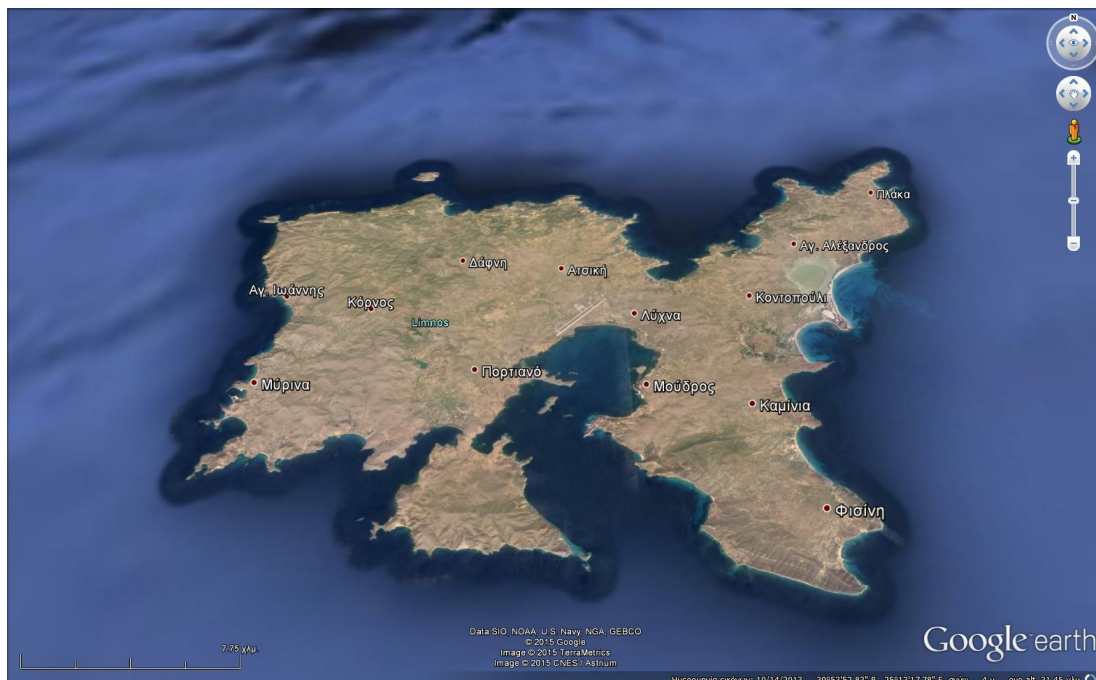


**ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΜΗΜΑ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**

**ΠΜΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ**

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

ΜΑΪΟΣ 2015



**ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΖΩΝΩΝ ΕΞΑΛΛΟΙΩΣΗΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ
ΛΗΜΝΟ ΝΟΜΟΣ ΛΕΣΒΟΥ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΑΝΥΦΑΝΤΗ**

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2015

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΑΝΥΦΑΝΤΗ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Ι. ΠΑΡΧΑΡΙΔΗΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
SUMMARY	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	11
2. ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ ΓΕΝΙΚΑ	16
2.1 Προέλευση υδροθερμικών ρευστών και χημικά χαρακτηριστικά	16
2.2 Απόθεση μεταλλικών συστατικών από υδροθερμικά ρευστά	17
2.3 Εξαλλοιώσεις	18
2.4 Ταξινόμηση εξαλλοιώσεων	19
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	20
3.1 Ατμοσφαιρικά στοιχεία	20
3.2 Γεωγραφική περιοχή-μορφολογία	21
3.3 Υδρογεωλογία περιοχής	22
3.4 Γεωλογία	23
3.4.1 Περιφερειακά γεωλογικά χαρακτηριστικά.....	33
3.4.2 Τεκτονισμός	28
3.4.3 Γεωλογία στην χερσόνησο του Φακού	29
3.4.3.1 Υδροθερμική εξαλλοίωση Φακού	30
3.4.3.2 Μεταλλοφορίες	30
4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	31
4.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ	32
4.1.1 Δορυφόρος Landsat 8	33
4.1.2 Καταγραφείς	30
4.1.3 Συλλογή - Μετάδοση – Διανομή Δεδομένων	34

4.1.4 Διάρκεια Ζωής	35
4.1.5 Θερμικό υπέρυθρο (TIR) μήκος κύματος:	35
4.1.6 Δορυφόρος EO-1 αισθητήρας HYPERION	36
4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	40
4.2.1 Προεπεξεργασία εικόνας LANDSAT 8	42
4.2.1.1 Ραδιομετρική διόρθωση	42
4.2.2 Επεξεργασία εικόνας LANDSAT 8	44
4.2.2.1 Απόκρυψη θάλασσας	44
4.2.2.2 Συγκάλυψη βλάστησης (vegetation suppression)	44
4.2.2.3 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης	46
4.2.2.4 Αριθμητικές πράξεις με εικόνες-λόγοι φασματικών καναλιών	47
4.2.2.5 Συνέργεια-συγχώνευση δορυφορικών δεδομένων (Fussion Data)	55
4.2.2.6 62 Ανάλυση κύριων συνιστωσών	63
4.2.2.7 Γραμμώσεις (linearments)	72
4.2.3 Η διαδικασία υπερφασματικής ορυκτολογικής χαρτογράφησης	76
4.2.3.1 Ατμοσφαιρική διόρθωση	78
4.2.3.2 Γεωμετρικές διορθώσεις	82
4.2.3.3 Επεξεργασία υπερφασματικής εικόνας του απεικονιστή Hyperion	86
4.2.3.6.a Επιλογή φασματικών στόχων (spectral targets)	86
4.2.3.3.b Μείωση διάστασης φασματικής πληροφορίας –εύρεση των βέλτιστων φασματικών καναλιών για την διάκριση των ορυκτών της υδροθερμικής εξαλλοίωσης.	88
4.2.3.γ Εφαρμογή του μετασχηματισμού Minimum Noise Fraction (mnf)	

<i>στα εναπομενοντα καναλια</i>	88
<i>4.2.3.δ Αυτόματη διαδικασία επιλογής καθαρών φασματικών στόχων</i>	91
<i>4.2.3.3.ε Φασματική ταυτοποίηση</i>	92
<i>4.2.3.3.ζ Χαρτογράφηση με φασματικές γωνίες (spectral angle mapper)</i>	92
<i>4.2.3.3.η Matched Filter (mf) και Mixture-Tuned Matched Filtering (mtmf)</i>	96
5.ΕΡΜΗΝΕΙΑ	101
<i>5.1Ερμηνεία πολυφασματικών εικόνων</i>	101
<i>5.2Ερμηνεία υπερφασματικών εικόνων</i>	105
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	107
7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	109
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	110
ΧΑΡΤΕΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	117

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του ΠΜΣ «Εφαρμοσμένη γεωγραφία και διαχείριση του χώρου», κατεύθυνση Γεωπληροφορικής του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου Αθηνών, Ιούνιος 2015.

Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Ισ. Παρχαρίδη, όχι μόνο για την ανάθεση της παρούσας εργασίας αλλά και για την εμπιστοσύνη, βοήθεια και υπομονή που μου έδειξε κατά τη φάση σχεδιασμού και υλοποίησης.

Ακόμη θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους προϊσταμένους μου Π. Ζαφείρη και Θ. Αποστολικά (ΓΜΜΑΕ ΛΑΡΚΟ), για τη στήριξη και εμπιστοσύνη που μου έδειξαν όλο αυτό το διάστημα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Στ. Κανακάκη, για τις υποδείξεις της.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στα μέλη της οικογένειάς μου, στον σύζυγό μου Χάρη και στο παιδί μου Ελπίδα που με στήριξαν ηθικά από την πρώτη στιγμή, τον πατέρα μου Κωνσταντίνο, τη μητέρα μου Ευφροσύνη και τον αδερφό μου Σταύρο για την υπομονή τους, και την στήριξή τους.

Αφιερώνεται στην αγαπημένη μου κόρη Ελπίδα, και στον πολύτιμο σύζυγό μου Χάρη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

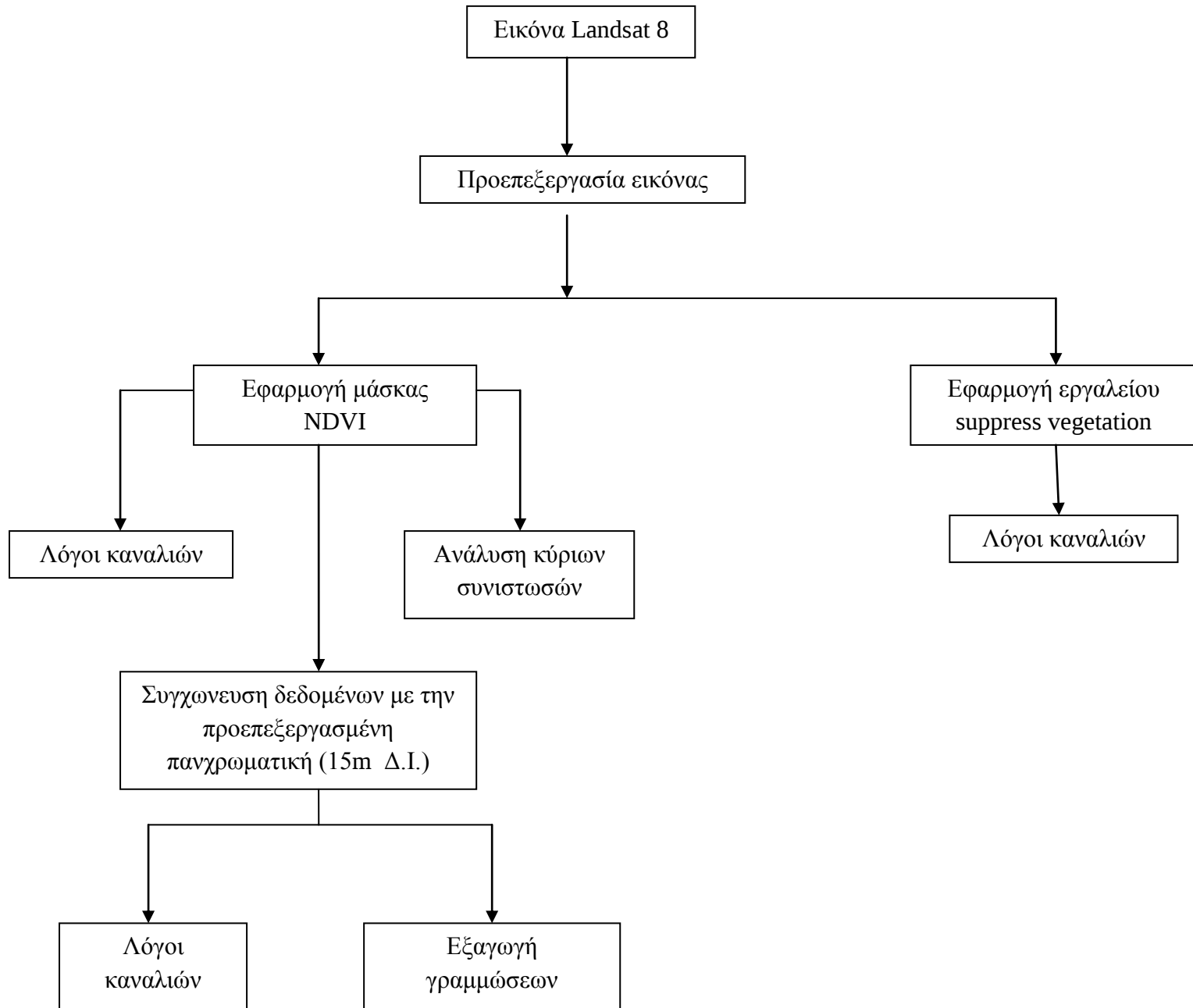
Στη σύγχρονη εποχή η τηλεπισκόπηση πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της εργασίας ενός γεωλόγου πριν οποιοδήποτε στάδιο έρευνας. Αυτό δικαιολογείται, καθώς η χρήση της τηλεπισκόπησης στον εντοπισμό κοιτασμάτων έχει προοδεύσει τόσο, ώστε να εξάγονται πληροφορίες σε μικρό χρόνο για μεγάλες εκτάσεις.

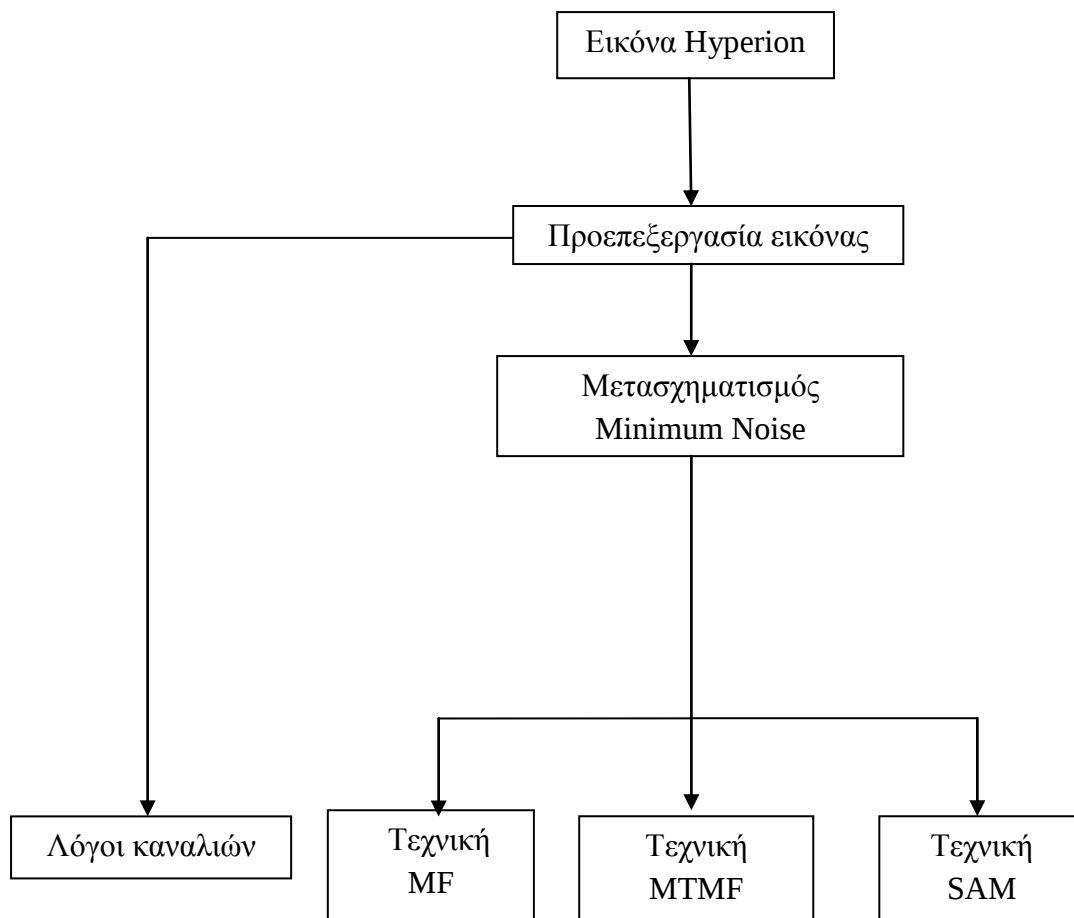
Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διάκριση και αναγνώριση ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης στην περιοχή της νήσου Λήμνου.

Πιο συγκεκριμένα, για την πραγματοποίηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν εικόνες από τους δορυφόρους Landsat 8 Oli και EO-1 (αισθητήρας Hyperion).

Οι επιμέρους στόχοι που τέθηκαν ήταν οι εξής: 1) Προπεξεργασία εικόνων 2) εφαρμογή τεχνικών για την αποτελεσματικότερη εξαγωγή συμπερασμάτων.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνονται περιληπτικά οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν για τη νήσο Λήμνο.





Παρομοίως έγινε εφαρμογή των τεχνικών αυτών και σε εικόνες άλλων περιοχών της Ελλάδος όπως στην Όρθρυ.

SUMMARY

Nowadays multispectral and hyperspectral imaging are suitable for geological mapping. Limnos island is in north Aegean sea. The early Miocene volcanism in northeastern Aegean Sea and Western Turkey occurred to the south of the Mesozoic to early Cenozoic igneous activity of the Rhodope block and was coeval with large scale regional extension . The volcanic rocks originated from large stratovolcanoes in the northeastern Aegean sea, the remnants of which are present on the islands of Lesbos, Limnos and Samothraki and in western Turkey (Fornadel Andrew 2010).

This study was conducted in Limnos island, Greece and the goal is to detect the alteration zones that exists in the island through the application of Landsat 8 Oli and EO-1 (Hyperion).

Specifically were created the color combosite ratio images 6/7,4/2,6/5 (RGB), the fasle color combosite image of the single spectral zones 5-7-2 (RGB), the normalize difference vegetation index (NDVI). The mask technique of vegetation that applied on the processed image of Limnos (Landsat 8 oli), gave the advantage of distinguish the iron oxides minerals from ferrous minerals. Also, the techniques of suppress vegetation, fussion data and principal componenet analysis (pc2-pc3-pc4: RGB) gave almost the same results . The detection of silica has an important role in detection of alteration zone the color composite image tir1-tir2-swir2 (10-11-7)(RGB) and the lineraments that were extracted from panchromatic image (band 8) gave the general tectonic view of the island.

Hyperspectral data analysis should be cast in the same format as other geophysical data analysis processes. First, the data must be fully calibrated and well characterized. Then instrumental and natural influences on the data, should be modeled and removed via a data reduction step. A spectral mixing model was used to derive the locations and spectral signatures of various key scene components. These derived components, or endmembers, are identified using spectral matching methods and usgs library, and their apparent abundances mapped over the entire hyperspectral scene. Finally, the results are geometrically rectified and map registered. These steps are shown schematically in Figure 11. The details of the methodology are described in the following sections.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επεξεργασία και η μετέπειτα ερμηνεία των πολυφασματικών και υπερφασματικών δεδομένων μιας περιοχής αξιοποιούνται στις γεωεπιστήμες και πιο εξειδικευμένα στην γεωλογία για γεωλογική χαρτογράφηση.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο εντοπισμός των ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης στη νήσο Λήμνο, Β. Αιγαίο, Ν. Λέσβου, με τη χρήση πολυφασματικών δεδομένων του δορυφόρου Landsat 8 Oli και υπερφασματικών δεδομένων του δορυφόρου EO1 του απεικονιστή Hyperion.

Η Μειοκαινική ηφαιστειότητα στο Βορειοανατολικό Αιγαίο και στη Δυτική Τουρκία, διήρκησε από τις αρχές του Μεσοζωικού έως τις αρχές Καινοζωικού (μπλοκ Ροδόπης), με σύγχρονη έκταση μεγάλης κλίμακας. Τα ηφαιστειακά πετρώματα προέρχονται από μεγάλους στρωματοηφαιστείτες στο Βορειοανατολικό Αιγαίο, τα υπολείμματα των οποίων εντοπίζονται στα νησιά Λήμνος, Μυτιλήνη, Σαμοθράκη και Δυτική Τουρκία (Fornadel Andrew 2010).

Τα πολυφασματικά δεδομένα ενώ έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό για γεωλογική χαρτογράφηση, παρόλα αυτά έχουν περιορισμούς, εξαιτίας του περιορισμένου αριθμού των φασματικών καναλιών με μεγάλο εύρος, με αποτέλεσμα να χάνεται πληροφορία. Από την άλλη τα υπερφασματικά δεδομένα, δίνουν τη δυνατότητα εντοπισμού χαρακτηριστικών των φυσικών στοιχείων, καθώς έχουν πολλά κανάλια με μικρό φασματικό εύρος. Έτσι στην περίπτωση της παρούσας εργασίας έγινε προσπάθεια εντοπισμού επιμέρους ορυκτών με την επεξεργασία των δεδομένων του υπερφασματικού απεικονιστή Hyperion για μια περιοχή ενδεικτικά, αφού πρώτα έγινε ο εντοπισμός των ζωνών της υδροθερμικής εξαλλοίωσης για όλο το νησί.

1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ο Hunt Graham R. 1977, υποστηρίζει ότι η διάκριση των διάφορων υλικών βασίζεται στη διαφορετικότητα των φασματικών ιδιοτήτων. Φασματικά δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από ορυκτά χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργήσουν διαγράμματα φασματικής υπογραφής για κάθε ξεχωριστό ορυκτό. Παραθέτονται ορυκτά με τις φασματικές τους υπογραφές, όπως το ορυκτό ολιβίνης [(Mg,Fe) SiO₃)] παρουσιάζει απορρόφηση γύρω στο 1 μm και άλλη μια απορρόφηση πάνω από 1,8 μm ή το νικέλιο (Ni²⁺) παρουσιάζει κανάλια απορρόφησης όπως παρουσιάζει το ορυκτό αναβεργίτη [(Ni,Co)₃(AsO₄)₂8H₂O, δηλαδή στα 1,25, 0,74 και 0,4 μm.

Ο Sabins F. F. 1999, όσον αφορά τον εντοπισμό υδροθερμικών εξαλλοιώσεων υποστηρίζει ότι αρκεί να εντοπιστούν τα αργιλικά ορυκτά και τα οξείδια του σιδήρου. Έτσι οι λόγοι καναλιών για τον εντοπισμό αλλουνίτη και αργιλικών

ορυκτών σε μια εικόνα του δορυφόρου Landsat 7 είναι 5/7 , αντίστοιχα ο εντοπισμός ορυκτών οξειδίων του σιδήρου είναι 3/1. Δημιουργήθηκε η ψευδέγχρωμη εικόνα RGB 3/5, 3/1, 5/7, με πορτοκαλί και κίτρινο είναι οι περιοχές που διευκρινίζεται ποιες είναι εκτός και εντός υδροθερμικής εξαλλοίωσης.

Οι Parcharidis et al. 1998, χρησιμοποίησαν την τεχνική λόγων καναλιών μετά την τεχνική απόκρυψης της βλάστησης, για τον εντοπισμό των ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης στη νήσο Λέσβο. Τέλος παρήχθη η ψευδέγχρωμη εικόνα 5/7-4/3-3/1 (RGB) (εικόνα του δορυφόρου Landsat 5 TM) ,μαύρο χρώμα είναι οι περιοχές που έγινε απόκρυψη της βλάστησης, ενώ οι περιοχές με αποχρώσεις του μωβ αντιπροσωπεύουν τις ζώνες εξαλλοίωσης.

Οι Parcharidis et al. 2001, εκτός από την τεχνική λόγων καναλιών εφάρμοσαν την τεχνική Crosta που στηρίζεται στην ανάλυση κυρίων συνιστωσών σε εικόνα του δορυφόρου Landsat 5 TM για τον εντοπισμό των ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης στη νήσο Μήλο. Η τεχνική αυτή προβλέπει, σύμφωνα με τον χαμηλό ή υψηλό ψηφιακό αριθμό του κάθε pixel σχέση με την κύρια συνιστώσα που βελτιώνονται τα επιφανειακά χαρακτηριστικά . Τελικά έπειτα από την παρατήρηση των ιδιοτιμών των καναλιών των κύριων συνιστωσών δημιουργήθηκε η ψευδέγχρωμη εικόνα PC2 PC3 PC6, όπου τα σκούρα-γκρι pixel αντιπροσωπεύουν τη βλάστηση και καλλιέργειες, τα pixel με γκρι αντιπροσωπεύουν τις περιοχές που υπάρχουν οξείδια του σιδήρου και οι περιοχές που τα pixel είναι ανοιχτό γκρι, είναι οι περιοχές με τα αργιλικά ορυκτά. Ο συνδυασμός των 2 τελευταίων υποδεικνύουν τις περιοχές που συνυπάρχουν τα οξείδια του σιδήρου και τα αργιλικά δηλαδή ζώνες υδροθερμικής εξαλλοίωσης.

