφαιρα.

Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο ειδικός αλγόριθμος SBAS που είναι ικανός να μειώσει τις παρεμβολές των φάσεων λόγω της επίδρασης πολλών σφαλμάτων. Επίσης ο αλγόριθμος αυτός ελαχιστοποιεί τα σφάλματα κατά το «ξετύλιγμα».

$$\delta\phi A - B = \delta\phi_{def} + \delta\phi_{atm} + \delta\phi_{orb} + \delta\phi_{topo} + \delta\phi_{noise}.$$

Όπου $\delta\phi A - B$ είναι η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο εικόνων, $\delta\phi_{def}$ είναι η διαφορά φάσης λόγω της παραμόρφωσης κατά τη διέλευση του δορυφόρου, $\delta\phi_{atm}$ είναι η διαφορά φάσης από ατμοσφαιρικά αίτια, $\delta\phi_{orb}$ είναι η διαφορά φάσης λόγω μη ακρίβεια της τροχιάς του δορυφόρου, $\delta\phi_{topo}$ είναι η τοπογραφική φάση που εξαλείφεται από την κατασκευή των ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου και $\delta\phi_{noise}$ είναι η φάση των θερμικών θορύβων.

Έτσι προκύπτει η Εικ.42 που δείχνει την επιφανειακή παραμόρφωση στο νοτιότερο άκρο της ζώνης ρηγμάτων του Αγίου Ανδρέα που υπολογίστηκε με βάση τον αλγόριθμο SBAS, από τον Δεκέμβριο του 1992 μέχρι τον Οκτώβριο του 1999.



Εικ.42 Χάρτης της επιφανειακής παραμόρφωσης όπως υπολογίστηκε από τον αλγόριθμο SBAS από το Δεκέμβριο του 1992 μέχρι τον Οκτώβριο του 1999. Τα βέλη δείχνουν ότι οι λήψεις γίνανε κάθετα στην πορεία πτήσης του δορυφόρου. Οι παχιές γραμμές δείχνουν τα ενεργά ρήγματα της περιοχής.



Βιβλιογραφία

- Inés Di Tommaso, Nora Rubinstein, 2007 « Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina», Ore Geology Reviews 32 (2007) PP 275–290.
- Talaat M. Ramadan , Mohammed F. Abdel Fattah, 2010 «Characterization of gold mineralization in Garin Hawal area, Kebbi State, NW Nigeria, using remote sensing. » [The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences \(2010\) 13, PP. 153–163.](#)
- Bihong Fu1, Guodong Zheng, Yoshiki Ninomiya, Chuanyuan Wang, and Guoqiang Suv, 2007 «Mapping hydrocarbon-induced mineralogical alteration in the northern Tian Shan using ASTER multispectral data.» ,Terra Nova, Vol 19, No. 4, PP. 225–231
- Petrovic, S.D. Khan, H.S. Chafetz «Remote detection and geochemical studies for finding hydrocarbon-induced alterations in Lisbon Valley, Utah, 2008». Marine and Petroleum Geology 25 (2008) PP. 696–705.
- Sankaran Rajendran , A. Thirunavukkarasu , G. Balamurugan, K.Shankar, 2011 «Discrimination of iron ore deposits of granulite terrain of Southern Peninsular India using ASTER data.» [Journal of Asian Earth Sciences 41 \(2011\) PP. 99–106.](#)
- H.M. Rajesh, 2008 «Mapping Proterozoic unconformity-related uranium deposits in the Rockhole area, Northern Territory, Australia using landsat ETM+, 2007» Ore Geology Reviews 33 (2008) PP. 382–396.
- Reda Amer *, Timothy Kusky, Abduwasit Ghulam «Lithological mapping in the Central Eastern Desert of Egypt using ASTER data», Journal of African Earth Sciences 56 (2010) PP(75 -82)
- Lawrence C. Rowan, John C. Mars, 2009 «Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data» Remote Sensing of Environment 84 (2003) PP. (350–366).

- Shuhab D. Khan a,*, Khalid Mahmood b, John F. Casey,2006 «Mapping of Muslim Bagh ophiolite complex (Pakistan) using new remote sensing, and field data»,*Journal of Asian Earth Sciences* 30 (2007) PP.(333–343).
- Kamel Amri & Yamina Mahdjoub & Lazhar Guergour, 2010 «Use of Landsat 7 ETM+ for lithological and structural mapping of Wadi Afara Heouine area (Tahifet–Central Hoggar, Algeria)», *Arab J Geosci* DOI 10.1007/s12517-010-0180-8
- John P. Loveless, Gregory D. Hoke, Richard W. Allmendinger, Gabriel González, Bryan L. Isacks, Daniel A. Carrizo, 2005. «Pervasive cracking of the northern Chilean Coastal Cordillera: New evidence for forearc extension»,*Geology* 2005;33; PP. 973-976.
- Michael A. Murphy *, W. Paul Burgess, 2006 «Geometry, kinematics, and landscape characteristics of an active transtension zone, Karakoram fault system, Southwest Tibet», *Journal of Structural Geology* 28 (2006) PP. 268–283.
- Timothy M Kusky, Talaat M Ramadan, Mahmoud M Hassaan, Safwat Gabr, 2011 «Structural and Tectonic Evolution of El-Faiyum Depression, North Western Desert, Egypt Based on Analysis of Landsat ETM+, and SRTM Data». *Journal of Earth Science*, Vol. 22, No. 1, p. 75–100, February 2011
- Sang-Wan Kim, Hyung-Sup Jung. Min-Jeong Jo, Joong-Sun Won, 2010 « A time-series SAR observation of surface deformation at the southern end of the San Andreas Fault Zone.», *Geosciences Journal* Vol. 14, No. 3, p. 277 – 287, September 2010
- Θεόδωρος Αστάρας, 2010
Τηλεπισκόπηση – Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες, 2010, Γκίουρδας Εκδοτική, Δήμητρας 9 10442 Αθήνα, σελ.484 .