Οι Kruse F. et al 2003, το ινστιτούτο γεωεπιστημών στην Αυστραλία (AIG),σε συνεργασία με την υπηρεσία φυσικών επιστημών της Αυστραλίας (CSIRO), χρησιμοποίησαν υπερφασματικά δεδομένα του δορυφόρου EO1 του αισθητήρα Hyperion για γεωλογικές εφαρμογές. Οι περιοχές που προτάθηκαν για ανάλυση ήταν τα βόρεια όρη Grapevine, Nevada (βόρεια κοιλάδα Death Valley), Oatman, Arizona, και Virginia City. Ο αερομεταφορέας AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) παρείχε δεδομένα για να γίνει σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων με τα υπερφασματικά του αισθητήρα Hyperion. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την προεπεξεργασία της εικόνας , καθώς και την αφαίρεση θορύβου του οργάνου . Χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο φασματικής μείξης (spectral mixing model), για να εξαχθούν οι περιοχές και οι φασματικές υπογραφές ποικίλων στοιχείων . Αυτά τα στοιχεία (endmember) έχουν ταυτοποιηθεί χρησιμοποιώντας φασματικές μεθόδους ταιριάσματος (π.χ. φασματική βιβλιοθήκη usgs, κλπ) και όσα στοιχεία φαίνονται να είναι σε αφθονία, χαρτογραφούνται και ακολουθεί γεωμετρική διόρθωση. Τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των δεδομένων του Hyperion έδειξαν ότι τα φάσματα των θερμικών καναλιών (SWIR) μπορούν να παράγουν χρήσιμη γεωλογική πληροφορία. Τα ορυκτά που χαρτογραφήθηκαν είναι ανθρακικά, χλωρίτη, επίδοτο, καολινίτη, αλουνίτη, βουδινγκτονίτη, μοσχοβίτη, πυριτικά και ζεόλιθο. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν σε ιδανικές συνθήκες (καλοκαιρινή περίοδο, καλά εκτεθειμένοι γεωλογικοί σχηματισμοί).

Οι Tsilavo Raharimahefa et al 2003, χρησιμοποίησαν εικόνα του Landsat 7 ETM & JERS I Synthetic Aperture Radar (SAR) για να ορίσουν το γεωμετρικό πλαίσιο της περιοχής σε συνδιασμό με εργασία υπαίθρου. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν συνδιασμός λόγων καναλιών όπως 5/7-5/1-5/4 & 3/4. Οι εικόνες βελτιώθηκαν χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως η ανάλυση κύριων συνιστωσών και φίλτρα μορφολογίας. Οι εικόνες radar χρησιμοποιήθηκαν μόνες αλλά κ σε συνδιασμό με τις εικόνες Landsat για εξαγωγή γραμμώσεων. Η μείξη εικόνας radar και πολυφασματικής έδωσε καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των δομών (7-4-L).

Μια άλλη εμπειρική προσέγγιση από τους Vincent R. K et al.2005, στην περιοχή της Utah, όπου μετά τις διορθώσεις (ατμοσφαιρικές, οργάνου, τοπογραφίας, gain & offset) της εικόνας του δορυφόρου EO1 του αισθητήρα Hyperion, συλλέχθηκαν φασματικοί παράμετροι για κάθε pixel και έγινε σύγκριση με το φάσμα ανακλαστικότητας στο εργαστήριο και στο πεδίο για αντικείμενα που έχουν παρόμοια χημική σύνθεση. Οι φασματικοί λόγοι καναλιών είναι μια εμπειρική προσέγγιση και είναι αρκετή για να αντιληφθεί ο χρήστης εάν λειτουργεί σωστά ή όχι ώστε μετέπειτα να μπορεί να το διορθώσει. Δεν έγινε επαλήθευση των αποτελεσμάτων με επίσκεψη στην ύπαιθρο, αλλά και η γεωλογική πληροφορία από υπάρχοντες χάρτες δεν ήταν αρκετή. Η μόνη επαλήθευση που υπάρχει στην παρούσα φάση είναι εργαστηριακές μετρήσεις δειγμάτων πετρωμάτων που συλλέχθηκαν από την υπό μελέτη περιοχή. Γενικά είναι ανακριβές να θεωρηθεί ο γεωλογικός χάρτης της USGS ως χάρτης «οδηγός» καθώς συσσωρεύει πολλούς τύπους πετρωμάτων σε έναν σχηματισμό και μόνο μια επίσκεψη στην ύπαιθρο μπορεί να θεωρηθεί ακριβές αποδεικτικό στοιχείο. Παρόλα αυτά σε κάθε εικόνα το πέτρωμα που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι κόκκινο και φάνηκε ότι εκεί που υπήρχε κόκκινο χρώμα στην ψευδέγχρωμη εικόνα, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη ήταν ένας συγκεκριμένος σχηματισμός. Έτσι για παράδειγμα γκρι ιλύολιθος με αργίλους δίνεται από τον συνδυασμό RGB 188/185, 185/198, 207/202, με ανοιχτό πράσινο διακρίνονται οι ψαμμίτες από τον συνδυασμό RGB 224/218, 43/83, 9/105. Η τεχνική των λόγων καναλιών θα ήταν επίσης χρήσιμη σε ρομποτικά μηχανήματα που έχουν πρόσβαση σε επικίνδυνες περιοχές, με το ρομπότ να παρέχει πληροφορίες που χαρακτηρίζουν τη χημική σύνθεση της επιφάνειας σε αυτές τις επικίνδυνες περιοχές.

Οι Samih Al Rawashdeh et al, 2006 μελέτησαν γεωλογικά την περιοχή στο βορειοανατολικό μέρος της Ιορδανίας (el Azraq), χρησιμοποιώντας εικόνες του δορυφόρου Landsat 7 ETM και radarSAT. Όσο να αφορά την εικόνα του Landsat ETM οι μέθοδοι που ακολούθησαν είναι φασματική βελτίωση εικόνας, λόγοι καναλιών (3/1, 5/7, 1/3), ανάλυση κύριων συνιστωσών 1-2-3 και 4-3-2, για λιθολογική ερμηνεία, επίσης η εικόνα ρανταρ μετά την επεξεργασία της έδωσε πληροφορία όσον αφορά γραμμώσεις και τοπογραφία.

Ο Bedini Enton 2010, χρησιμοποίησε υπερφασματικά δεδομένα του αερομεταφορέα HyMap και πολυφασματικά δεδομένα του δορυφόρου ASTER για κοιτασματολογική διερεύνηση και χαρτογράφηση σε Αρκτικές περιοχές της Ανατολικής Γροιλανδίας. Η υπό μελέτη περιοχή είναι το σύμπλεγμα Kap Simpson complex στην κεντρική ανατολική Γροιλανδία. Το σύμπλεγμα Kap Simpson είναι ένα από τα μεγαλύτερα παλαιογενή φελσικά συμπλέγματα της ανατολικής Γροιλανδίας. Έχει υπάρξει στόχος πολλών κοιτασματολογικών θεμάτων έρευνας. Η ανάλυση των υπερφασματικών δεδομένων παρήγαγε μια λεπτομερή εικόνα της χωρικής κατανομής των ορυκτών

εξαλλοίωσης τα οποία είναι δυσεύρετα από εργασίες υπαίθρου. Η ανάλυση των δεδομένων ASTER παρήγαγε κοιτασματολογικούς χάρτες οι οποίοι εξαιτίας της μέτριας χωρικής και φασματικής ανάλυσης των δεδομένων ASTER είναι χρήσιμοι για αναγνώριση επιπέδων κοιτασματολογικής εκμετάλλευσης. Οι συνδυασμοί των θερμικών καναλιών του ASTER, δείχνουν λιθολογική πληροφορία και διακρίνουν μια μεγάλη διείδυση πυριγενούς σώματος που δεν είχε εντοπιστεί στους γεωλογικούς χάρτες.

Οι Murat Gül et al, 2011 χρησιμοποίησαν εικόνα του δορυφόρου Landsat 7 ETM και δημιούργησαν ψευδέγχρωμη εικόνα PCA 1 4 5 εξαιτίας της υψηλής φόρτωσης των TM καναλιών 5 (αργιλικά και οξείδια του αργιλίου), 7 ανθρακικά ορυκτά, 3 και 1 τοπογραφία. Η ψευδέγχρωμη εικόνα 5/7-5/1-4 όπου με ανοιχτό πράσινο παρουσιάζεται η περιοχή με αργιλικά και OH- όπου κρύβουν ορυκτά εξαλλοίωσης, με κόκκινο υποδεικνύουν οξείδια του σιδήρου, και το μπλε δείχνει τη μεταφορά των ιζημάτων. Τα οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου που βρίσκονται σε ζώνες εξαλλοίωσης προέρχονται από παλαιότερα πετρώματα και έχουν αποτεθεί σε νεότερη περιοχή.

Οι Amin Beiranvand Pour et al 2011, χρησιμοποίησαν εικόνα δορυφόρου EO1-Hyperion & Ali για εντοπισμό ορυκτών υδροθερμικών εξαλλοιώσεων που σχετίζονται με αποθέματα πορφυρικού χαλκού στο νοτιοανατολικό Ιράν. Για την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκαν ταξινομητές: χαρτογράφος φασματικής γωνίας Spectral Angle Mapper- SAM, & Mixture Matched filtering-MTMF. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι μετασχηματισμού των υπερφασματικών δεδομένων όπως Ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA) και η μέθοδος του κλάσματος ελαχίστου θορύβου (MNF). Η εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων έγινε στα κανάλια του αισθητήρα hyperion καλύπτοντας 2.0 έως 2.4 μm (185-222 κανάλια) του υπέρυθρου για την ανίχνευση ορυκτών υδροθερμικής εξαλλοίωσης που σχετίζονται με πορφυρικό χαλκό. Τα ορυκτά που εντοπίστηκαν είναι μοσχοβίτης στη φυλλιτική ζώνη, καολινίτης στην αργιλική και επίδοτο στην προπυλιτική. Έτσι ξεχώρισαν οι ζώνες υδροθερμικής εξαλλοίωσης. Τα αποτελέσματα κρίθηκαν ικανοποιητικά σε σχέση με τα αποτελέσματα από την επίσκεψη στην περιοχή μελέτης, με τις μετρήσεις ανακλαστικότητας, και την ανάλυση του φάσματος (XRD).

Οι Le Yu et al. 2011, χρησιμοποιούν την τεχνική που προτάθηκε από τους Crippen και Blom 2001 για την απόκρυψη της βλάστησης σε μια περιοχή με πυκνή βλάστηση στο βόρειο Zhejiang στην ανατολική Κίνα. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι 3 βήματα επεξεργασίας: 1) δημιουργία μάσκας των περιοχών που έχουν ελάχιστη έως καθόλου βλάστηση χρησιμοποιώντας τον δείκτη βλάστησης NDVI, έτσι ώστε να διατηρηθεί η φασματική πληροφορία μέσα από την επακόλουθη επεξεργασία. 2) Εφαρμογή τεχνικής για να εξάγει τη φασματική απόκριση της βλάστησης μόνο στις περιοχές με βλάστηση και τέλος, συνδυάζοντας τις δυο παραπάνω μεθόδους (1 και 2) ,ακολουθώντας το ιστόγραμμα εξομάλυνσης για να εξαλείψει τις διαφορές στην κλίμακα των χρωμάτων μεταξύ των δυο τύπων περιοχών. Τελικά, παρόλο που έγινε απόκρυψη της βλάστησης (μέθοδος 1), σε ένα μεγάλο μέρος τα pixel του νερού έχουν παραμορφωθεί, για παράδειγμα, η λίμνη που υπάρχει στην περιοχή διακρίνεται με δυσκολία. Από την άλλη μεριά (μέθοδος 2) η ανάκλαση της βλάστησης οπτικά έχει αφαιρεθεί και ταυτόχρονα το νερό διατηρεί την αρχική του

ανακλαστικότητα. Επίσης οι λιθολογικές ενότητες στην λοφώδη περιοχή δείχνουν καλύτερη χρωματική αντίθεση.

Οι Freek D. van der Meer et al. 2012, στο άρθρο τους παρέχουν εν συντομία τις δυνατότητες εντοπισμού γεωλογικών σχηματισμών και ορυκτών με τη χρήση εικόνων των δορυφόρων Landsat 7 και ASTER σε πολύ- και υπερφασματικό επίπεδο. Οι γεωλόγοι (όσον αφορά τον δορυφόρο Landsat) έχουν εξελίξει την τεχνική του λόγου καναλιών και την ανάλυση κύριων συνιστωσών για να παράγουν εικόνες που εντοπίζονται οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου, που σχετίζονται με την υδροθερμική εξαλλοίωση. Από την άλλη μεριά όσον αφορά τον δορυφόρο ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer) με τα έξι κανάλια στο κοντινό υπέρυθρο και 5 κανάλια στο θερμικό επιτρέπει την παραγωγή εικόνων όπου εντόπίζονται περισσότερα ορυκτά. Τα ορυκτά χαλαζία, ολιβίνης, πυρόξενοι, άστριοι, παρουσιάζουν απορρόφηση στο φάσμα του θερμικού (TIR).

Οι Sarajlic, & Semir, 2012 εξέτασαν τις λίμνες ushka, και οι γύρω περιοχές (4374.46 km²) αναλύθηκαν και χαρτογραφήθηκαν για αλλαγές στη κάλυψη γης και ορυκτολογική σύνθεση (MC) χαρακτηριστικών (ferrous minerals (FM), iron oxides (IO), and clay minerals (CM)). Η κάλυψη γης, και οι χάρτες MC δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας εικόνα του δορυφόρου Landsat TM (November 7, 1998) και του Landsat ETM+ image (March 18, 2003). Όσον αφορά τη λιθολογία (Mineral Composite) οι λόγοι καναλιών έχουν ως εξής: Ferrous Minerals band 5 / band 4, Iron Oxide band 3 / band 1, Clay Minerals band 5 / band 7. Αφού εφαρμόστηκαν οι λόγοι καναλιών έγινε ελεγχόμενη ταξινόμηση (unsupervised classification). Η πλειονότητα της περιοχής αποτελείται από αργιλικά ορυκτά ενώ είναι φτωχή σε οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου.

Οι Ahmed S.O. Ali ,& Amin Beiranvand Pour 2014, στο Σουδάν εντόπισαν υδροθερμικές εξαλλοιώσεις. Η ψευδέγχρωμη RGB 10-11-7, ξεχωρίζει τα πυριτικά (έντονο κίτρινο) από τα μη πυριτικά (μωβ-μπλε). Η ψευδέγχρωμη εικόνα 4/2, 6/5, 6/7 & 4/2,6/7,10. Επίσης με τη μέθοδο ανάλυση κύριων συνιστωσών οι πρώτες εικόνες συνιστώσες οι οποίες περιέχουν και την περισσότερη πληροφορία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ψευδέγχρωμης RGB PC2, PC3, PC4. Επίσης χρησιμοποιήθηκε η τεχνική Minimum noise fraction με τη βοήθεια της τεχνικής density slice. Έτσι το κανάλι 6 από την παραπάνω τεχνική δείχνει με λεπτομέρεια τις ενδιαφέρουσες περιοχές.

Οι Amin Beiranvand Pour & Mazlan Hashim 2014, χρησιμοποίησαν εικόνα του δορυφόρου Landsat 8 για τον εντοπισμό υδροθερμικών εξαλλοιώσεων και λιθολογικής χαρτογράφησης πορφυρικού χαλκού σε άγονες και ημιάγονες περιοχές. Το μεταλλείο Sar Chesmech στα νοτιοανατολικά της ηφαιστειακής ζώνης Urumieh-Dokhtar , NA Ιράν επιλέγει ως τόπος μελέτης. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι α) οι λόγοι καναλιών (4/2,6/7,5, 10) σε RGB όπου εντόπισαν τις υδροθερμικές εξαλλοιώσεις, και β) τεχνική MTMF σε ήδη υπάρχον μεταλλείο για τον εντοπισμό ζωνών εξαλλοίωσης που σχετίζονται με πορφυρικό χαλκό στη γύρω περιοχή μελέτης. Η ψευδέγχρωμη εικόνα RGB 10-11-7 κίτρινα τα πυριτικά αντίθετα μπλε είναι περιοχές με λίγα πυριτικά ορυκτά. Η ψευδέγχρωμη εικόνα RGB 4/2-6/7, 5 & 10 επιτρέπει τον εντοπισμό των υδροθερμικών εξαλλοιώσεων και των λιθολογιών. Ο συνδυασμός 4/2,6/7,10 αποδίδει τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

1 ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ ΓΕΝΙΚΑ

Υδροθερμικά ρευστά ονομάζονται τα θερμά υδατικά διαλύματα που ρέουν μέσα από διάδους πετρωμάτων και τα οποία κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις γίνονται μεταλλοφόρα και ενδεχομένως δημιουργούν κοιτάσματα. Τα μεταλλεύματα ή βιομηχανικά ορυκτά που δημιουργούνται από υδροθερμικά ρευστά, χαρακτηρίζονται ως υδροθερμικά ή υδροθερμικής προέλευσης.

Υπάρχουν διάφορες ταξινομήσεις κοιτασμάτων που έχουν δημιουργηθεί από ανερχόμενα θερμά διαλύματα συνδεδεμένα με μαγματικές διεργασίες. Η ταξινόμηση κατά LIDGREN (1933) με βάση τη θερμοκρασία σχηματισμού περιελάμβανε 4 κύριες θερμοκρασίες.

1. καταθερμικά μεταξύ 300-500 °C
2. μεσοθερμικά για θερμοκρασίες μεταξύ 200-300 °C
3. επιθερμικά για θερμοκρασίες μεταξύ 50-200 °C
4. τηλεθερμικά για ακόμη χαμηλότερες θερμοκρασίες (τελευταία στάδια υδροθερμικής δραστηριότητας). Το όριο των 450 °C λαμβάνεται σε σχέση με την κρίσιμη θερμοκρασία του νερού (374 °C). Η ταξινόμηση αυτή σήμερα δεν είναι εφαρμόσιμη. Από τη ταξινόμηση αυτή έχει επιβιώσει ο όρος μόνο επιθερμικά κοιτάσματα για να περιγράψει συγκεκριμένη κατηγορία κοιτασμάτων πολύτιμων μετάλλων που συνδέονται με την ηφαιστειότητα.

Υδροθερμικά διαλύματα υπάρχουν άφθονα στον γήινο φλοιό, όμως σε λίγες περιπτώσεις επιτυγχάνεται ο κατάλληλος συνδυασμός φυσικοχημικών και άλλων παραγόντων ώστε να προκύψει από αυτά κάποιο κοιτάσμα. Ο τρόπος με τον οποίο σχηματίζονται τα κοιτάσματα που συνδέονται με κάποια υδροθερμική δράση παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Η σωστή θεωρητική κατάρτιση έχει πολύ μεγάλη σημασία τόσο για την αναζήτηση κοιτασμάτων, όσο και για τις μεθόδους εκμετάλλευσης που πρέπει να εφαρμοστούν.

2.1 Προέλευση υδροθερμικών ρευστών και χημικά χαρακτηριστικά

Το νερό διαφόρων προελεύσεων παρουσιάζει συστηματικές διαφορές ως προς την περιεκτικότητα σε δευτέριο και ^{18}O , με αποτέλεσμα ο λόγος των ισοτόπων D/H και $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ να είναι ενδεικτικός μιας συγκεκριμένης πηγής προέλευσης. Μελέτη με σταθερά ισότοπα οξυγόνου ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) και υδρογόνου (H/D) σε ρευστά εγκλείσματα και σε σύγχρονα υδροθερμικά συστήματα έδειξε ότι το νερό των υδροθερμικών ρευστών μπορεί να έχει τις ακόλουθες προελεύσεις από τις οποίες παίρνει και τον αντίστοιχο χαρακτηρισμό:

A. μαγματικό ή νεαρό νερό (juvenile water). Είναι νερό που αποχωρίζεται από το μάγμα κατά την κρυστάλλωσή του.

B. Μετεωρικό νερό. Περιλαμβάνει νέο οποιασδήποτε προέλευσης το οποίο διήλθε μέσα από την ατμόσφαιρα και ισορρόπησε με αυτή (νερό βροχής, χιονιού, ποταμών, λιμνών κ.α.)

Γ. Θαλασσινό νερό.

Δ. Νερό των πόρων (connate water). Είναι νερό που παγιδεύτηκε κατά τον χρόνο της απόθεσης ενός ιζήματος στους ελεύθερους πόρους μεταξύ στερεών κόκκων ου, καθώς και το νερό που παρήχθη ή αναλλάχθηκε κατά τη διάρκεια χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαγένεση. Το νερό των πόρων υπήρξε κάποτε μετεωρικό ή θαλασσινό αλλά η μακρόχρονη παραμονή του και ο ενταφιασμός του μέσα στα ιζήματα, σε συδυασμό με τις αντιδράσεις του με τα ορυκτά που το περικλείουν του προσέδωσαν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

Ε. Μεταμορφικό νερό. Είναι νερό που αποβάλλεται από τα ένυδρα ορυκτά κατά την κρυστάλλωση νέων ορυκτών, η οποία συντελείται λόγω αύξησης των συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας κατά τον ενταφιασμό κάθε είδους πετρωμάτων σε βαθύτερα τμήματα του φλοιού δηλαδή κατά την καθολική μεταμόρφωση.

2.2 Απόθεση μεταλλικών συστατικών από υδροθερμικά ρευστά

Τα μεταλλικά συστατικά που μεταφέρονται εν διαλύσει μέσα στα υδροθερμικά ρευστά με μορφή συμπλόκων των μετάλλων με ρίζες ή με αμέταλλα, αποτίθενται όταν επέλθουν ορισμένες μεταβολές των φυσικοχημικών συνθηκών ή/και της χημικής σύστασης των διαλυμάτων. Οι κυριότερες μεταβολές είναι:

Α. Πτώση θερμοκρασίας η οποία επηρεάζει τη διαλυτότητα των συμπλόκων στη ρευστή φάση. Πτώση της θερμοκρασίας σ' ένα υδροθερμικό σύστημα μπορεί να επιτευχθεί με την ανάμειξη των υδροθερμικών ρευστών με ψυχρότερα διαλύματα, με ενδόθερμες αντιδράσεις μεταξύ διαλύματος και ορυκτών, με προσφορά θερμότητας προς τα περιβάλλοντα πετρώματα.

Β. Ελάττωση της ενεργότητας των σύμπλοκων ριζών οπότε ελαττώνεται η δυνατότητα των μετάλλων στο διάλυμα.

Γ. Αύξηση ενεργότητας του θείου οπότε τα μέταλλα σχηματίζουν ευκολότερα ενώσεις με αυτό και αποτίθενται σαν θειούχα μεταλλεύματα που είναι και η συχνότερη περίπτωση.

Π.χ. Περίπτωση μετάλλων (Me) συνδεδεμένων με ανιόντα Cl στα υδροθερμικά διαλύματα (MeCl₂), στα οποία αυξάνεται η ενεργότητα του θείου με προσθήκη π.χ. H₂S οπότε έχουμε την αντίδραση:



Το H₂S μπορεί να προέλθει από αναγωγή θεικών, από αντιδράσεις με οργανική ύλη, ανάμειξη με θειούχα κ.α.

Δ. Ελάττωση της συγκέντρωσης των ιόντων Cl, η οποία μπορεί να προέλθει από αραίωση υδροθερμικών ρευστών με μετεωρικό νερό ή από αντιδράσεις που δεσμεύουν Cl.

2.3 Εξαλλοιώσεις

Ο σχηματισμός νέων ορυκτών σε βάρος των αρχικών ορυκτών ενός πετρώματος. Ο σχηματισμός αυτός προκαλείται από την δράση των ρευστών, τα οποία δε βρίσκονται σε φυσικοχημική ισορροπία με το πέτρωμα μέσα στο οποίο κινούνται. Η διαδικασία αυτή έχει διπλό αποτέλεσμα. Αφενός με την αλλαγή της ορυκτολογικής και χημικής σύστασης του αρχικού πετρώματος αφετέρου δε τη μεταβολή της φυσικοχημικής κατάστασης του ρευστού. Το σύνολο του χώρου με τα πετρώματα που έχουν υποστεί την εξαλλοίωση αποτελεί τη ζώνη εξαλλοίωσης. Οι όροι ασθενής, μέτρια, ισχυρή, δηλώνουν εμπειρικά το βαθμό της μετατροπής των αρχικών ορυκτών του πετρώματος προς νέα. Η εξαλλοίωση των πετρωμάτων μπορεί να προκύψει ως αποτέλεσμα των ακόλουθων γεωλογικών διεργασιών:

A. Διαγένεση ιζημάτων ηφαιστειακών τόφφων ή μικτών ηφαιστειοκλαστικών πετρωμάτων

B. Διαδικασίες γενικής μεταμόρφωσης

Γ. Υδροθερμική δραστηριότητα που συνδέεται με την ψύξη πλουτώνειων ή ηφαιστειακών σχηματισμών. Στην τελευταία περίπτωση που οι προκύπτουσες εξαλλοιώσεις χαρακτηρίζονται ως υδροθερμικές και τα αντίστοιχα κοιτάσματα ως υδροθερμικά.

Η σημασία των υδροθερμικών εξαλλοιώσεων:

A. Ορισμένες ζώνες εξαλλοίωσης μπορεί σε ένα μεγάλο τμήμα τους να αποτελούν κοιτάσμα βιομηχανικού ορυκτού. (π.χ. κοιτάσμα καολινών ή καλιούχων αστρίων υδροθερμικής προέλευσης).

B. Λόγο της στενής σχέσης στο χώρο μεταξύ των ζωνών εξαλλοίωσης και των μεταλλοφόρων κοιτασμάτων, οι ζώνες αυτές μπορούν να αποτελέσουν έναν ασφαλή δείκτη οδηγό προς τη μεταλλοφορία. Συνεπώς η χαρτογράφηση των ζωνών εξαλλοίωσης και ο καθορισμός της ανάπτυξής τους στο υπέδαφος με βάση τη μελέτη πυρήνων γεωτρήσεων είναι ένας πρωταρχικός στόχος όσων ασχολούνται με την έρευνα για εντοπισμό μεταλλευμάτων ή βιομηχανικών ορυκτών υδροθερμικής γένεσης. Είναι ευνόητο ότι μια διαδικασία υδροθερμικής εξαλλοίωσης πετρωμάτων δεν οδηγεί πάντοτε σε σχηματισμό συγκεντρώσεων μεταλλευμάτων ή βιομηχανικών ορυκτών οικονομικού ενδιαφέροντος.

2.4 Ταξινόμηση εξαλλοιώσεων

Οι Meyer & Hemley (1967) ταξινόμησαν τις εξαλλοιώσεις που απαντούν σε αργιλοπυριτικά πετρώματα στους παρακάτω τύπους, με βάση τα χαρακτηριστικά ορυκτά της εξαλλοίωσης και τις σημαντικότερες μεταβολές στη σύσταση του πετρώματος.

- Προπυλιτική (propylitic): παρουσία επιδότου /και χλωρίτη, ακτινολίθου/και τρεμολίτη ή ανθρακικών που αντικαθιστούν κυρίως πλαγιόκλαστα. Δεν παρατηρείται σημαντική μετασώματωση ή έκπλυση αλκαλίων ή αλκαλικών γαιών. Στο πέτρωμα μπορεί να έχουν προστεθεί H₂O, CO₂ και S.
- Ενδιάμεση αργιλική (argilic): Παρουσία σημαντικών ποσοτήτων καολινίτη σε βάρος πλαγιοκλάστων και μοντμοριλονίτη ή άλλων αργιλικών ορυκτών που αντικαθιστούν κυρίως πλαγιόκλαστα ή αμφιβόλους. Οι καλιούχοι άστριοι μπορεί να μην αλλοιωθούν στο σύνολό τους. Σημαντική έκπλυση Ca, Mg, Na.
- Προχωρημένη αργιλική (advanced argilic): όλοι οι άστριοι μετατρέπονται σε δικίτη, καολινίτη, πυροφυλλίτη, αλουνίτη ή άλλες αργιλοπλούσιες φάσεις. Παρατηρείται ισχυρή έκπλυση αλκαλίων. Σε χαμηλές θερμοκρασίες επικρατούν ο καολινίτης και ο δικίτης ενώ σε υψηλότερες των 300 °C ο πυροφυλλίτης. Ο χαλαζίας είναι άφθονος, ενώ παρατηρούνται επίσης τουρμαλίνης ή αλουνίτης.
- Σερικιτική ή φυλλοπυριτική (sericitic or phyllic) : οι καλιούχοι άστριοι και τα πλαγιόκλαστα μετατρέπονται σε σερικήτη. Μικρά ποσά καολινίτη μπορεί να συνυπάρχουν. Όλα τα πρωτογενή πετρογενετικά ορυκτά έχουν εξαλλοιωθεί προς σερικήτη ή χαλαζία. Παρατηρείται ισχυρή έκπλυση αλκαλίων. Σιδηροπυρίτης ή μνησιούχος χλωρίτη παρατηρούνται σε σχετικά μικρά ποσά.
- Καλιούχος (Potassic): Καλιούχοι άστριοι και ή βιοτίτης σχηματίζονται σε βάρος πλαγιοκλάστων ή μελανοκρατικών συστακών του πετρώματος. Κάλιο έχει προστεθεί.

Εκτός από τους τύπους της εξαλλοίωσης πρέπει να αναφερθούν και οι ακόλουθοι που δεν περιλαμβάνονται στο σχήμα ταξινόμησης των Meyer και Hemley.

- Πυριτίωση (silification): Ο όρος πυριτίωση αναφέρεται στην αντικατάσταση μεγάλου μέρους των ορυκτών ενός πετρώματος από χαλαζία, οπάλιο ή χριστοβαλίτη. Η αντικατάσταση αυτή μπορεί να γίνει είτε σε συνθήκες επίδρασης ενός υδροθερμικού ρευστού επί ενός πετρώματος είτε από επίδραση ενός υδατικού διαλύματος χαμηλής θερμοκρασίας που περιέχει πυρίτιο επί του πετρώματος σε συνθήκες υποθαλάσσιες ή κατά το στάδιο διαγένεσης ενός ιζήματος ή επιφανειακές (π.χ. πυριτίωση πετρωμάτων κατά τη διαδικασία της αποσάθρωσης).

- Greisen : Έχει ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά με την προχωρημένη αργιλική ή τη σερικιτική , όμως παρατηρείται περισσότερο σερικήτης αλλά όχι πυροφυλλίτης. Χαλαζίας και τοπάζιο επικρατούν, ενώ συνήθη είναι τα ορυκτά τουρμαλίνης, ρουτίλιο, φθορίτης, κασσιτερίτης, βολφραμίτης.
- Ζεολιθική (zeolitic) : Χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενός ή περισσότερων ορυκτών της σειράς των ζεολίθων. Μοντοριλλονίτης ή χαλαζίας/χριστοβαλλίτης συνοδεύουν τους ζεολίθους. Μπορεί να δημιουργηθεί από διαγένεση ενταφιασμού, από υδροθερμική εξαλλοίωση ή σε περιβάλλον αλμυρών-αλκαλικών λιμνών.

Σε αρκετές περιπτώσεις η διάγνωση του τύπου εξαλλοίωσης είναι εύκολη μακροσκοπικά, αφού τα διάφορα ορυκτά που δημιουργούνται μεταβάλλουν το χρώμα του αρχικού πετρώματος. Πετρώματα με προπυλιτική εξαλλοίωση εμφανίζονται με αποχρώσεις του πράσινου λόγω της παρουσίας πράσινων ορυκτών (χλωρίτης, επίδοτο, ακτινόλιθος/τρεμολίτης). Τα αργιλικά ορυκτά με το λευκό ή υπότεφρο ή υποπράσινο χρώμα μπορούν να μεταβάλλουν αντίστοιχα με την όψη σκουρόχρωμων πετρωμάτων (π.χ. βασάλτων, ανδεσιτών ,γάββρων).

N. Σκαρπέλης (2002.)

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Ατμοσφαιρικά στοιχεία

Τα χαρακτηριστικά του κλίματος της περιοχής μελέτης εκτιμήθηκαν από τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής. Το κλίμα της νήσου Λήμνου κατατάσσεται στον εύκρατο τύπο του χερσαίου μεσογειακού. Στους πίνακες που ακολουθούν παρατίθενται ενδεικτικά τα κλιματολογικά στοιχεία, τα οποία προκύπτουν από παρατηρήσεις στο Μετεωρολογικό Σταθμό Λήμνου και είναι από 1974 – 1997. Ο Μ.Σ. της Λήμνου βρίσκεται σε υψόμετρο 4,6m, σε γεωγραφικό μήκος 25ο14'Α και γεωγραφικό πλάτος 39ο55'Β.

	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ			
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΜΕΓΙΣΤΗ	ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,6	4,2	18,8	-5,2
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,7	4,4	19	-5,8
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,7	6	22	-6
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	17	8,5	25,8	0
ΜΑΙΟΣ	21,8	12,8	31	3
ΙΟΥΝΙΟΣ	26,9	16,8	34,4	3,4
ΙΟΥΛΙΟΣ	29	19,8	39,4	12
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	28,4	20,2	35,8	12

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	25,3	16,4	32,8	8,2
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	20,2	12,6	31,8	1,6
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,2	8,9	24	-2
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12,2	6	19,2	3,6

Πίνακας 1 Τιμές θερμοκρασίας ανά μήνα τελευταία 20ετία (οC) (Στοιχεία ΙΓΜΕ)

Το ετήσιο ύψος των βροχοπτώσεων αποτελεί σημαντικό μέγεθος καθώς επηρεάζει άμεσα την ποσότητα των παραγόμενων στραγγισμάτων. Τα μέσα μηνιαία ύψη βροχοπτώσεων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα,

ΜΗΝΑΣ	ΟΛΙΚΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)	ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	65,9	58,8
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	45,8	97,7
ΜΑΡΤΙΟΣ	49,1	35
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	46,9	53,4
ΜΑΙΟΣ	24	40,6
ΙΟΥΝΙΟΣ	17,6	41,6
ΙΟΥΛΙΟΣ	9,8	34,4
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	6,9	31,5
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	20,1	59,2
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	37,9	64,5
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	74,3	96,7
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	80,5	74,2

Πίνακας 2 Μέσα μηνιαία ύψη βροχοπτώσεων. (ΙΓΜΕ)

3.2 Γεωγραφική περιοχή-μορφολογία

Η Λήμνος είναι το όγδοο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας με έκταση 476 τετραγωνικά χιλιόμετρα και το τέταρτο σε μήκος ακτών (260 χιλιόμετρα). Βρίσκεται στο βόρειο Αιγαίο, στο Θρακικό πέλαγος, ανάμεσα στο Άγιον Όρος, τη Σαμοθράκη, την Ίμβρο και τη Λέσβο. Μαζί με τον Άγιο Ευστράτιο αποτελούν την επαρχία Λήμνου του νομού Λέσβου. Πρωτεύουσα και κύριο λιμάνι της Λήμνου είναι η Μύρινα, που πήρε το όνομα της γυναίκας του πρώτου βασιλιά του νησιού, του Θόαντα. Ως το 1955 η Μύρινα ονομαζόταν Κάστρο, ονομασία που επικράτησε κατά την ύστερη βυζαντινή περίοδο και άτυπα ακόμα έτσι αποκαλείται από τους παλιότερους Λημνιούς. Είναι κατεξοχήν πεδινή, ιδιαίτερα στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της που συγκεντρώνονται και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις της. Υψηλότερη κορυφή είναι η Σκοπιά (470m) στο δυτικό μέρος του νησιού. Οι κυριότεροι κόλποι είναι του Μούδρου και του Πουρνιά, ενώ λόγω εκτεταμένης διάβρωσης των πετρωμάτων

σχηματίζονται πολυάριθμοι όρμοι, οισημαντικότεροι εκ των οποίων είναι αυτοί του Κέρου και του Αγίου Χαραλάμπου στα ανατολικά, του Κάσπακα, του Πλατύ, του κοντιά και του Αγίου Πάυλου στα δυτικά και νότια. Διαπιστώνεται ότι οι περιοχές με υψηλές τιμές συχνότητας και πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου και μεγάλης μορφολογικής κλίσης συμπίπτουν με τη θέση των κυείων ρηγμάτων που είναι ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ. Γενικά στα κεντρικά και ανατολικά του νησιού δε διαμορφώνεται αξιόλογο υδρογραφικό δίκτυο, λόγω της υδροπερατότητας των σχηματισμών (Τεταρτογενείς αποθέσεις) σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιοχές του νησιού (ηφαιστειογενείς και νεογενείς σχηματισμοί) όπου το υδρογραφικό δίκτυο είναι ιδιαίτερα πυκνό και δενδριτικής μορφής, λόγω παρουσίας ημιπερατών έως πρακτικά αδιαπέρατων πετρωμάτων.

3.3 Υδρογεωλογία περιοχής

Σύμφωνα με ανάλυση στοιχείων από ΓΜΕ προκύπτουν:

Η πλειονότητα των γεωλογικών σχηματισμών που απαντά στη νήσο Λήμνο είναι μέτριας έως χαμηλής απόδοσης, με υδροφορία να αναπτύσσεται κατά κύριο λόγο σε ρωγματικά ηφαιστειακά και φλυσχικά καθώς και σε αλλουβιακά υδρογεωλογικά περιβάλλοντα.

Οι υδροφόροι ορίζοντες που αναπτύσσονται διακρίνονται στον προσχωματικό και το ρωγματικό. Το μεν κοκκώδες υδροσύστημα αναπτύσσεται εντός των ποταμοχειμάρων και αλλουβιακών αποθέσεων και είναι μέτριας σχετικά απόδοσης, το δε ρωγματικό αναπτύσσεται σε ηφαιστειακά και φλυσχικά – μολασσικά πετρώματα και είναι μέτριας έως χαμηλής απόδοσης.

Σε ότι αφορά το υδροσύστημα ηφαιστειακών της Λήμνου (1479) τα διαθέσιμα ετήσια υπόγεια υδατικά αποθέματα εκτιμάται ότι δεν υπερβαίνουν τα $1,0 \times 10^6$ m³, ενώ για το υδροσύστημα προσχώσεων αεροδρομίου (1480) τα διαθέσιμα ετήσια υδατικά αποθέματα ανέρχονται σε $1,0 \times 10^6$ m³, ενώ για το υδροσύστημα ηφαιστειακών της Λήμνου τα ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα ανά έτος δε ξεπερνούν τα $1,5 \times 10^6$ m³.

Ο γενικός υδροχημικός τύπος για την πλειονότητα των υπόγειων νερών είναι Mg-SO₄, ενώ υπάρχουν και νερά με υδροχημικό τύπο Na- Cl , γεγονός που καταδεικνύει την υφαλμύρωση που έχει υποστεί το υπόγειο νερό σε αλλουβιακές αποθέσεις όπως στην περιοχή του αεροδρομίου και σε αλλουβιακές αποθέσεις της Ανατολικής Λήμνου. Παρατηρούνται ακόμα, υψηλές τιμές νιτρικών ιόντων (NO₃) , γεγονός που αποδίδεται σε αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες.

Τέλος παρατηρούνται υπερβάσεις των παραμετρικών τιμών σε θειικά ιόντα (SO₄) και ορισμένα ιχνοστοιχεία όπως σίδηρο (Fe), νικέλιο (Ni) και αργίλιο (Al) ως αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών, εξαιτίας της παρουσίας ηφαιστειακών πετρωμάτων.

3.4 Γεωλογία

3.4.1 Περιφερειακά γεωλογικά χαρακτηριστικά

Στην Ελλάδα και στη θάλασσα του βορείου Αιγαίου, η Ελληνική ορογένεση είναι ένα διακριθέν terrane της ζώνης αποσχηματισμού Άλπεων –Ιμαλαΐων και αντιπροσωπεύει έναν γεωτεκτονικό σύνδεσμο μεταξύ της νότιας βαλκανικής χερσονήσου και της Τουρκίας, που είναι το αποτέλεσμα της αλπικής σύγκρουσης μεταξύ των πλακών Ευρώπης και Αφρικής. Από το Μεσοζωικό, η σύγκρουση προκάλεσε θραύση και καλυμματοποίηση των τριών ηπειρωτικών τεμαχίων της Απούλιας, της Πελαγονικής, και της Ροδόπης, όπως επίσης και του παρεμβαλλόμενου ωκεάνιου φλοιού. Τα τελευταία μεταμορφικά γεγονότα υψηλής πίεσης κατά τη διάρκεια της σύγκρουσης χρονολογούνται στα 51 και 42 Ma.

Από τις αρχές του Τριτογενούς, η Αλπική υποβύθιση έχει μεταναστεύσει νότια όπου δομείται το ελληνικό ηφαιστειακό τόξο. Η οπισθοχώρηση της υποβύθισης είχε σαν αποτέλεσμα την τρέχουσα μεγάλης κλίμακας τοπική έκταση (εφελκυσμός). Ο ηπειρωτικός φλοιός στην βορειοανατολική Ελλάδα έχει διασταλλεί 100% από το κατώτερο Μειόκαινο.

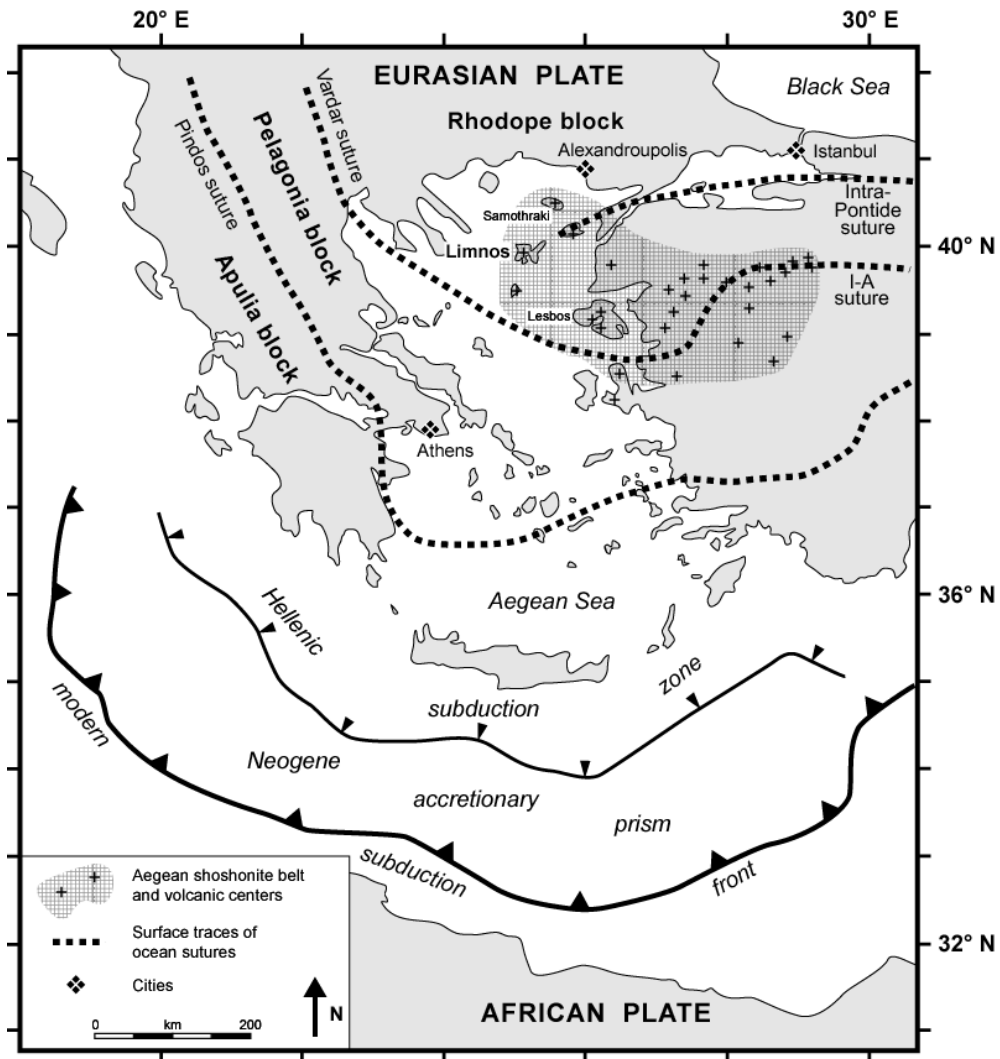
Η διπλή μετανάστευση της υποβύθισης και ο μεγάλης κλίμακας εφελκυσμός προκάλεσαν ορογενετικές αποκόλλήσεις και λέπτυνση φλοιού όπως επίσης και την εμφάνιση συμπλεγμάτων μεταμορφικών πυρήνων.

Ηφαιστειότητα παρατηρείται από τις αρχές Μειοκαίνου στο βορειοανατολικό Αιγαίο και δυτικά της Τουρκίας. Τα ηφαιστειακά πετρώματα προέρχονται από μεγάλους στρωματοηφαιστήτες στο βορειοανατολικό Αιγαίο, τα υπολείμματα των οποίων είναι παρόντα στα νησιά Λέσβος, Λήμνος, Σαμοθράκη και στη δυτική Τουρκία.

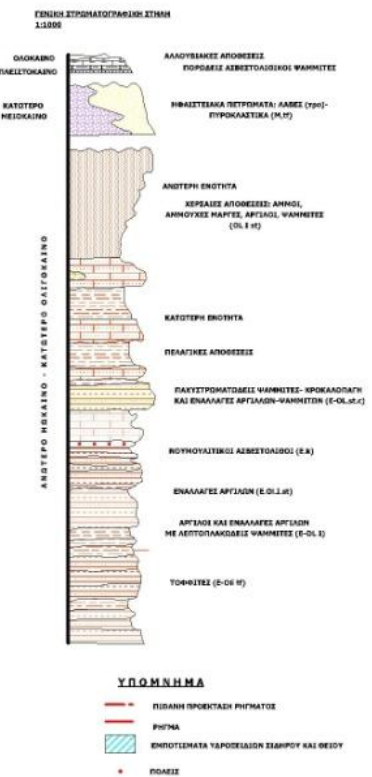
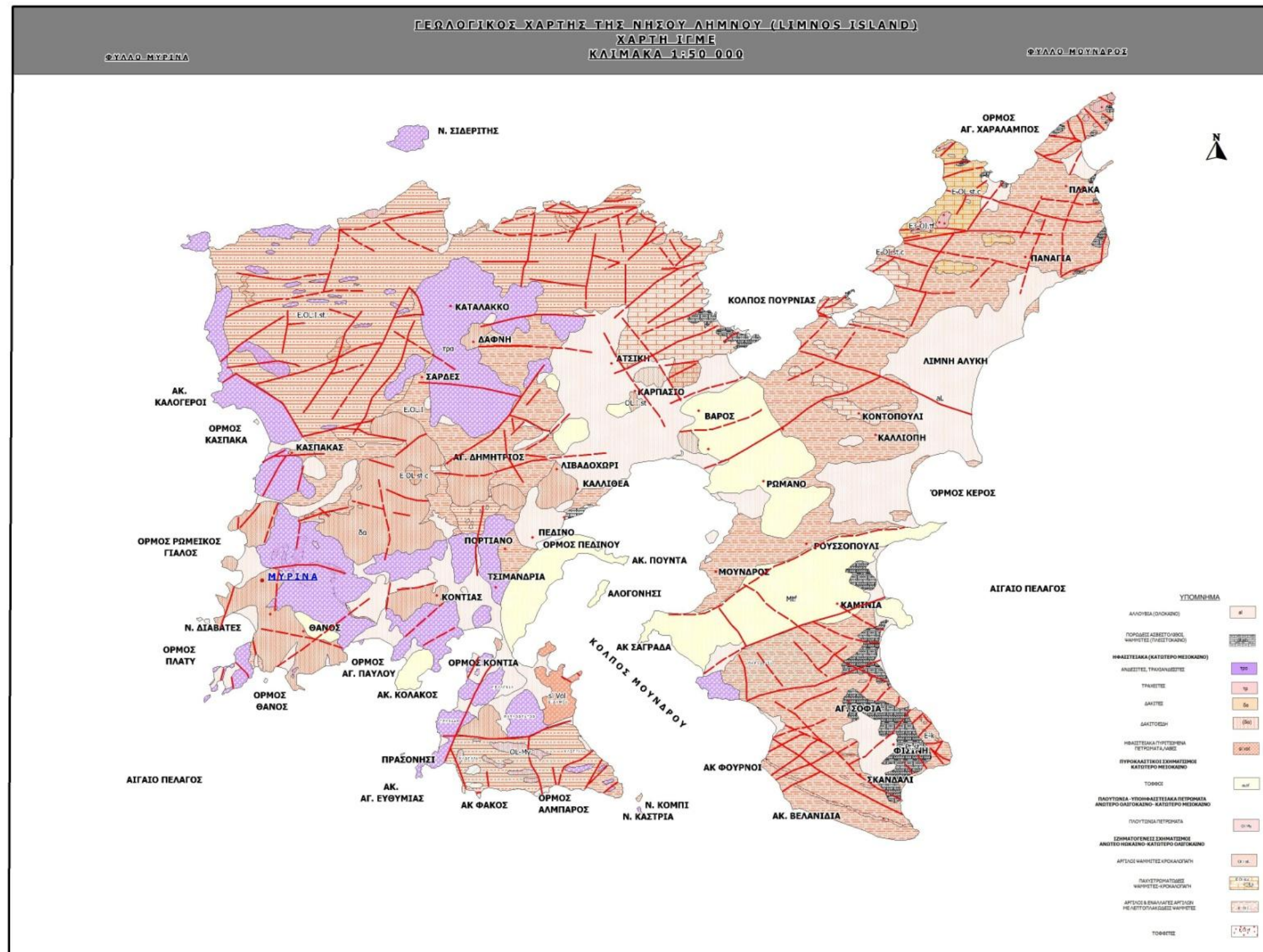
Αρκετές πιθανές ερμηνείες έχουν διατυπωθεί για τέτοιου είδους εκτεταμένης ηφαιστειακής δραστηριότητας και περιλαμβάνουν μια απότομη αύξηση γεωθερμίας που σχετίζεται με ανάδυση του μανδύα που προκλήθηκε από την αποκόλληση της υποβυθιζόμενης πλάκας. Εξαιτίας του εμπλουτισμού σε σπάνιες γαίες (REE), Mg και Cr-πλούσιων φαινοκρυστάλλων κλινοπυροξένων και της διαφυγής Sm-Nd ισοτόπου στα πετρώματα της νήσου Λήμνος, το μάγμα στην περιοχή ξεχείλισε ασθenoσφαιρικό μανδύα εξαιτίας της αποκόλλησης της πλάκας, η οποία προκάλεσε το λιώσιμο των μεταβασαλτών.

(Fornadel Andrew 2010)

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΝΗΣΙΟΥ ΔΗΜΝΟΥ



Εικόνα 1 Γεωτεκτονικός χάρτης Ελλάδας. (Fornadel Andrew 2010)



Εικόνα 2 Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της νήσου Λήμνου. Υπόβαθρο ψηφιοποίησης υπήρξε ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50000



Εικόνα 3 Εικόνα 14 Λιθολογικός χάρτης νήσου Λήμνου όπως προέκυψε από την ψευδέγχρωμη σύνθεση RGB: 5-7-2. Οι αποχρώσεις του κόκκινου αντιστοιχούν σε φυτική κάλυψη ενώ τα ανοιχτόχρωμα σε γυμνά εδάφη και πετρώματα.

Η γεωλογία της νήσου Λήμνου χαρακτηρίζεται από ένα ιζηματογενές υπόβαθρο που είναι γέμισμα λεκάνης . Τα ιζηματογενή πετρώματα είναι φλύσχος και μόλασσα. Τοποθετήθηκαν σε διέυθυνση ΒΑ-ΝΔ σε μεταορογενετική λεκάνη υπό το καθεστώς κανονικών ρηγμάτων και εφελκυσμού κατά τη διάρκεια μεταορογενετικών αποκολλήσεων (collapse of Rodope- Sakarya) .

Τα Τριτογενή ιζήματα μπορούν να περιγραφούν σαν 2 ξεχωριστές ενότητες, την Ανώτερη και την Κατώτερη. Το ανώτερο Ηώκαινο, έως το κατώτερο Ολιγόκαινο, είναι η Κατώτερη Ενότητα όπου καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του νησιού και αποτελείται από πυροκλαστικές ηπειρωτικές αποθέσεις περιλαμβάνοντας κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ιλυόλιθο , αργιλόλιθο, και τουρβιδίτες. Ιδιαίτερα χαρακτηριστική είναι η παρουσία αργιλικών κροκαλοπαγών των οποίων η μάζα σχηματίζει δομές ροής και η ισχυρή διατάραξη των ψαμμιτικών πάγκων από πτυχές υποθαλάσσιας ολίσθησης. Τέλος απαντούν τοφφίτες με ανδρεσιτικό κλαστικό υλικό και υνδετικό υλικό αργιλικής , πυριτικής και ασβεστιτικής σύστασης. Το συνολικό ορατό πάχος ης κατώτερης ενότητας ανέρχεται σε 900 μ.

Στο κατώτερο Ολιγόκαινο η Ανώτερη Ενότητα φαίνεται να έχει αποτεθεί σε ένα αβαθές περιβάλλον απ'ότι έχει αποτεθεί η Κατώτερη ενότητα. Έτσι η Ανώτερη Ενότητα του κατωτέρου Ολιγοκαίνου αποτελείται από θαλάσσια και υφάλμυρα ποταμοδελταϊκά ιζήματα και περιλαμβάνουν παρενεστρωμένους αργιλόλιθους, ψαμμίτες, που στα ανώτερα μεταβαίνουν σε άμμους και αμμούχες μάργες. Το συνολικό ορατό πάχος της ανώτερης ενότητας ανέρχεται στα 250 μ.

Τα Μειοκαινικά ηφαιστειακά πετρώματα της Ελληνικής ορογένεσης καλύπτουν το μισό του ιζηματογενούς υποβάθρου του νησιού και αποτελούνται από υποηφαιστειακές διεισδύσεις, ροές λάβας και πυροκλαστικές αποθέσεις. Τα ηφαιστειακά κέντρα τοποθετούνται στα δυτικά και νοτιοδυτικά του νησιού όπου τα ηφαιστειακά πετρώματα επικαλύπτουν το ιζηματογενές υπόβαθρο. Η παρουσία των ηφαιστειακών κέντρων σκιαγραφείται από δόμους και ροές λάβας που συνοδεύονται από λιγότερο ηφαιστειογενή κροκαλοπαγή. Το ιζηματογενές υπόβαθρο είναι αυξανόμενα εκτεθειμένο στην επιφάνεια στα ανατολικά και βορειοανατολικά του νησιού, περιφερειακά των ηφαιστειακών κέντρων.

Τα ηφαιστειακά πετρώματα διαμοιράζονται σε τρεις ενότητες (Innocenti et al (1994)): την ενότητα Κατάκολου, Ρωμανού, και Μύρινας. Αυτά τα πετρώματα είναι κατώτερου Μειοκαίνου (21-18 Ma) και επιδεικνύουν μια ασβεσταλκαλική μέχρι σοσονιτική συνάφεια.

Η κατώτερη ενότητα Κατάκολου περιέχει μια ΒΔ-ΝΑ τάση πλούσια σε κάλιο (K) ανδρεσιτική μέχρι δακτιτική λάβα. Κατά τύπους, είναι παρενεστρωμένα με ή διαταυρούμενη με ροές ανδρεσιτικής λάβας, μονοορυκτολογικά λατυποπαγή, πυριτικά και Α-Δ φλέβες. Ανδρεσίτης και δακίτης στην ενότητα Κατάκολου (βάση K-Ag) χρονολογούνται 20-21 Ε.Χ.

Η ενότητα Κατάκολου επικαλύπτεται από την ενότητα Ρωμανού η οποία περιλαμβάνει πλούσιους σε κάλιο(K) δακίτες και λατίτες. Στη βάση της ενότητας Ρωμανού επικρατούν ανοιχτόχρωμες και πλούσιες σε κίσηρη πυροκλαστικές ροές που έχουν πάχος πάνω από 160 m. Στα δυτικά οι πυροκλαστικές ροές παρεμβάλλονται με ηφαιστειακά λατυποπαγή, ηφαιστειακή τέφρα και χερσογενή ιζήματα. Ιγνημβρίτες και ανδεσίτες από την ενότητα Ρωμανού (βάση K-Ar) χρονολοούνται στα 19.8 E.X.

Η ενότητα Μύρινα επικαλύπτει την ενότητα Ρωμανού και αποτελείται από δακίτη πλούσιο σε κάλιο, με λιγότερα ποσά ανδεσίτη και τραχίτη, τα οποία σχετίζονται με μονοορυκτολογικά λατυποπαγή, ροές λάβας και λαχάρ. Λάβες, δακίτες και ανδεσίτες της ενότητας Μύρινας χρονολογούνται βάση K-Ar σε 19,3 έως 18,2 Ma.

Τόσο τα ηφαιστειακά όσο και το ιζηματογενές υπόβαθρο της νήσου Λήμνου επικαλύπτονται από Πλειοκαινικά – ολοκαινικά αλλούβια τα οποία αποτελούνται από κροκαλοπαγή, ασβεστοαρενίτες, και ψαμμίτες Fornadel Andrew (2010).

3.4.2 Τεκτονισμός

Η τεκτονική διαμόρφωση της νήσου Λήμνου χαρακτηρίζεται από έντονο ρηγματογόνο τεκτονισμό που εκδηλώθηκε μετά την ιζηματογένεση του Ολιγοκαίνου. Οι τεκτονικές διαρρήξεις ακολουθούν ένα πλέγμα ρηγματώσεων με διευθύνσεις αφενός ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ, αφετέρου Α-Δ.

Ασυμφωνία μεταξύ των σχηματισμών του Παλαιογενούς και του Νεογενούς, γεγονός που υποδηλώνει ανάδυση της περιοχής μετά το τέλος του Ολιγοκαίνου. Μια άλλη ασυμφωνία παρατηρείται μεταξύ Πλειστοκαινικών ψαμμιτών και Νεογενών μαργαϊκών ασβεστολίθων και πυριγενών πετρωμάτων γεγονός που φανερώνει την επίδραση των Νεοαλπικών πτυχώσεων στην περιοχή. Οι κλίσεις των πετρωμάτων για την Ηωκαινική σειρά φαίνεται να κλίνει σε γενικές γραμμές προς Β με κλίσεις 10-20°, ενώ οι σχηματισμοί του Ολιγοκαίνου δύσκολα εμφανίζουν κλίσεις εκτός από τις περιοχές, που γειτονεύουν με τις ηφαιστειακές περιοχές όπου παρατηρείται ελαφρά κλίση των στρωμάτων προς αυτές.

Η πτύχωση των Ολιγοκαινικών σχηματισμών παρατηρείται δύσκολα και μόνο τοπικά εξαιτίας ότι οι σχηματισμοί αυτοί διακόπτονται από ηφαιστειακά πετρώματα και τεκτονικές γραμμές. Διαπιστώνεται όμως ότι κοντά στις ηφαιστειακές περιοχές οι σχηματισμοί αυτοί κλίνουν προς τις εν λόγω περιοχές. Τέλος έχουν παρατηρηθεί σύγκλινα και αντίκλινα μικρών διαστάσεων στο ΒΔ και ΒΑ τμήμα του νησιού.

Το νησί Λήμνος βρίσκεται στο βόρειο Αιγαίο και χαρακτηρίζεται από μέτρια θετική κίνηση αερίων ανώμαλης ροής. Αυτή η ανωμαλία, σε συνδυασμό με τις ενεργά θερμές πηγές που βρίσκονται στο νησί, υποδεικνύουν ότι υπάρχει μια απότομη θερμικά κατωφέρεια που συνεχίζεται ακόμη και μετά το τέλος της ηφαιστειακής δραστηριότητας του νησιού. Η παρουσία των θερμών πηγών δείχνει ότι εύθραυστες

δομές στο νησί κατέχουν σημαντικό ρόλο στην αγωγιμότητα των ρευστών και στην έκλυση θερμότητας από μια πηγή στο βάθος. Skarpelis et Voudouris (

3.4.3 Γεωλογία στην χερσόνησο του Φακού

Η περιοχή που υφίστανται η χερσόνησος του Φακού αποτελείται από 2 μεγάλους λόφους στα δυτικά λόφος Τουρλίδα και ανατολικά λόφος Πετρόσπιτου, των οποίων τα υψόμετρα είναι περίπου 300 m. Το ιζηματογενές υπόβαθρο αποτελείται από μεσαίου μεγέθους κόκκων ψαμμίτη πλούσιο σε χαλαζία παρουσία σουλφιδίων που προήλθαν από την υδροθερμική εξαλλοίωση. Τα ιζηματογενή πετρώματα υπόκεινται των παλαιότερων ηφαιστειογενών και των διεισδύοντων πετρωμάτων που βρέθηκαν στο νησί της Λήμνου. Τα ηφαιστειακά αποτελούνται από ανδεσιτική ροή λάβας, τέφρας, και διεισδύσεις υποηφαιστειακών τραχυανδεσιτών της νότιας έκθεσης της ενότητας Κατάκολου. Στα βόρεια της χερσονήσου υπάρχει μια μικρή εμφάνιση πυροκλαστικού πετρώματος της ενότητας Ρωμανού. Βασιζόμενοι στο σχήμα ταξινόμησης κατά Le Bas et al. (1986), η εμφάνιση του πυροκλαστικού πετρώματος στην χερσόνησο του Φακού κυμαίνεται μεταξύ σοσνιτικών ανδεσιτών (λατίτες) , τραχιανδεσιτών και τραχιτών.

Στο κεντρο της χερσονήσου , οι εμφανίσεις και τα ιζηματογενή πετρώματα του υποβάθρου ανακατεύονται με υποηφαιστειακό μικροπορφυριτικό χαλαζιακό μονζονίτη (ο χαλαζιακός μονζονίτης του Φακού), προτάθηκε ότι ο χαλαζιακός μονζονίτης γενετικά σχετίζεται με την τοποθέτηση μιας άλλης υποηφαιστειακής διείσδυσης της ενότητας Κατάκολου.

Μεγάλο μέρος της νοτιοδυτικής μεριάς της Λήμνου έχει υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση κατά μήκος των ζωνών των ρηγμάτων. Κατά τους Papulis & Tsoilis-Katagas, 2008 ορίζονται 4 δυσδιάκριτες ζώνες υδροθερμικής εξαλλοίωσης βασιζόμενοι **στην ορυκτολογία της αργίλου** όπου υπάρχουν σμηκίτης, ιλλίτης, αλλουσίτης, και καλονιτικές-δακτιτικές ζώνες. Παρόλα αυτά οι ζώνες του σμηκίτη και του ιλλίτη δεν είναι κοινές. Κατά Skarpelis et al 1998, η εξάπλωση των ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης του Φακού ελέγχεται από τη ρηξιγενή τεκτονική. Στον Φακό αναπτύσσονται οι ακόλουθες ζώνες εξαλλοίωσης: α) ζώνη πυριτίωσης, β) ζώνη αλουνίτη γ) αργιλική ζώνη και δ) προπυλιτική.

Η χερσόνησος του Φακού όπως και το υπόλοιπο νησί, διαπερνάται από ρήγματα BA-NΔ και ABA-ΔNΔ. Οπότε και τοποθετούνται υποηφαιστειακά σωμάτια και διευκολύνεται η ροή των υδροθερμικών – μαγματικών ρευστών που είναι υπεύθυνα για την μεταλλοφορία. Ο χαλαζιακός μονζονίτης του Φακού και τα γειτονικά πετρώματα υποβλήθησαν σε έντονη υδροθερμική εξαλλοίωση (Voudouris and Alfieris, 2005; Voudouris, 2006; Papoulis and Tsoili-Katagas, 2008).

3.4.3.1 Υδροθερμική εξαλλοίωση Φακού

Η υδροθερμική εξαλλοίωση του Φακού ταξινομείται ως εξής:

Καλιούχος (Potassic): σημειώνεται στο ανατολικό μέρος του Φακού ιδιαίτερα σχετίζεται με τον χαλαζιακό μονζονίτη του Φακού. Είναι ο πιο παλιός τύπος εξαλλοίωσης στην περιοχή (σχεδόν ταυτόχρονα με την προπυλιτική εξαλλοίωση). Αποτελείται από χαλαζία, ορθόκλαστο, βιοτίτη, μαγνητίτη, πυρίτη και χαλκοπυρίτη.

Προπυλιτική (propylitic): αναπτύσσεται στα χαμηλότερα επίπεδα του επιθερμικού συστήματος, πλευρικά της αργιλικής ζώνης. Φαίνεται σε όλους τους τύπους πετρωμάτων με εξαίρεση τους τόφφους. Χαρακτηρίζεται από χλωρίτη, αλβίτη, επίδοτο, σερικήτη, πυρίτη, ακτινόλιθο, απατίτη και τιτανίτη, άστριοι, αμφίβολοι και πυρόξενοι.

Σερικιτική ή φυλλοπυριτική (sericitic or phyllic): χαρακτηρίζεται από σερικήτη, χαλαζία, πυρίτη και τουρμαλίνη. Παρούσα είναι η σερικιτική εξαλλοίωση λάβας και τόφφων σε μεγάλη περιοχή μεταξύ λόφων Τουρλίδας και Πετρόσπιτου πίσω από την **προχωρημένη αργιλική** (advanced argilic) ζώνη. Επίσης η αργιλική εξαλλοίωση εμφανίζεται στο νότιο τμήμα της χερσονήσου του Φακού. Χαρακτηρίζεται από σμεκτίτη, σερικήτη, χλωρίτη, χαλαζία, πυρίτη και κατά θέσεις τουρμαλίνη.

Προχωρημένη αργιλική

(advanced argilic): χαρακτηρίζεται από αλλουνίτη, χαλαζία, καολινίτη και πυρίτη. Η συγκεκριμένη ζώνη όπως και τοπογραφικά είναι υψηλότερα από την σερικιτική εξαλλοίωση, και διαπερνάται από υδροθερμικά λατυποπαγή στα οποία θράυσματα πετρωμάτων που έχουν εξαλλοιωθεί περιβάλλονται από οξείδια του σιδήρου.

Πυριτική: Καταλαμβάνει ένα μεγάλο τμήμα της περιοχής. Ζώνες πυριτίωσης υπό μορφή πυριτικών καλυμμάτων κυριαρχούν στο δυτικό και ανατολικό τμήμα (θέσεις Τουρλίδα και Πετρόσπιτος. Η πυριτίωση διαρκίνεται σε πορώδη και σε συμπαγή μορφή. Εκτός του μικροκρυσταλλικού χαλαζία, σιδηροπυρίτη, και μαρκασίτη στη ζώνη πυριτίωσης σε μικρές αναλογίες συμμετέχουν αλουνίτης ζιρκόνιο, ανατάσης. Voudouris, P., and Skarpelis, N., (1998).

3.4.3.2 Μεταλλοφορίες

Περιοχή Φακού: Σύμφωνα με Skarpelis et al 1998, στις πυριτικές ζώνες εντοπίζεται μεταλλοφορία, στο νότιο τμήμα της περιοχής και συγκεκριμένα σε χαλαζιακές φλέβες που βρίσκονται μέσα στους ψαμμίτες (δυτική και κεντρική ζώνη) και στο χαλαζιακό μονζοδιορίτη, στα νοτιοανατολικά της περιοχής (ανατολική ζώνη). Στη δυτική ζώνη μεταλλοφορίας εντός χαλαζιακών φλεβών διεύθυνσης B55° Δ και B70°Α. Σε χαμηλότερα τοπογραφικά επίπεδα εντοπίστηκε πλήθος χαλαζιακών φλεβών και υδροθερμικών λατυποπαγών με πλούσια μεταλλοφορία θειούχων, θειοαλάτων, τελλουριδίων και χρυσού. Η ανατολική ζώνη μεταλλοφορίας βρίσκεται περίπου 600 m νοτιοανατολικά της κεντρικής ζώνης και χαρακτηρίζεται από τις υψηλότερες συγκεντρώσεις χρυσού στις μεταλλοφορίες της περιοχής Φακού. Μήκος περίπου 1 Km και έυρος περίπου 10 m.

Περιοχή Σαρδών: Σύστημα χαλαζιακών φλεβών, φλέβες αναπτύσσονται εντός υποηφαιστείτη και ψαμμιτών και συνδέονται με συστήματα ρηγμάτων B55°Δ B70°Α,

όπως και στην περιοχή του Φακού. Το πλευρικό πέτρωμα των χαλαζιακών φλεβών χαρακτηρίζεται από σερικιτίωση.

Περιοχή Ρουσσοπουλίου. Εντοπίστηκαν εντός ηφαιστειακών λατυποπαγών τρεις ζώνες μαύρης συμπαγούς πυριτίωσης. Η πυριτίωση είναι οπαλιούχος συνήθως και συνδέεται με σερικιτική εξαλλοίωση πλευρικού πετρώματος. Ζώνη αλουνίτη αναπτύσσεται πάνω από τη ζώνη πυριτίωσης. Χαρακτηριστική είναι η υδροθερμική λατυποποίηση τόσο των ζωνών πυριτίωσης όσο και της ζώνης αλουνίτη. Η μεταλλοφορία περιλαμβάνει σιδηροπυρίτη, μαρκασίτη, και φλεβίδια που διαπερνούν τις ζώνες πυριτίωσης. Voudouris, P., and Skarpelis, N., (1998)

Σύμφωνα με Voudouris & Skarpelis (1998) , Οι ζώνες πυριτίωσης, αλουνίτη και τα υδροθερμικά λατυποπαγή στις θέσεις Τουρλίδα και Πετρόσπιτος παρουσιάζουν χαμηλές περιεκτικότητες χρυσού. Η υψηλότερη τιμή σε χρυσό μετρήθηκε σε φλεβικό υλικό από την ανατολική ζώνη μεταλλοφορίας 5,6gr/tn. Οι υψηλότερες τιμές αργύρου μετρήθηκαν σε δείγματα με άφθονο τεταρεδρίτη στα χαμηλότερα επίπεδα του επιθερμικού συστήματος.

4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

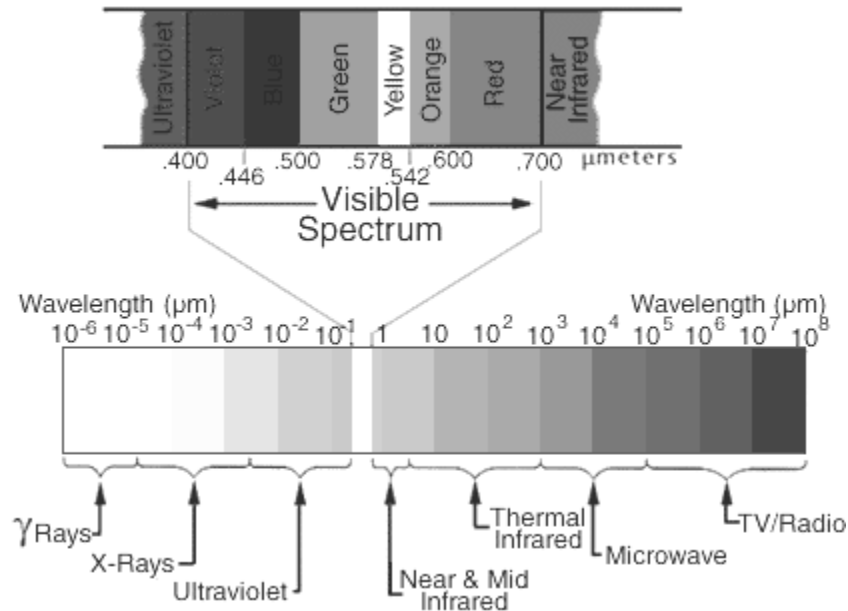
Η τηλεπισκόπηση (Remote sensing, teledetaction, telerilevamento) ορίζεται ως η τεχνική απόκτησης πληροφοριών για αντικείμενα που βρίσκονται στη γήινη επιφάνεια, μέσα από την ανάλυση δεδομένων που συλλέγονται από ειδικά όργανα τα οποία όμως δεν έχουν φυσική επαφή με τα αντικείμενα. Έτσι, η τηλεπισκόπηση μπορεί να αποδοθεί και ως η αναγνώριση ενός αντικειμένου από απόσταση Μικίρος κ.α. (2003).

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια (ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) αποτελείται από κύματα ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, τα οποία διαδίδονται (ακτινοβολούνται) στον ελεύθερο χώρο. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εμφανίζονται με πολλές διαφορετικές μορφές όπως, τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, το ορατό φως. Επίσης οι ακτίνες Χ αποτελούν μορφές ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός. Τα κύρια χαρακτηριστικά των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι:

1. το μήκος κύματος, δηλαδή η απόσταση που καλύπτεται από ένα κύκλο του κύματος,
2. η συχνότητα, δηλαδή ο αριθμός των κύκλων του κύματος που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο κατά τη διάρκεια ενός δευτερολέπτου.

Ολόκληρο το εύρος της ηλεκτρικής ακτινοβολίας αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (EMS-Electromagnetic Spectrum). Το φάσμα διαχωρίζεται σε φασματικά κανάλια (spectral bands), τα οποία με την σειρά τους συγκροτούνται από μικρές ομάδες συνεχών φασματικών γραμμών. Τα φασματικά αυτά κανάλια είναι το υπεριώδες (Ultraviolet, UV), το ορατό (Visible), το υπέρυθρο (Infrared, IR) και το μικροκυματικό (Microwave), από τα οποία το ορατό καθορίζεται σαφέστερα με βάση την ανθρώπινη όραση .

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης έχουν σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να ανιχνεύουν επιλεκτικά EMR, μεταξύ μιας ή περισσότερων υποδιαίρεσεων, χωρίς όμως να είναι αυτό εφικτό με ένα μόνο όργανο (αισθητήρα). Έτσι, οι ομάδες αισθητήρων είναι δυνατόν να συλλέξουν πληροφορίες μέσα από τη φασματική διακύμανση, η οποία είναι βέβαια εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη του ορατού καναλιού.



Εικόνα 4 κύρια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και τα κανάλια του, με το μήκος κύματος, την συχνότητα και την ενέργεια των φωτονίων. (Frinberg, 1968).

4.1 Δεδομένα

Για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του του θεματικού χαρτογράφου δορυφόρου Landsat 8 και του υπερφασματικού απεικονιστή Hyperion. Τέλος για την εισαγωγή και ανάλυση δεδομένων και οπτικοποίηση χρησιμοποιήθηκαν λογισμικά ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων και λογισμικά Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

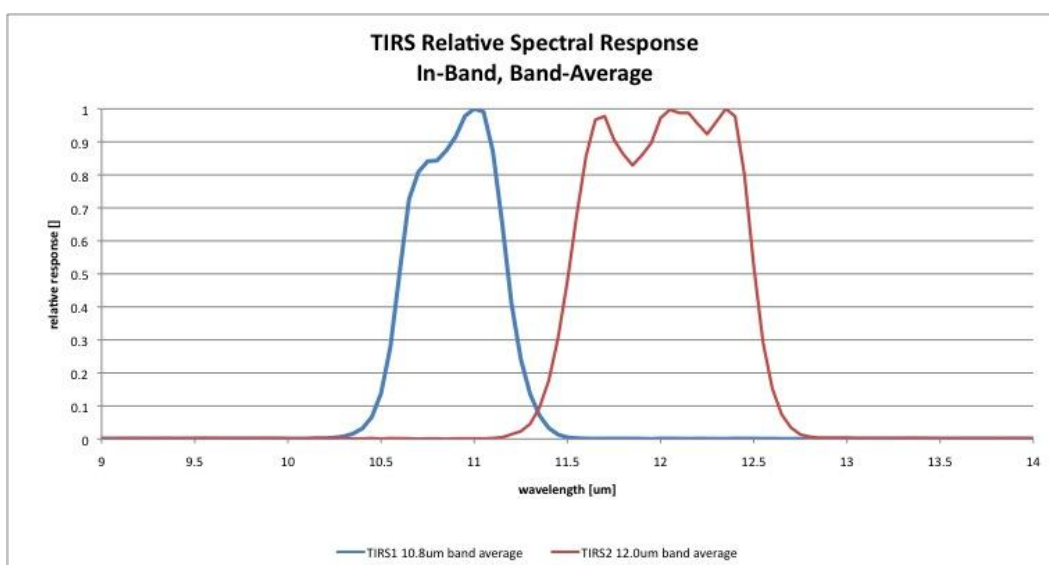
4.1.1 Δορυφόρος Landsat 8

Η εικόνα που χρησιμοποιείται για την εκπόνηση της εργασίας είναι του δορυφόρου Landsat 8 με αισθητήρα OLI. Η λήψη έγινε στις 16/8/2014.

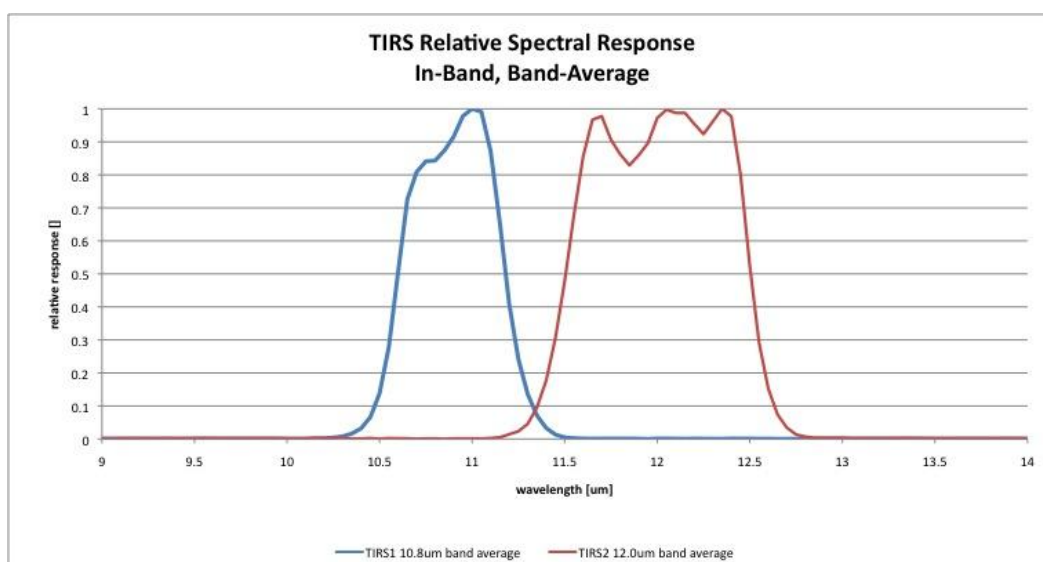
Το διαστημικό όχημα έχει βάρος 2,071 τόνους, μήκος 3 μέτρα και διάμετρο 2,4μ. Μια πλήρης τροχιά απαιτεί χρόνο 98,9 λεπτών και ολόκληρη η γη καλύπτεται σε 16 ημέρες από ύψος 705 χιλιομέτρων. Αναμένεται να συλλέξει δεδομένα όγκου 400 Terrabytes σε διάστημα 5 ετών.

4.1.2 Καταγραφείς

Ο φορέας είναι εξοπλισμένος με δύο όργανα το Operational Land Imager (OLI) που καταγράφει την αντανάκλαση του ορατού και εγγύς υπέρυθρου (επιπλέον θα υπάρχει και παγχρωματική καταγραφή στα 500-680nm) και το Thermal Infrared Sensor (TIRS) που θα ανιχνεύει τη θερμική ακτινοβολία σε μήκη κύματος 10300-12500nm.



Εικόνα 5 φασματικά χαρακτηριστικά OLI



Εικόνα 6 φασματικά χαρακτηριστικά TIRS.

Κανάλι	Μήκος Κύματος (micrometers)	Ανάλυση (meters)
Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Πίνακας 1 Ο landsat 8 συνολικά συλλέγει πληροφορία σε 11 κανάλια.

4.1.3 Συλλογή - Μετάδοση – Διανομή Δεδομένων

Κάθε σκηνή θα καλύπτει μια επιφάνεια 170 X 185 χιλιομέτρων με ανάλυση 30 μέτρων για το όργανο OLI (το παγρωματικό στα 15μ) και 100 μέτρων για τα δύο θερμικά κανάλια του TIRS. Η μετάδοση των δεδομένων θα γίνεται μέσω των επίγειων σταθμών λήψης GNE προς σταθμούς DPAS όπου οι εικόνες θα ελέγχονται για θόρυβο και κορεσμό, θα συμπληρώνονται τα απορριπτέα δεδομένα και θα αποκτούν τα αναγκαία μεταδεδομένα προτού αρχειοθετηθούν.

Σε αυτή τη φάση θα διατηρούνται σε μορφή HDF5 (ένα αρχείο για κάθε όργανο) με το διακριτικό Level 0 (L0 ή L0Ra) και σε ραδιομετρική ανάλυση 12bit.

Στη συνέχεια τα δεδομένα θα αναφέρονται στο σύστημα διανομής σκηνών WRS-2 χωρίς επιπλέον επεξεργασία. Θα ακολουθεί η επεξεργασία από το σύστημα LPGS όπου θα γίνεται η ραδιομετρική και η γεωμετρική διόρθωση. Η ραδιομετρική διόρθωση των δεδομένων θα μετασχηματίζει πηγαία δεδομένα σε καθαρούς αριθμούς (digital counts) ενώ η γεωμετρική διόρθωση θα γίνεται με τη χρήση ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου και επίγειων σημείων ελέγχου ώστε να προκύψουν ορθοδιορθωμένες εικόνες που θα αναφέρονται στο σύστημα UTM. Τα δεδομένα θα διακρίνονται γενικά ως LDCM Level 1 και ειδικότερα:

- Level 1 Radiometric (L1R): Ραδιομετρικά διορθωμένα δεδομένα L0
- Level 1 Systematic (L1G): Δεδομένα L1R με συστηματική γεωμετρική διόρθωση
- Level 1Gt (L1Gt): Δεδομένα L1R ορθοδιορθωμένα με συνυπολογισμό του ανάγλυφου και χρήση επίγειων σημείων ελέγχου (διόρθωση παράλλαξης).

- Level 1 Terrain (L1T): Δεδομένα L1R

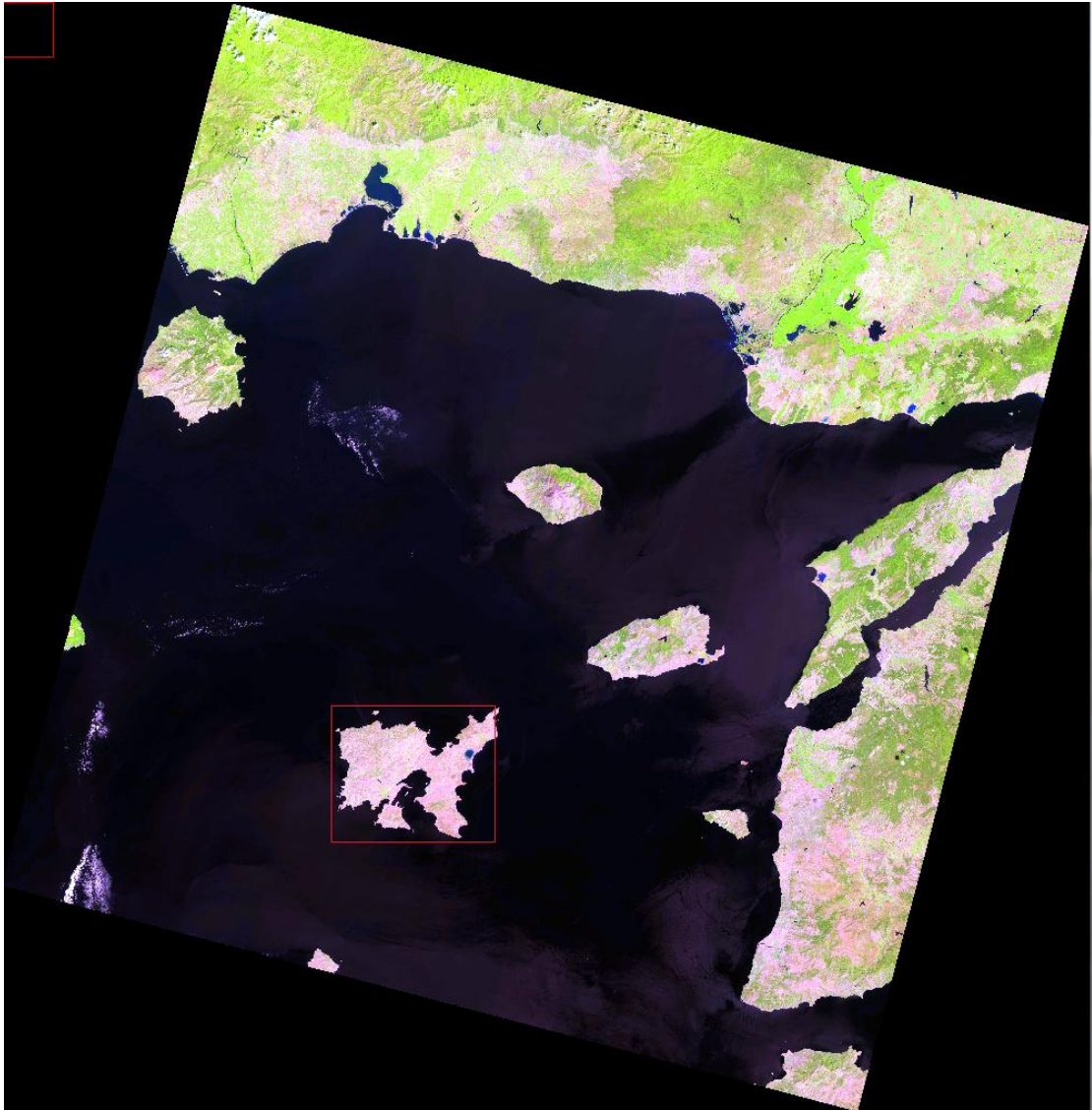
Οι εικόνες θα διανέμονται στους τελικούς χρήστες με ανάλυση 16bit σε μορφή GeoTIFF (ένα αρχείο για κάθε κανάλι). Η διάθεση των εικόνων θα είναι ελεύθερη μέσω του Earth Explorer, του GLOVIS και άλλων διαδικτυακών τόπων.

4.1.4 Διάρκεια Ζωής

Το σύστημα έχει σχεδιασθεί για να λειτουργήσει τουλάχιστο 5 χρόνια, ενώ ήδη από τη διαδικασία εκτόξευσης εξοικονομήθηκαν καύσιμα που θεωρητικά επεκτείνουν το ελάχιστο χρόνο λειτουργίας του δορυφόρου κατά δύο επιπλέον χρόνια.

4.1.5 Θερμικό υπέρυθρο (TIR) μήκος κύματος:

Μέσω του θερμικού υπέρυθρου (TIR) αναγνωρίζονται ορυκτά τα οποία δεν μπορούσαν να αναγνωριστούν στο VNIR-SWIR τμήμα του φάσματος επειδή η απορρόφησή τους είναι στο TIR φάσμα. Τέτοια ορυκτά είναι ο χαλαζίας, οι άστριοι, οι ολιβίνες και οι πυρόξενοι. Οι δορυφόροι που παρέχουν εικόνες στο TIR μήκος κύματος είναι ο ASTER, ο MODIS, ο SEVIRI/MSG και ο AVHRR-3/METOP. Αν και δίνουν την δυνατότητα λήψης της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους, η χωρική και φασματική διακριτική τους ικανότητα είναι πολύ μικρή. Τέλος, δεδομένα από τον SEBASS χρησιμοποιούνται για γεωλογική χαρτογράφηση και δεδομένα από τον TES (Thermal Emission Spectrometer) για ορυκτολογική χαρτογράφηση του Άρη. Πηγή USGS http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php



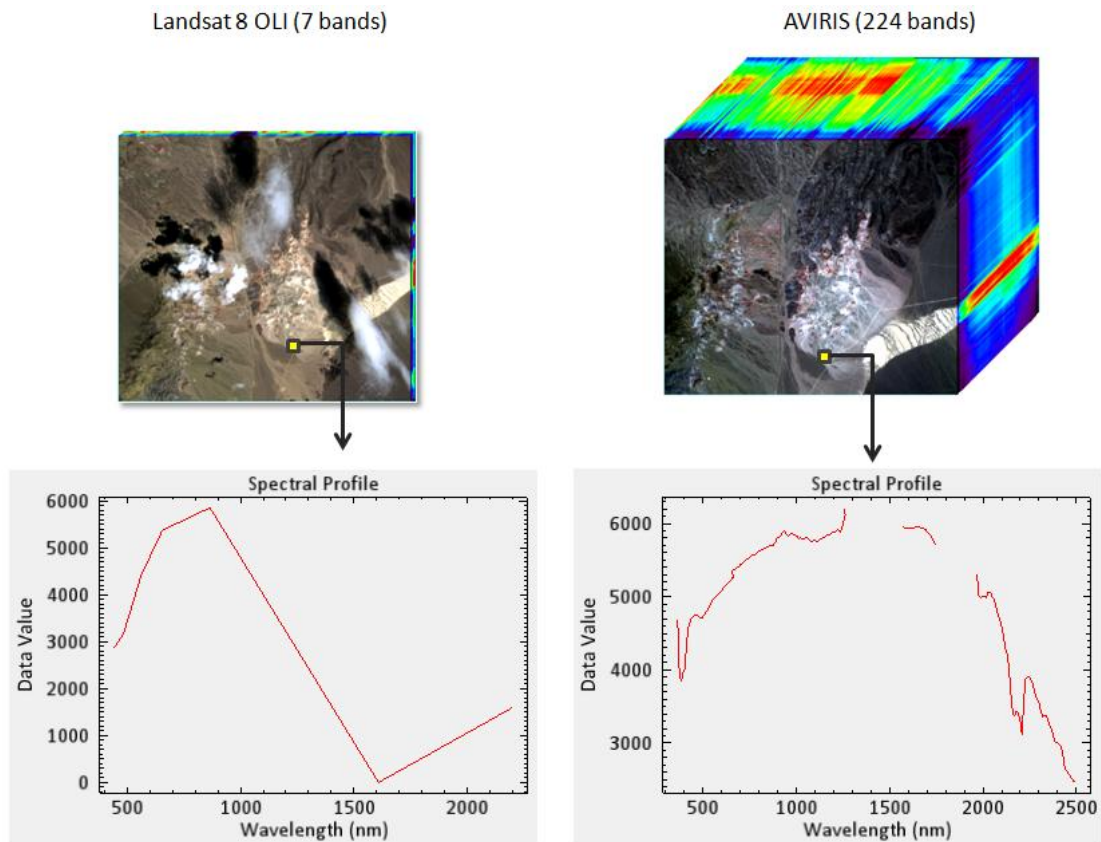
Εικόνα 7 Εικόνα της περιοχής από τον δορυφόρο Landsat 8 . Με κόκκινο πλαίσιο είναι η νήσος Λήμνος.

4.1.6 Δορυφόρος EO-1 αισθητήρας Hyperion

Οι υπερφασματικοί αισθητήρες (*imaging spectrometers*) συλλέγουν φασματική πληροφορία κατά μήκος του φάσματος , διαιρώντας το σε περισσότερα φασματικά κανάλια. Με αποτέλεσμα οι αερομεταφορείς και οι δορυφόροι αυτού του είδους να μπορούν να έχουν πάνω από 100 κανάλια σε μια φασματική ανάλυση, συγκριτικά με έναν πολυφασματικό δέκτη όπως ο Landsat 8 OLI που έχει 9 φασματικά κανάλια και φασματική ανάλυση 106 nm.

Η φασματική ανάλυση αναφέρεται στο μήκος κάθε καναλιού μέσα στο φάσμα. Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται στο πλάτος απόκρισης οργάνου (band pass) στο μισό του βάθους του καναλιού. Αυτό είναι γνωστό ως full-width-half-maximum (FWHM).. Οι υπερφασματικοί αισθητήρες σχεδιάζονται έτσι ώστε το διάστημα του καναλιού να είναι περίπου ίσο με το FWHM . Η παρακάτω εικόνα δείχνει πως ένα pixel σε ένα

πολυφασματικό αισθητήρα καλύπτει διακριτά φασματικά κανάλια . Αν και θα μπορούσε να καλύπτει με περισσότερα φασματικά κανάλια το φάσμα του ορατού έως του θερμικού , έτσι δε μπορεί να παράγει ένα συνεχόμενο φάσμα ενός αντικειμένου όπως μπορεί ένας υπερφασματικός αισθητήρας.



EO-1 Satellite Imagery

Ο δορυφόρος Earth Observing-1 είναι όργανο πολυφασματικό/ υπερφασματικό και εκτοξεύθηκε στις 21 Νοεμβρίου 2000, με αποστολή ενός έτους. Στόχος αυτής ήταν η επικύρωση της τεχνολογίας Landsat Data Continuity Mission (LDCM), καινοτόμες τεχνολογίες που σχεδιάστηκαν για να δώσουν αυξανόμενη ικανότητα στον δορυφόρο και στους αισθητήρες τους με χαμηλό κόστος.

Η υπερφασματική εικόνα που χρησιμοποιήθηκε προήλθε από τον απεικονιστή Hyperion στις 22/11/2014.

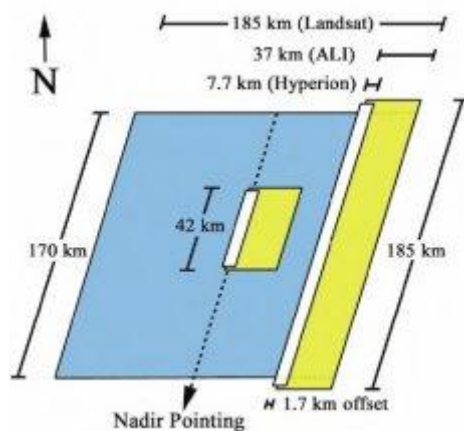
Ο δορυφόρος EO-1 ακολουθεί μια κυκλική, επαναληπτική, ηλιοσύγχρονη, σχεδόν πολική τροχιά σε υψόμετρο 705 km στον Ισημερινό. Το διαστημικό σκάφος ταξιδεύει από βορρά προς νότο περνώντας πάνω από τον Ισημερινό περίπου στις 10:00 – 10:15 πμ. Ο δορυφόρος ταξιδεύει γύρω από τη γη με ταχύτητα 7,5 km/sec, με κλίση τροχιάς 98,2 βαθμούς και μια τροχιακή περίοδο 98,9 λεπτών. Κάθε τροχιά διαρκεί περίπου 99 λεπτά και η ταχύτητα του κατώτατου σημείου του δορυφόρου είναι ίση με 6,74 km/sec. Ο EO-1

ολοκληρώνει περίπου 14 τροχιές την ημέρα, με κύκλο επανεπίσκεψης 16 ημερών. Ο δορυφόρος EO-1 ακολουθεί την ίδια τροχιά με τον δορυφόρο Landsat-7 όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες υστερώντας κατά 1 περίπου λεπτό (± 5 δευτερόλεπτα). Το γεγονός αυτό είναι πάρα πολύ σημαντικό γιατί επιτρέπει την σύγκριση της απόδοσης των οργάνων των δύο δορυφόρων. Επειδή ο EO-1 είναι πολύ μικρότερος και ελαφρύτερος από τον Landsat-8, χρειάζονται πολλές περιοδικές επεμβάσεις στην τροχιά του, για να διατηρείται αυτή η απόσταση μεταξύ τους.

Τα όργανα EO-1 ALI καλύπτουν ένα μήκος κύματος του φάσματος που κυμαίνεται από 0,43 ως 2,40 μ . σε 242 γειτονικά κανάλια εύρους 10 nm. Από τα 242 τα 198 είναι ραδιομετρικά βαθμονομημένα calibrated. Εξαιτίας της φασματικής επικάλυψης των δυο φασματοσκοπίων τελικά η πληροφορία παρέχεται από τα 196 κανάλια (8- 57 ορατό/εγγύς υπέρυθρο, 428-926 και 79-224, μέσο υπέρυθρο, 933-2395nm).

Οι εικόνες του απεικονιστή Hyperion παρέχονται σε μορφή Hierarchical Data Format (HDF) και οι τιμές των εικονοστοιχείων είναι σε τιμές ακτινοβολίας w/m² SR μ m σε 16 bit κλίμακα. Οι τιμές της ακτινοβολίας στο μέσο υπέρυθρο είναι πολλαπλασιασμένες με

Ένα συντελεστή 80 ενώ οι αντίστοιχες τιμές στο ορατό/εγγύς υπέρυθρο είναι πολλαπλασιασμένες με 40.



TERRAINMAP Earth Imaging LLC 2010, 2011, All right

Ο απεικονιστής Hyperion αποτελείται από ένα τηλεσκόπιο και δυο φασματοσκόπια. Το ένα φασματοσκόπιο καταγράφει την ανακλούμενη ενέργεια στο ορατό visible εγγύς υπέρυθρο (NIR) και το άλλο φασματοσκόπιο καταγράφει την ανακλούμενη ακτινοβολία στο μέσο υπέρυθρο (SWIR) τμήμα του φάσματος.

Κάθε εικόνα (frame) περιέχει δεδομένα 7.65 Km κάθετα στη διεύθυνση του δορυφόρου (cross track) και μήκους 185 Km κατά την διεύθυνση του δορυφόρου (along track) με μέγεθος εικονοστοιχείου pixel 30m.



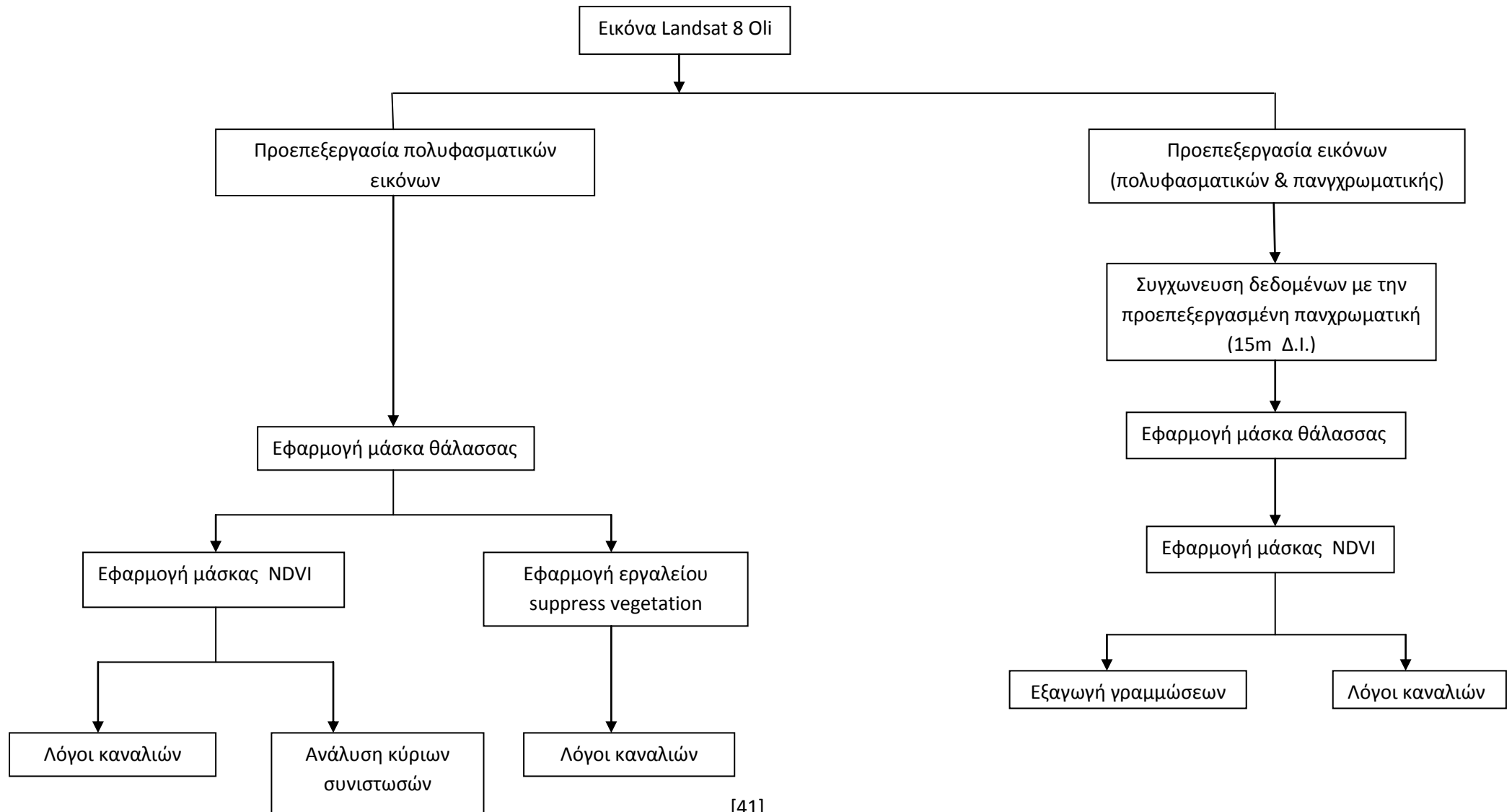
Εικόνα 8 εικόνα της περιοχής του Φακού (Λήμνος) από τον δορυφόρο EO1 του απεικονιστή Hyperion. RGB band 29-band 21-band 11

Πηγή <http://eo1.usgs.gov/documents/hyperion>

4.2 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας μπορεί να διαιρεθεί σε δυο γενικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει την ανάλυση των πολυφασματικών δεδομένων της εικόνας του θεματικού χαρτογράφου Landsat 8, ενώ η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις μεθόδους για την ανάλυση των υπερφασματικών δεδομένων της εικόνας Hyperion. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε καθεμιά από τις δυο κατηγορίες περιγράφονται πρώτα οι διεργασίες που ακολουθήθηκαν και αφορούν την προεπεξεργασία των εικόνων για τη μετέπειτα εφαρμογή των μεθόδων της ανάλυσης.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ 1ΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ: ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ LANDSAT 8



4.2.1 Προεπεξεργασία εικόνας LANDSAT 8

4.2.1.1 Ραδιομετρική Διόρθωση

Χρησιμοποιήθηκε η διόρθωση του δορυφόρου για να γίνει η μετατροπή των ψηφιακών τιμών εντέλει σε τιμές ανακλαστικότητας για να επιτρέψει τη χαρτογράφηση των παραμέτρων που αφορούν τους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Τα προϊόντα του landsat 8 που παρέχει η Αμερικανική Γεωλογική Εταιρεία Ερευνών (USGS) αποτελούνται από κβαντοποιημένους και διορθωμένους ψηφιακούς αριθμούς (digital numbers DN) αντιπροσωπεύοντας πολυφασματικά δεδομένα εικόνας που έχουν κληρονομηθεί από τον OLI και τον αισθητήρα του θερμικού υπέρυθρου (TIRS). Τα προϊόντα που παραδίδονται είναι των 16 bit χωρίς σήμα καθορισμένου ακέραιου και μπορούν να ξανά διαβαθμισθούν σε ανακλώμενα (reflectance) και ακτινοβολούμενα (radiance), χρησιμοποιώντας ραδιομετρικούς συντελεστές, που παρέχονται στο MTL αρχείο μεταδεδομένων. Επίσης, το MTML αρχείο περιέχει τις σταθερές που χρειάζονται για τη μετατροπή των TIR δεδομένων στον δορυφόρο θερμοκρασία λαμπρότητας.

Μετατροπή σε Ανάκλαση (Conversion to TOA Reflectance)

Τα δεδομένα των καναλιών του δορυφόρου OLI μπορούν να μετατραπούν σε πλανητική ανάκλαση χρησιμοποιώντας τους συντελεστές που παρέχονται από τον φάκελο μεταδεδομένων (MTL file). Η παρακάτω εξίσωση μετατρέπει DN τιμές σε ανάκλαση για τα δεδομένα του δορυφόρου OLI:

$$\rho_{\lambda'} = M\rho Q_{cal} + A\rho$$

όπου:

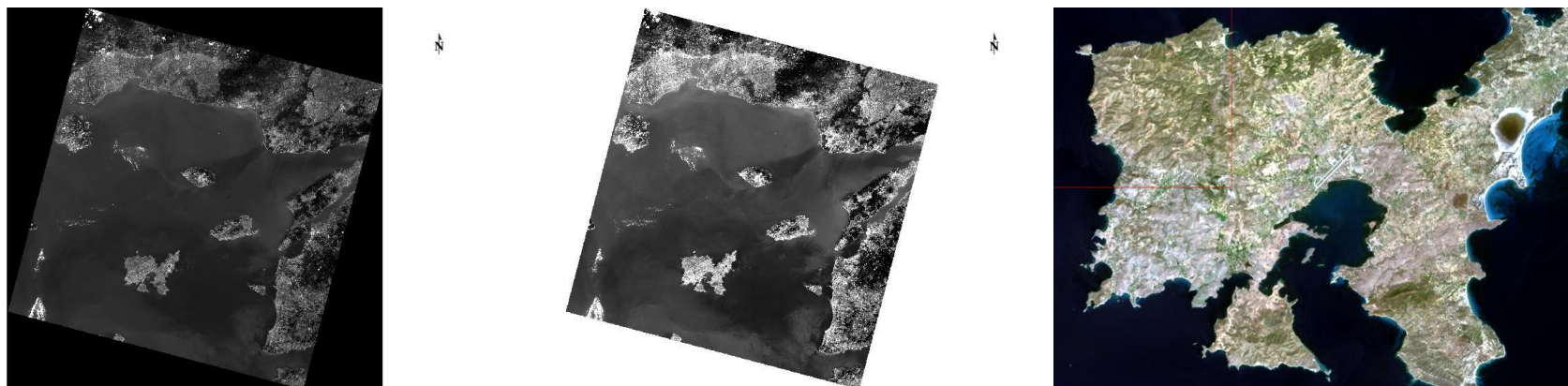
$\rho_{\lambda'}$ = σε πλανητική ανάκλαση, χωρίς διόρθωση για ηλιακή γωνία.

$M\rho$ = συντελεστής πολλαπλασιασμού από τον φάκελο μεταδεδομένων για κάθε κανάλι (REFLECTANCE_MULT_BAND_x, όπου x είναι το κανάλι)

$A\rho$ = προσθετικός συντελεστής από τον φάκελο μεταδεδομένων για κάθε κανάλι a (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, όπου x είναι το κανάλι)

Q_{cal} = κβαντοποιημένες και διορθωμένες ψηφίδες (DN values).

http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php

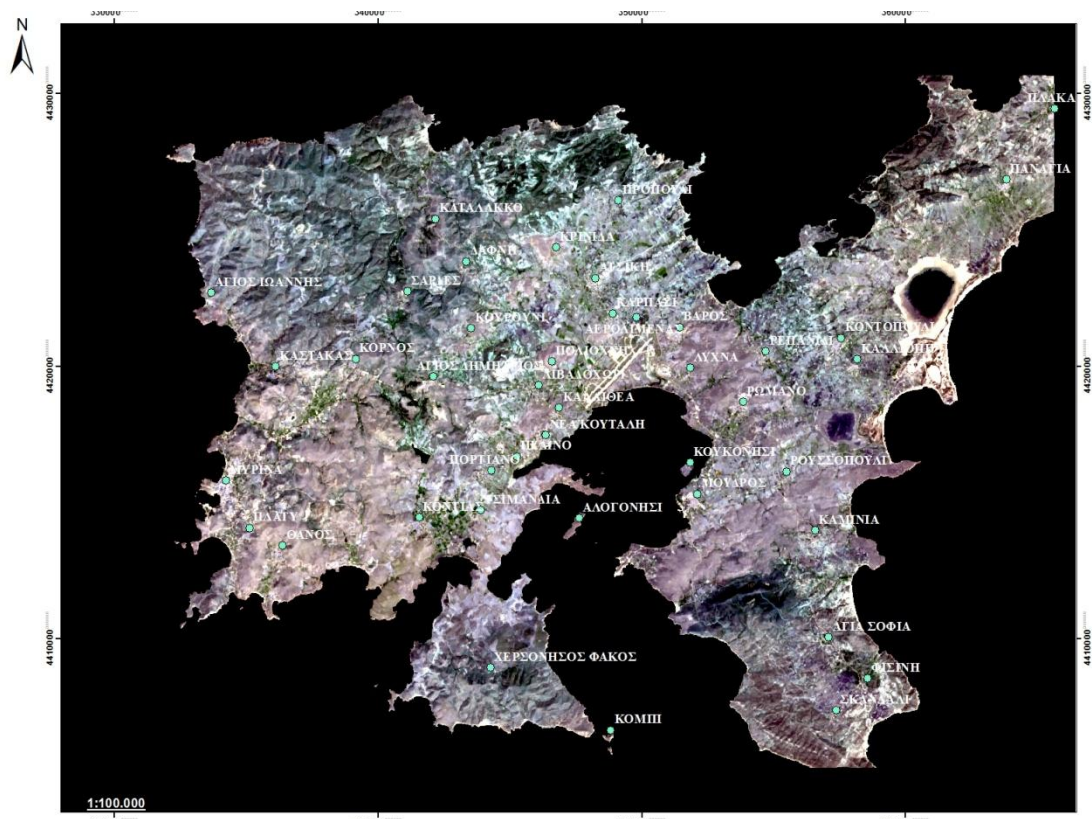


Εικόνα 9. 1η εικόνα ανεπεξέργαστη εικόνα κανάλι 2, 2^η επεξεργασμένη reflectance κανάλι 2, 3^η εικόνα προεπεξεργασμένη εικόνα της Λήμνου συνδυασμός καναλιών RGB 4-3-2 (σύστημα συν/νων EGSA 87).

4.2.2 Επεξεργασία εικόνας LANDSAT 8

4.2.2.1 Απόκρυψη θάλασσας

Εφαρμογή μάσκα θάλασσας με την εφαρμογή ROI threshold στο κανάλι κοντινού υπέρυθρου (NIR) όπου επιλέχθηκε η περιοχή της θάλασσας από το ιστόγραμμα και δημιουργήθηκε μάσκα με τιμές 0 για την επιλεγθείσα περιοχή και τιμή 1 για την υπόλοιπη περιοχή (στεριά). Η μάσκα εφαρμόστηκε στην προεπεξεργασμένη εικόνα της Λήμνου.



Απόκρυψη θάλασσας και λιμνών (μαύρο χρώμα).

4.2.2.2 Συγκάλυψη βλάστησης (vegetation suppression)

Η τεχνική *vegetation suppression*, αφαιρεί την φασματική υπογραφή της βλάστησης από τις πολυφασματικές και υπερφασματικές εικόνες, χρησιμοποιώντας πληροφορία από το κανάλι του κόκκινου και του κοντινού υπέρυθρου. Αυτή η τεχνική βοηθά στην ερμηνεία γεωλογικών και αστικών χαρακτηριστικών. Ο αλγόριθμος μοντελοποιεί το ποσοστό της βλάστησης για κάθε pixel χρησιμοποιώντας μια μετατροπή βλάστησης. Το μοντέλο υπολογίζει τη σχέση κάθε εισερχόμενου καναλιού με τη βλάστηση, έπειτα αποσυσχετίζει τα αρνητικά στοιχεία του ολικού σήματος σε μια βάση κάθε pixel για κάθε κανάλι. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής *vegetation suppression* χρησιμοποιούνται για ποσοτική ανάλυση, αλλά όχι για επακόλουθη φασματική ανάλυση. Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιείται κατά το

πλείστον στον εντοπισμό της λιθολογίας και γραμμικών βελτιώσεων σε περιοχές ανοιχτών σκιάσεων(open canopy).



Εικόνα 10 Εικόνα της Λήμνου RGB 4-3-2 όπου εφαρμόστηκε συγκάλυψη βλάστησης.

4.2.2.3 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)

Είναι ο πλέον κοινός δείκτης με πολύ καλά αποτελέσματα, έχει την δυνατότητα να ελαχιστοποιεί την επίδραση της τοπογραφίας. Επιπλέον η κλίμακα των τιμών έχει την επιθυμητή μορφή -1 έως 1 με το 0 να είναι το όριο για την μη βλάστηση. Κατ' αυτόν τον τρόπο, δημιουργήθηκε μάσκα που αποκλείει τις περιοχές που έχουν βλάστηση δίνοντάς τους την τιμή 0 και σε περιοχές που η βλάστηση είναι τέτοια ώστε να μην αποτελεί πρόβλημα στην εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά τον εντοπισμό ζωνών υδροθερμικών εξαλλοιώσεων δόθηκε η τιμή 1 . Η μάσκα εφαρμόστηκε έπειτα στην προεπεξεργασμένη εικόνα της Λήμνου.

4.2.2.4 Αριθμητικές πράξεις με εικόνες-λόγοι φασματικών καναλιών

Από όλες τις πράξεις η πλέον χρήσιμη είναι η διαίρεση. Η δημιουργία λόγου μεταξύ δύο φασματικών ζωνών μιας περιοχής είναι η πλέον συχνή εφαρμογή. Η διαίρεση φασματικών καναλιών είναι μια μέθοδος, η οποία δημιουργεί πολυφασματικές εικόνες που βελτιώνουν λεπτές φασματικές ανακλαστικότητες ή χρωματικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των επιφανειακών υλικών που συχνά είναι δύσκολο να ανιχνευτούν στις αρχικές εικόνες (για παράδειγμα σε ένα απλό φασματικό κανάλι ή στις σύνθετες ψευδέγχρωμες εικόνες). Η διαίρεση των καναλιών τονίζει τις χρωματικές διαφοροποιήσεις αφού απομακρύνει την φωτεινότητα πρώτης τάξης, η οποία οφείλεται στην τοπογραφία (π.χ. προσήλια ή σκιασμένα πρηνή). Έτσι, η διαίρεση επιδρά ομαλοποιώντας τα φασματικά δεδομένα, απομακρύνοντας τη φωτεινότητα της αντίθεσης και τονίζοντας τα περιεχόμενα χρώματα των δεδομένων. Η εφαρμογή λόγου ολοκληρώνεται με την διαίρεση των ψηφιακών τιμών (Digital numbers-DNs) των δεδομένων του ενός φασματικού καναλιού με τις φασματικές τιμές ενός δεύτερου για κάθε χωρικά καταγεγραμμένο (registered) ζευγάρι εικονοστοιχείων.

Αυτή η μέθοδος είναι πολύ χρήσιμη για να επισημάνει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Μάλιστα είναι πολύ χρήσιμη τεχνική στον εντοπισμό ορυκτών υδροθερμικής εξαλλοίωσης.

Η εφαρμογή λόγου ολοκληρώνεται με την διαίρεση των ψηφιακών τιμών (Digital numbers-DNs) των δεδομένων του ενός φασματικού καναλιού με τις φασματικές τιμές ενός δεύτερου για κάθε χωρικά καταγεγραμμένο (registered) ζευγάρι εικονοστοιχείων.

Τα πηλίκα (quotients) έπειτα μετατρέπονται σε ακέραιους αριθμούς 8-bit, χρησιμοποιώντας πολλαπλασιασμένους παράγοντες (normalization factors), για παράδειγμα:

α) $DN_{40}/DN_{50} = 0,80$, (π.χ. ο λόγος TM4/TM5 των καναλιών του Landsat).

β) (τιμή του λόγου)×(παράγοντα ομαλοποίησης*) = Νέα ψηφιακή τιμή (DN) μεταξύ 0-255

*συνήθως ο παράγοντας αυτός ισούται με την τιμή 100.

Η κατανομή της καινούριας ψηφιακής τιμής επεκτείνεται με εφαρμογή της μεθόδου της βελτίωσης της αντίθεσης (contrast stretch), πριν την τελική ερμηνεία της εικόνας. Η ανακατανομή των ψηφιακών τιμών είναι συνήθως γραμμική (linear stretch) ώστε να διατηρούνται οι αρχικές σχέσεις των λόγων. Οι ακραίες διαβαθμίσεις σε μία εικόνα λόγου αναπαριστά τις μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις φασματικής ανάκλασης (Avery & Berlin, 1992).

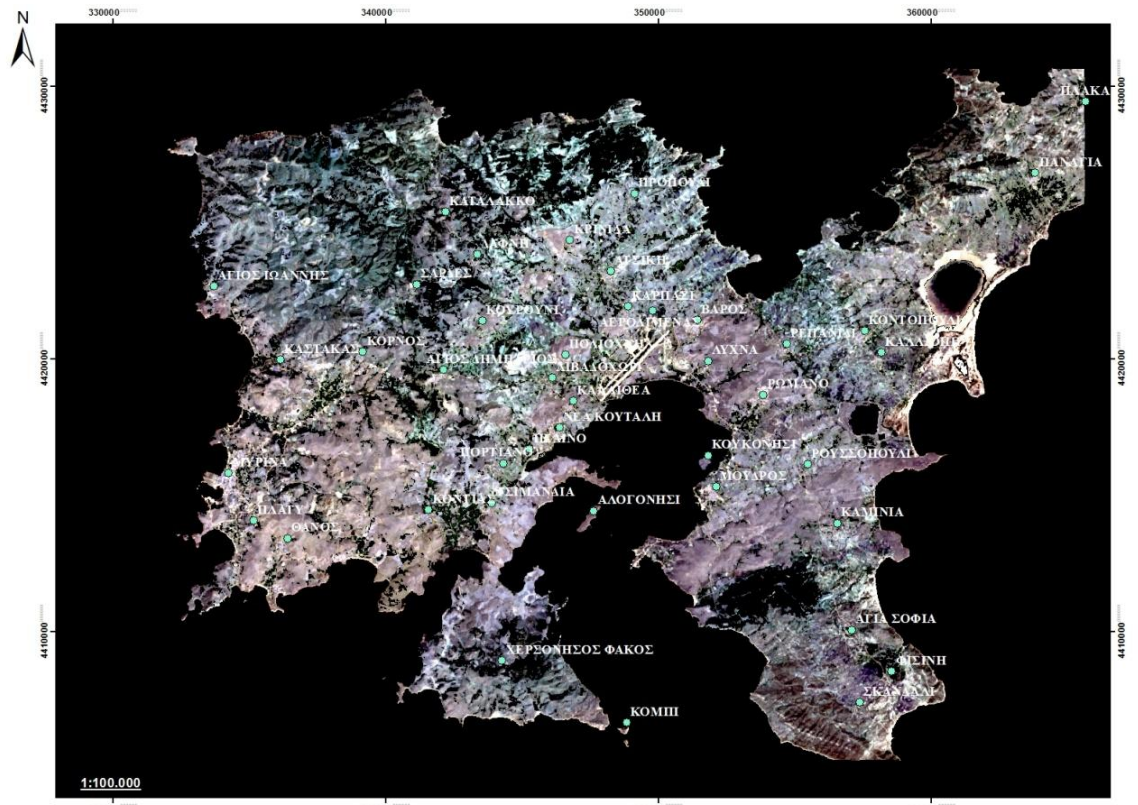
Ο αριθμός n των πιθανών συνδυασμών λόγων για ένα πολυφασματικό σαρωτή με P φασματικά κανάλια, δίδεται από τον τύπο:

$$n = P (P-1)$$

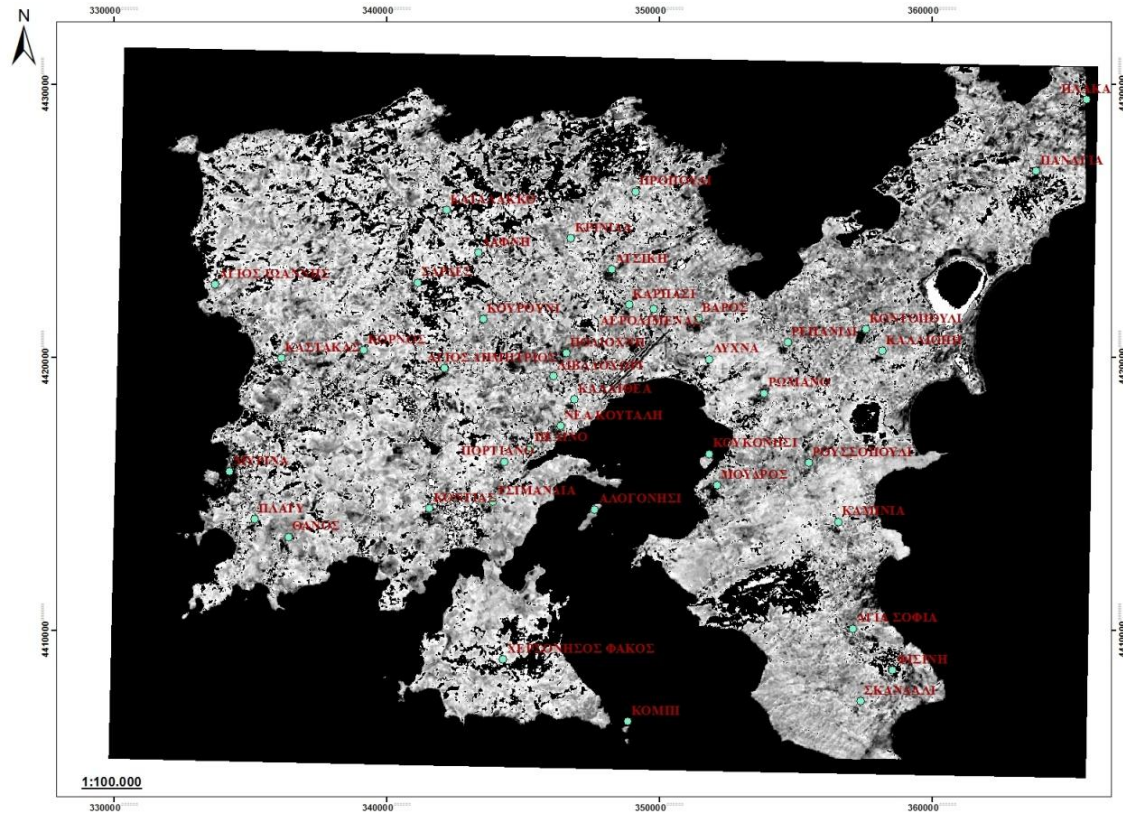
Μερικοί από τους λόγους αυτούς, με βάση και τη γενική χρήση τους είναι:

- ο λόγος των καναλιών 4/2 ξεχωρίζει τα ορυκτά των οξειδίων του σιδήρου. Ο λόγος του κλάσματος είναι μεγαλύτερος της μονάδας αφού τα οξείδια του σιδήρου, παρουσιάζουν απορρόφηση στο κανάλι 2 και ανάκλαση στο κανάλι 4. Οπότε τα συγκεκριμένα ορυκτά θα φαίνονται φωτεινά σε μια ασπρόμαυρη εικόνα.
- Με παρόμοιο τρόπο τα αργιλικά ορυκτά παρουσιάζουν απορρόφηση στο 7 και ανάκλαση στο 6, οπότε ο λόγος τους 6/7 θα είναι μεγαλύτερος της μονάδας και τα φωτεινά στην ασπρόμαυρη εικόνα θα είναι τα αργιλικά ορυκτά.
- Ο λόγος 6/5 θα έχει ως αποτέλεσμα τα σιδηρούχα ορυκτά σε μια ασπρόμαυρη εικόνα να παρουσιάζονται φωτεινά καθώς ο λόγος 6/5 είναι μεγαλύτερος από τη μονάδα.

Η διαφορά των οξειδίων του σιδήρου από τα σιδηρούχα είναι ότι τα οξείδια του σιδήρου είναι υποκατηγορία των σιδηρούχων, δηλαδή σιδηρούχα που κάτω από ορισμένες συνθήκες όπως υψηλή θερμοκρασία οξειδώνονται και παράγουν οξείδια. Υδροξείδια του σιδήρου (Fe(OH)) παρατηρείται στις περιοχές που τα σιδηρούχα ορυκτά έχουν εκπλυθεί από τη θάλασσα.

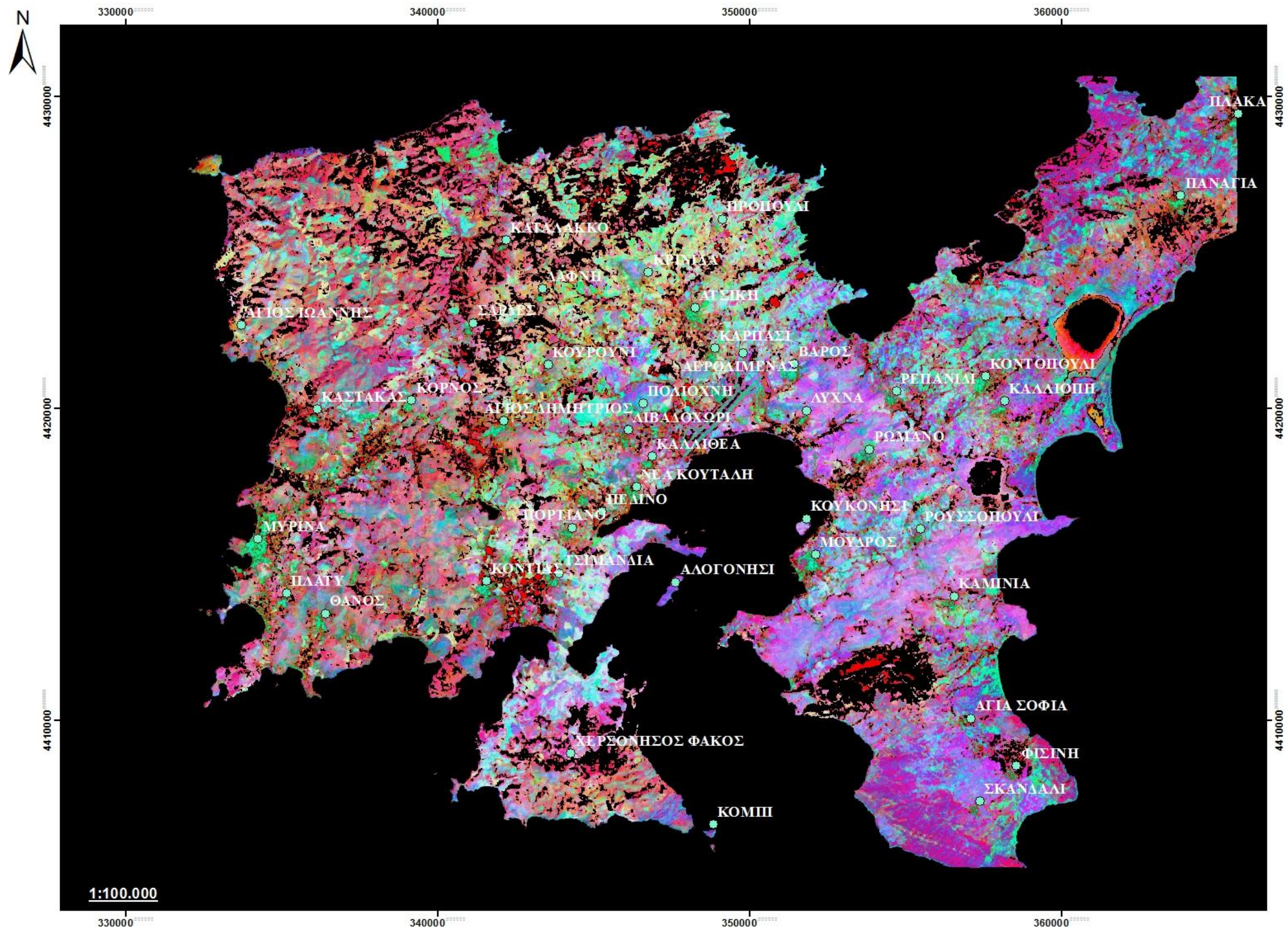


Εικόνα 13 Χάρτης που δείχνει την ψευδέγχρωμη εικόνα της Λήμνου, έχει προηγηθεί προεπεξεργασία και απόκρυψη της βλάστησης (μαύρες περιοχές) και της θάλασσας.



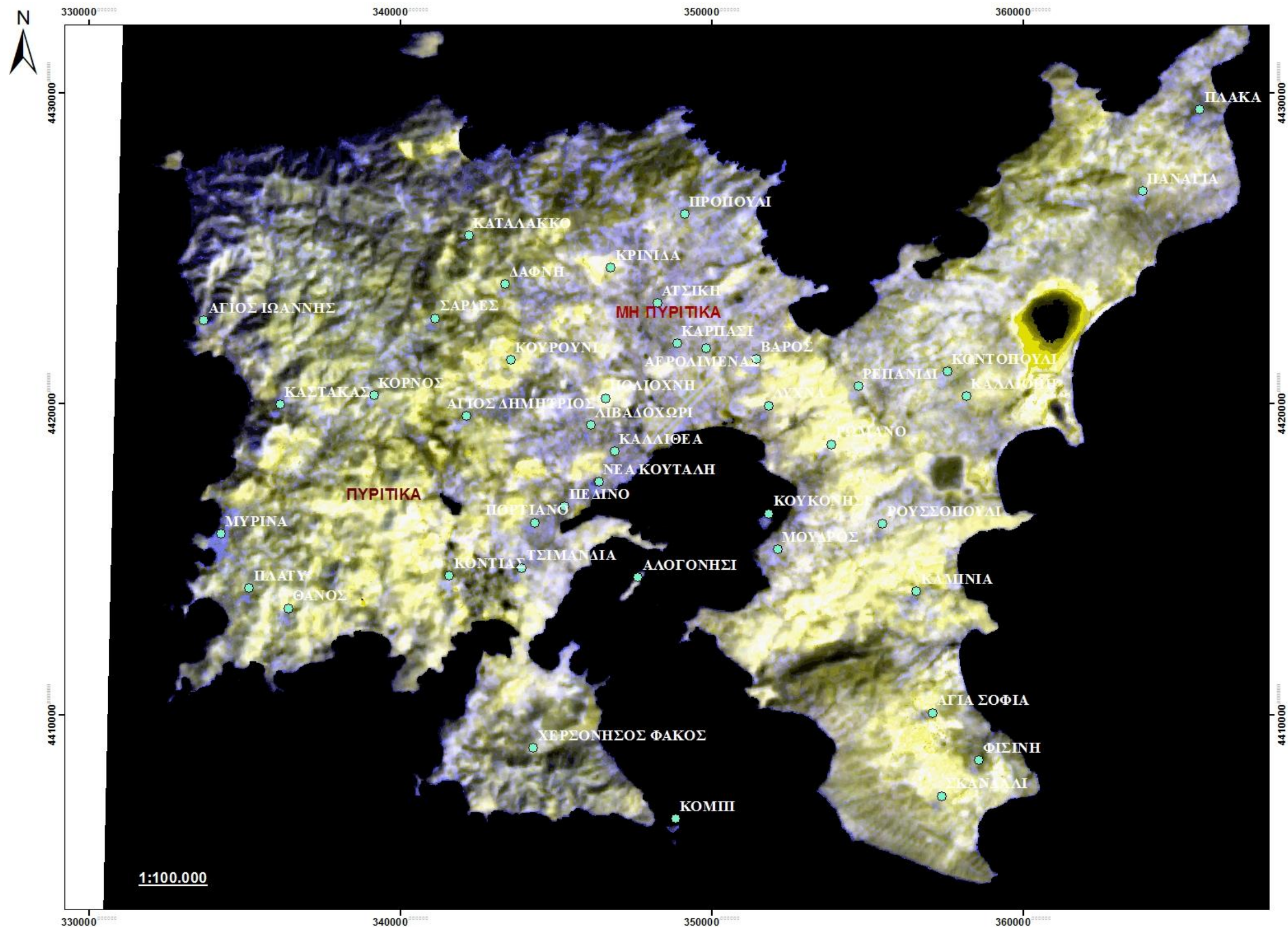
Εικόνα 14 Τα αργιλικά ορυκτά παρουσιάζονται ως φωτεινά εικονοστοιχεία. Λόγος 6/7 (1.6/2.2) μm

[50]



Εικόνα 17 ορυκτά υδροθερμικών εξαλλοιώσεων. Εφαρμογή λόγων καναλιών RGB αργιλικά ορυκτά- ορυκτά οξειδίων του σιδήρου- σιδηρούχα ορυκτά (clay-feo-ferrous).





Εικόνα 19 Πυριτικά και μη πυριτικά ορυκτά. Παρατηρούμε στην περιοχή του Φακού μέση σύσταση σε πυριτικά (φαιοκίτρινοπράσινο) το οποίο δικαιολογείται από την ύπαρξη τραχυανδεσιτών <65% περιεκτικότητας σε SiO₂ (Fornadel Andrew 2010) (quartz monzonite,grani

4.2.2.5 Συνεργεία-συγχώνευση δορυφορικών δεδομένων (Fussion Data)

Τα τελευταία χρόνια ο αυξανόμενος αριθμός δορυφόρων που έχει μπει σε τροχιά παρέχει μία πληθώρα δεδομένων τα οποία καλύπτουν διαφορετικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και έχουν διαφορετικές χωρικές, χρονικές και φασματικές αναλύσεις. Η αφθονία αυτών των δεδομένων σε συνδυασμό με την αδυναμία τους να μπορούν να δώσουν λύσεις σε πολλές εφαρμογές, οδήγησε τον επιστημονικό κόσμο στην αναζήτηση καινούριων τεχνικών για καλύτερη εκμετάλλευση των δορυφορικών δεδομένων.

Η συγχώνευση ή ενοποίηση ή συνέργεια των δεδομένων (fusion ή merge) έδωσε μία νέα ώθηση την τελευταία δεκαετία στην καλύτερη αξιοποίηση της πληθώρας των δεδομένων που παρέμεναν ανεκμετάλλευτα σε πολλές εφαρμογές. Τα τελικά προϊόντα παρέχουν πολλές φορές αυξημένες ικανότητες ερμηνείας και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα για το λόγο ότι συνδυάζονται δεδομένα με διαφορετικά χαρακτηριστικά

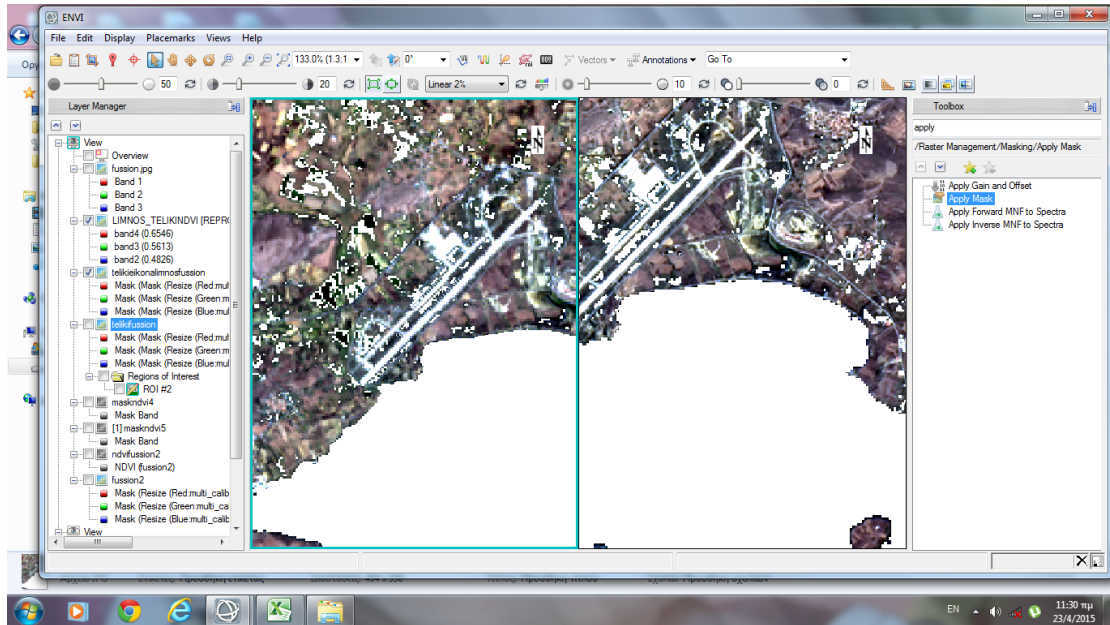
Ο σκοπός της συγχώνευσης είναι ο συνδυασμός ανόμοιων και συμπληρωματικών δεδομένων και η δημιουργία ενός νέου προϊόντος το οποίο θα περιλαμβάνει όσο το δυνατόν περισσότερα από τα χαρακτηριστικά και τις πληροφορίες των επιμέρους εικόνων που συνδυάστηκαν, αναδεικνύοντας έτσι το σύνολο των πλεονεκτημάτων των πρωτογενών δεδομένων και βελτιώνοντας την ποιότητα της πληροφορίας.

Βέβαια, πολλές φορές το τελικό προϊόν δεν δύναται να παρέχει τα επιθυμητά αποτελέσματα και για αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η εκ των προτέρων καλή γνώση των αρχικών δεδομένων, του στόχου της εφαρμογής και της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση της συγχώνευσης. Η συγχώνευση μπορεί να γίνει σε διαφορετικούς τύπους δεδομένων:

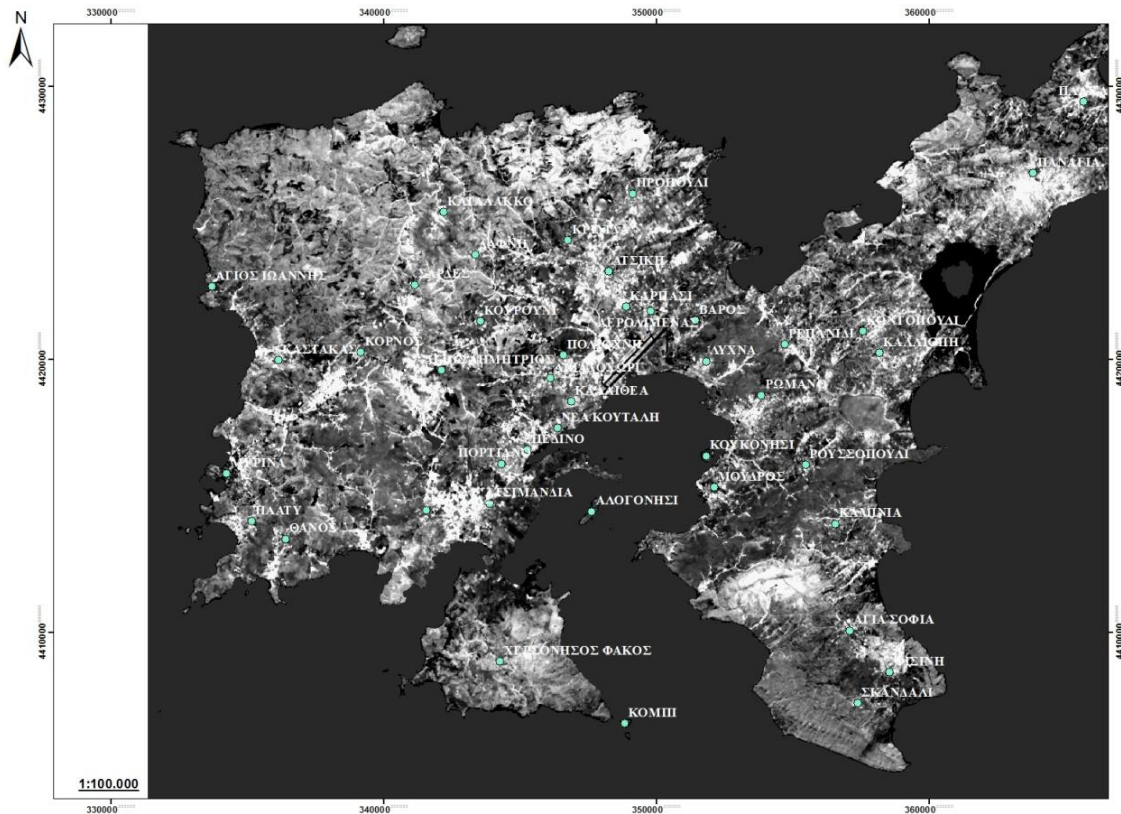
- α) Από ένα δέκτη (εκμετάλλευση της χρονικής ανάλυσης), π.χ. διαχρονικές εικόνες SAR για την ανίχνευση αλλαγών των χρήσεων γης από ένα δέκτη (βελτίωση της χωρικής ανάλυσης), π.χ. παγχρωματικό/πολυφασματικό SPOT (Cliché et al., 1985).
- γ) από δύο δέκτες (εκμετάλλευση της διαφορετικής φύσης των δεδομένων), π.χ. πολυφασματικό SPOT/εικόνα SAR
- δ) από δύο δέκτες (βελτίωση της χωρικής ανάλυσης), π.χ. παγχρωματικό SPOT/πολυφασματικό LANDSAT
- ε) από δύο δέκτες (εκμετάλλευση της χρονικής ανάλυσης), π.χ. διαχρονικές εικόνες SAR (ERS-1/ERS-2) για την ανίχνευση αλλαγών των χρήσεων γης

Μιγκίρος κ.α. (2003)

Στην περίπτωσή μας η συγχώνευση θα γίνει από ένα δέκτη για βελτίωση χωρικής ανάλυσης πανχρωματικό κανάλι 8 του δορυφόρου Landsat 8 με την πολυφασματική εικόνα του ίδιου δορυφόρου.

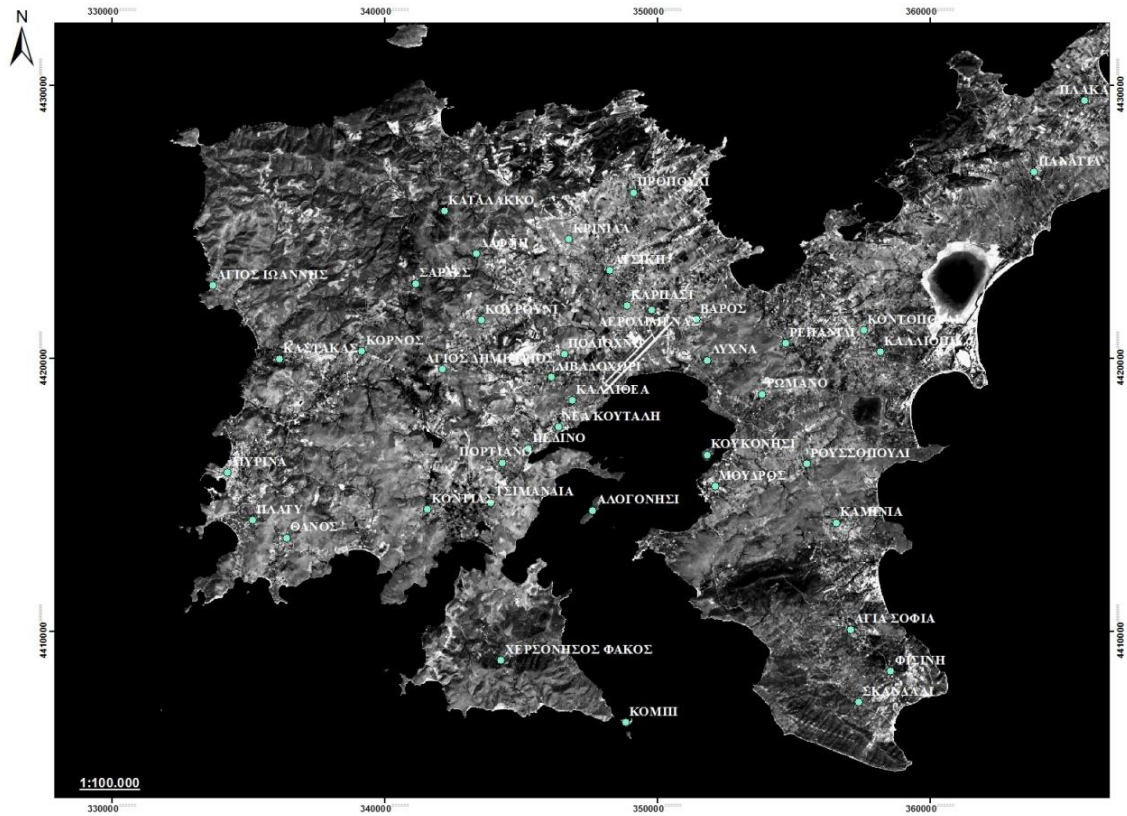


Εικόνα 20 Αριστερά τελική εικόνα του αερολιμένα της Λήμνου χωρίς συγχώνευση εικόνων και δεξιά μετά την συγχώνευση.

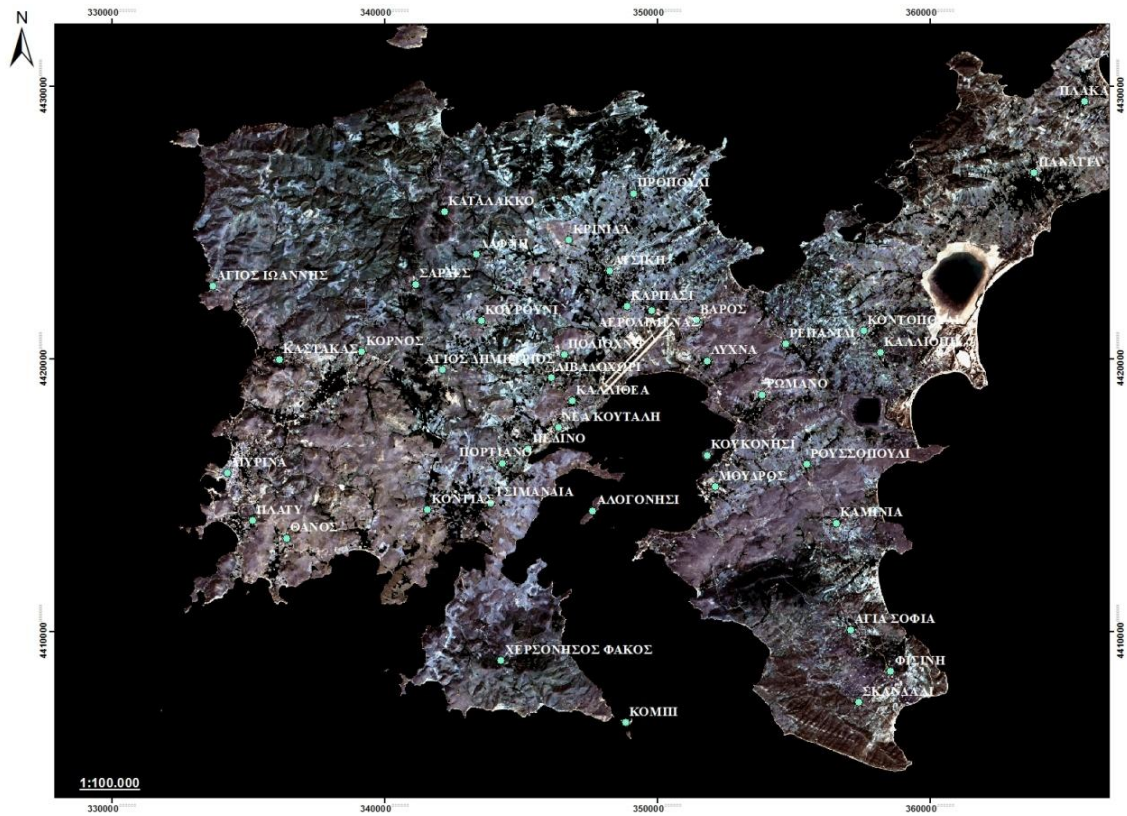


Εικόνα 14 Χάρτης κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI που εφαρμόστηκε αφού έγινε η συγχώνευση δεδομένων. Παρατηρείτε ελάχιστα διαφορετική από την εικόνα 12.

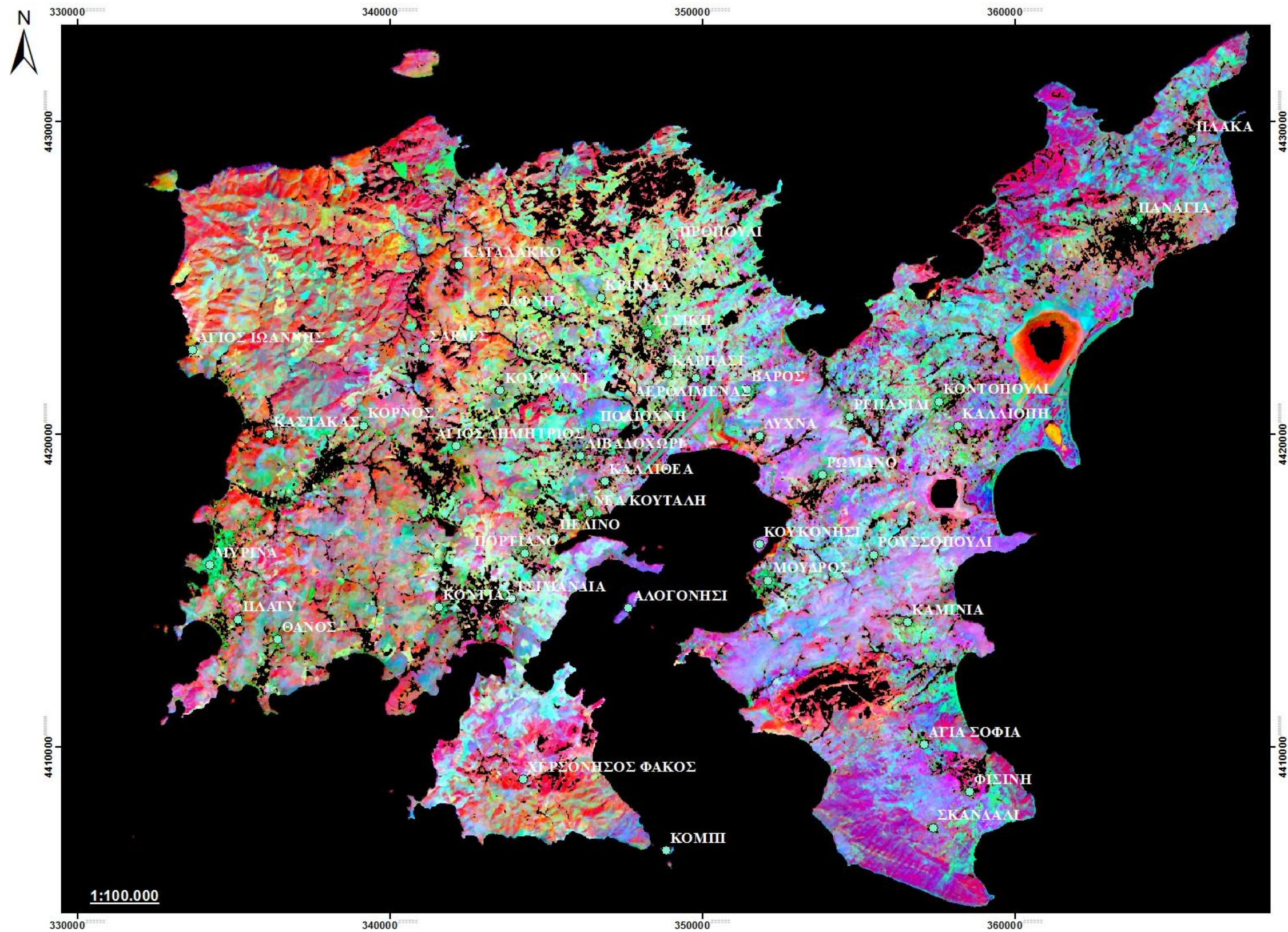
Μετά τη συγχώνευση η οποία όπως προαναφέρθηκε σκοπός είναι η χωρική βελτίωση της εικόνας έγινε πάλι εφαρμογή των λόγων καναλιών.



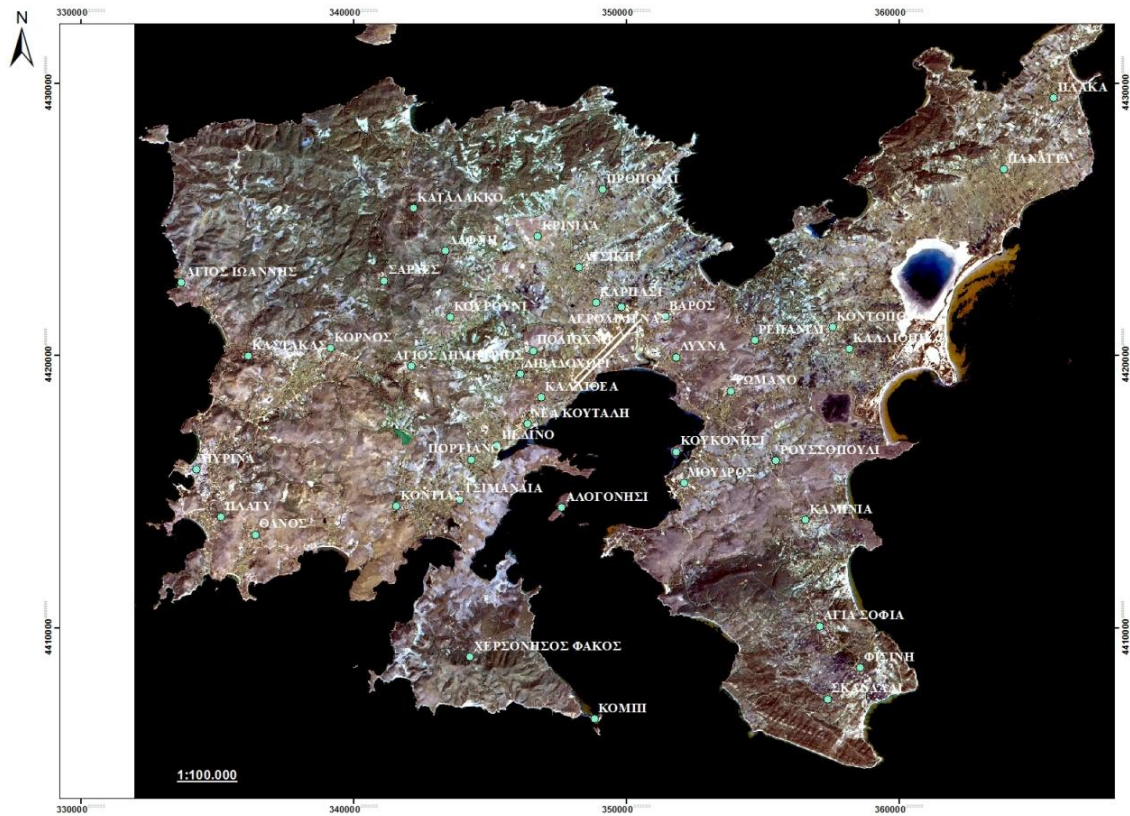
Εικόνα 21 πανγχρωματική εικόνα



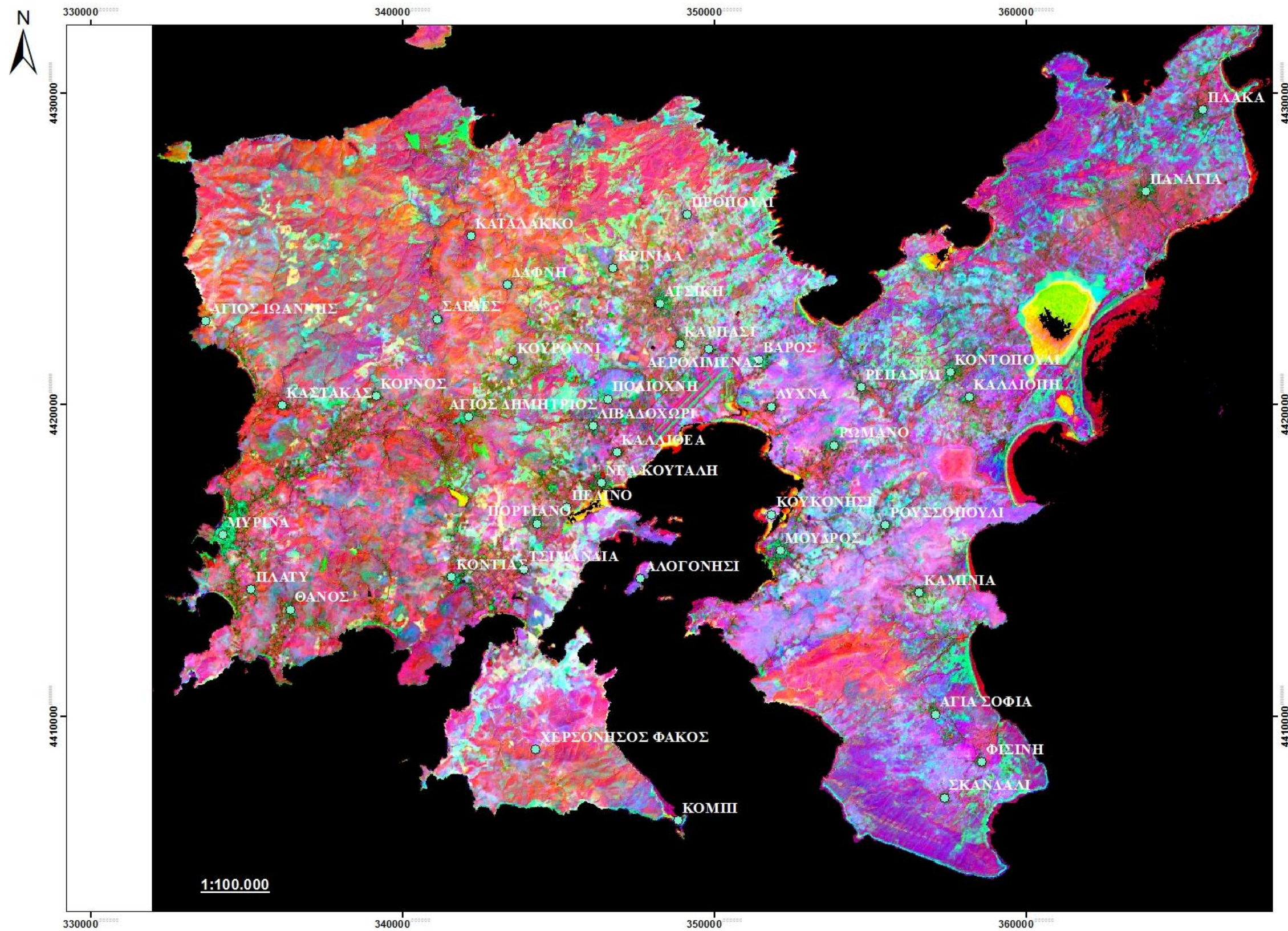
Εικόνα 22 Συγχώνευση δεδομένων. Η εικόνα της Λήμνου με χωρική διακριτική ικανότητα από 30μ που ήταν πριν τη συγχώνευση σε 15 μ.



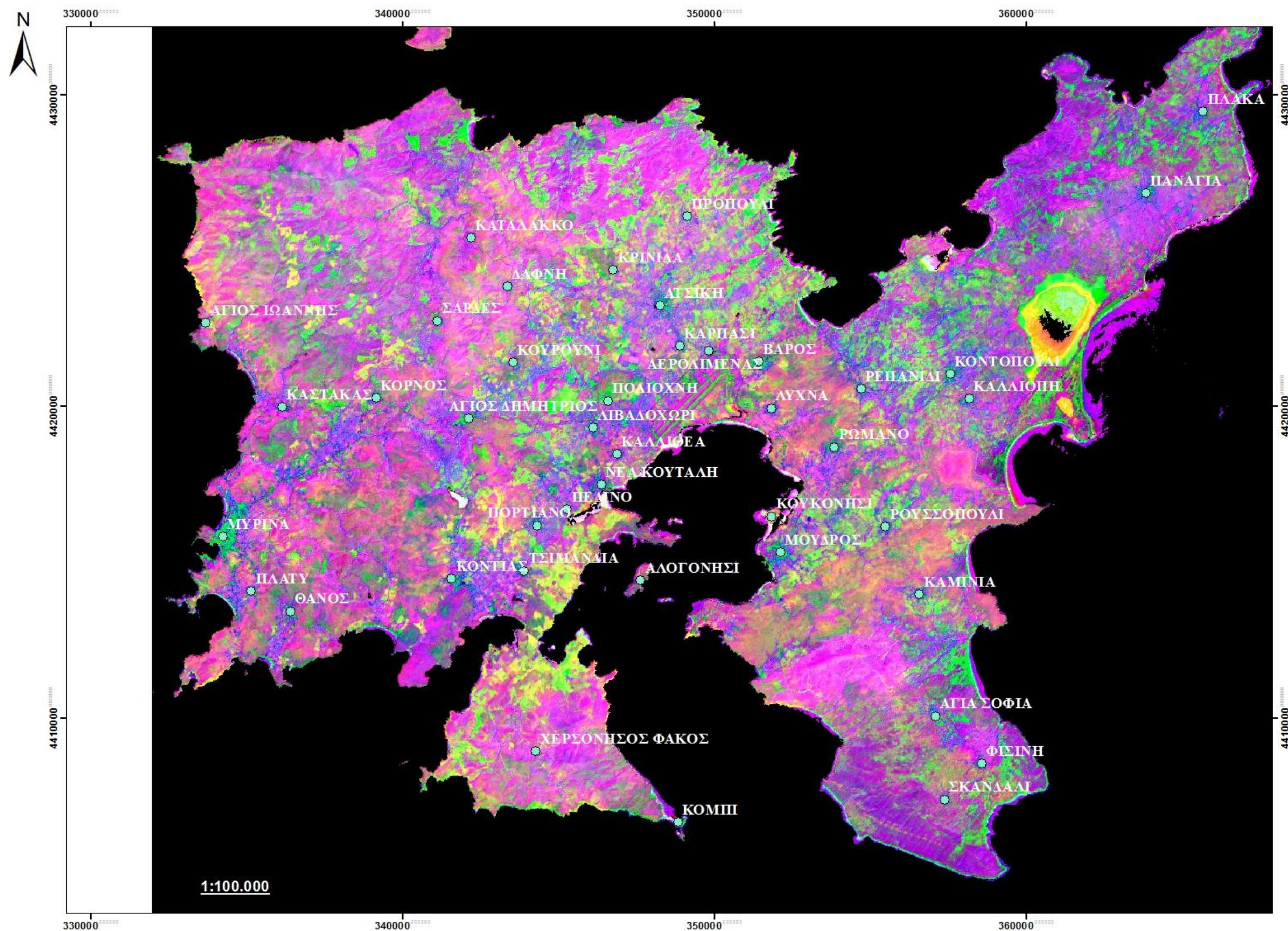
Εικόνα 23 Φαίνονται πιο ξεκάθαρα τα όρια των υδροθερμικών εξαλλοιώσεων αφού έχει βελτιωθεί η χωρική διακριτική ικανότητα.



Εικόνα 24 Συγχώνευση δεδομένων και συγκάλυψη βλάστησης.



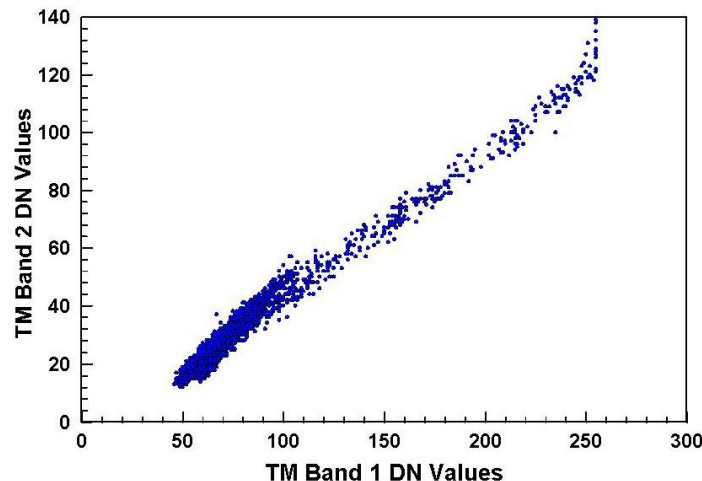
Εικόνα 25 Προηγήθηκε η συγχώνευση δεδομένων , έπειτα έγινε η συγκάλυψη βλάστησης και τέλος ο λόγος καναλιών. Παρατηρείται κιτρινοκόκκινο ορυκτά υδροθερμικής εξαλλοίωσης. Προηγήθηκε συγχώνευση δεδομένων, τεχνική συγκάλυψη βλάστησης κ έπειτα εφαρμόστηκαν οι λόγοι καναλιών για τον εντοπισμό ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης. RGB αργιλικά- οξείδια του σιδήρου-σιδηρούχα.



Εικόνα 26 Μωβ-μπλε όπου κυριαρχεί στον χάρτη, είναι βλάστηση με αργιλικά ορυκτά.

4.2.2.6 Ανάλυση κύριων συνιστωσών

Η ανάλυση κύριων συνιστωσών είναι μία τεχνική μετασχηματισμού της εικόνας η οποία χρησιμοποιείται για διάφορες εφαρμογές στην Τηλεπισκόπηση. Σκοπός της τεχνικής είναι να μετατρέψει δεδομένα με υψηλό βαθμό συσχέτισης σε νέα δεδομένα μη συσχετισμένα.



Εικόνα 27 Συσχετισμός της φασματικής ζώνης 1 (μπλε του ορατού) με την φασματική ζώνη 2 (πράσινο του ορατού) του landsat 5 TM.

Στη περίπτωση αυτή υπάρχει υψηλός βαθμός συσχέτισης (εάν ένα pixel έχει υψηλή ανάκλαση στην φασματική ζώνη 1 έχει υψηλή τιμή και για την 2). Κάθε pixel της εικόνας προβάλλεται στο χώρο και η τοποθέτηση του είναι το σημείο τομής του επιπέδου ανάκλασης για κάθε φασματική ζώνη. Οι φασματικές ζώνες του παραδείγματος έχουν υψηλό βαθμό συσχέτισης και επομένως δεν περιέχουν ανεξάρτητη πληροφορία σε σημείο που να μπορεί να προβλεφθεί η τιμή ενός pixel της φασματικής ζώνης 1 εάν γνωρίζουμε την τιμή του αντίστοιχου pixel στην 2. Γενικά ισχύει ότι υπάρχει επανάληψη στην πληροφορία μεταξύ κυρίως των γειτονικών φασματικών ζωνών και ακριβώς αυτή την επανάληψη καλείται η ανάλυση κύριων συνιστωσών να μειώσει. Αφαιρώντας την επαναλαμβανόμενη πληροφορία η πληροφορία παραμένει η ίδια αλλά τα δεδομένα έχουν μικρότερο όγκο. Με βάση την τεχνική οι N αρχικές εικόνες μετατρέπονται σε N αριθμό συνιστωσών-εικόνων. Οι εικόνες συνιστώσες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εικόνες για τη δημιουργία Σύνθετων εικόνων κλπ.

Ο μετασχηματισμός Κύριων Συνιστωσών είναι ένας γραμμικός μετασχηματισμός. Η δομή του μπορεί να περιγραφεί ως μια γραμμική σύνθεση π.χ. παράγει νέες εικόνες (συνιστώσες) πολλαπλασιάζοντας κάθε αρχική φασματική ζώνη με ένα συντελεστή και προσθέτοντας τα αποτελέσματα

$$C = w_1B_1 + w_2B_2 + w_3B_3 + \dots + w_nB_n$$

Οι συντελεστές στους μετασχηματισμούς ονομάζονται ιδιοδιανύσματα. Για κάθε αριθμό αρχικών εικόνων δημιουργείται ίδιος αριθμός εξισώσεων μετασχηματισμού επομένως δημιουργείται ίδιος αριθμός εικόνων συνιστωσών.

Η δημιουργία των εικόνων συνιστωσών συνοδεύεται από στατιστικά δεδομένα χρήσιμα στην κατανόηση και ερμηνεία των εικόνων συνιστωσών.

Ο πίνακας συσχέτισης (correlation matrix): έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί δείχνει τον βαθμό συσχέτισης μεταξύ των αρχικών εικόνων και επομένως εμφανίζει τον βαθμό επαναληψιμότητας της πληροφορίας.

Οι ιδιοτιμές: μαζί με το ποσοστό μεταβλητότητας προσδιορίζουν το ποσό της πληροφορίας για κάθε συνιστώσα (κυρίως ενδιαφέρον έχει τα ποσοστά της πληροφορίας ανά εικόνα συνιστώσα).

Ο πίνακας ιδιοδιανυσμάτων (table of component loadings σύμφωνα με το Idrisi): Εκφράζουν τον βαθμό συσχετισμού μεταξύ κάθε συνιστώσας και των αρχικών εικόνων. Μαζί με τις ιδιοτιμές είναι τα σημαντικότερα δεδομένα.

Μιγκίρος κ.α. (2003).

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev	Num	Eigenvalue	ΠΟΣΟΣΤΑ
Band2	0.000000	0.766127	0.079797	0.096738	1	5,543810	99,9670552
Band 3	0.000000	0.865412	0.122281	0.146394	2	0,001237	0,02230582
Band 4	0.000000	0.649638	0.108923	0.129741	3	0,000457	0,00824071
Band 5	0.000000	0.428286	0.058095	0.070152	4	0,000107	0,00192944
Band 6	0.000000	0.386219	0.053797	0.064088	5	0,000023	0,00041474
Band 7	0.000000	1,229623	1,987782	2,342859	6	0,000003	0,000054

5,545637

Eigenvector	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band7
Band 1	-0.040201	-0.061122	-0.054177	-0.029467	-0.027123	-0.995042
Band 2	-0.513448	-0.738898	-0.386921	-0.166141	-0.065370	0.093900
Band3	-0.340303	-0.204089	0.904601	-0.154411	-0.008145	-0.018173
Band 4	0.248139	-0.441914	0.121352	0.727353	0.445907	-0.023182
Band5	-0.743388	0.449851	-0.096910	0.470954	0.117176	-0.009463
Band 6	0.068927	-0.104825	0.070265	0.443672	-0.884512	0.010800

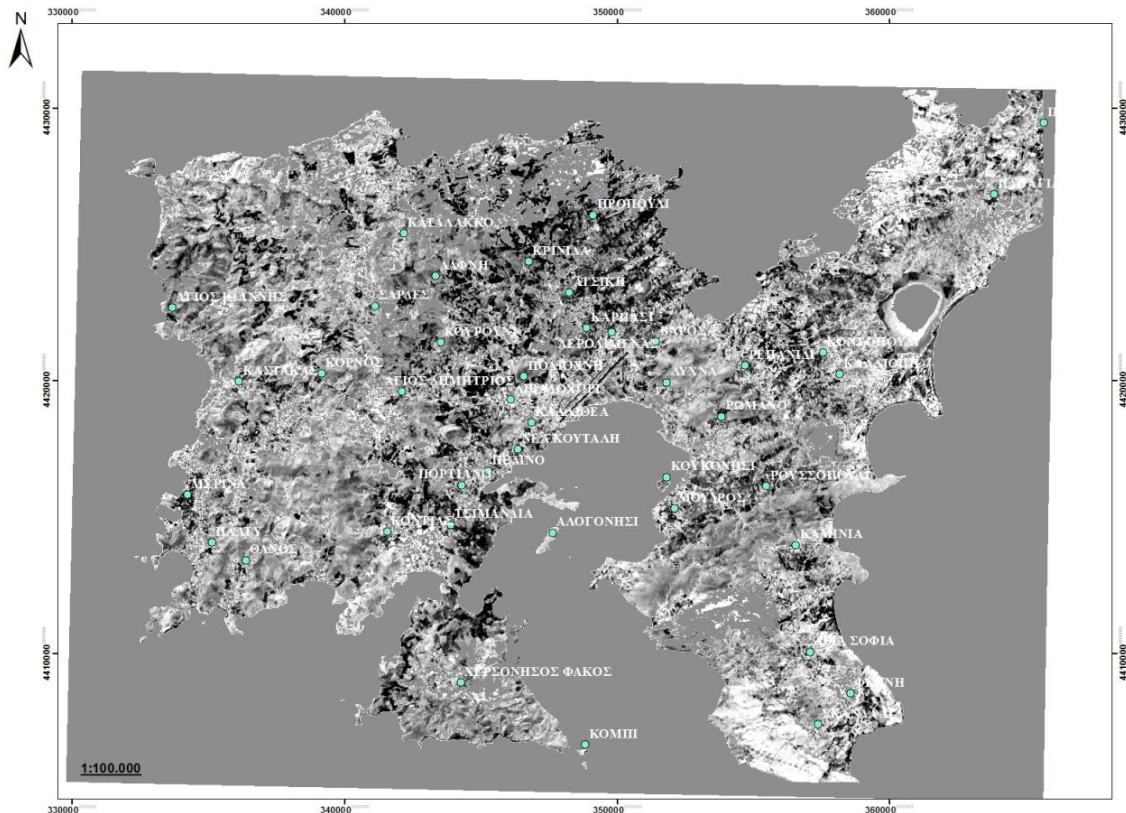
Πίνακας 2 Αποτελέσματα των εικόνων συνιστωσών σε κάθε κανάλι.

Στην παρούσα εργασία έγινε η εφαρμογή της τεχνικής Crosta . Αυτή η τεχνική είναι στατιστική, όπου λιγότερα κανάλια χρησιμοποιούνται στην ανάλυση κύριων συνιστωσών. Οι ιδιοτιμές που δείχνουν τη φασματική πληροφορία των ορυκτών χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια μετατροπής κύριων συνιστωσών. Το σήμα και η ένταση των ιδιοτιμών δείχνουν την λαμπρότητα ή τη σκοτεινότητα των στόχων.

Έτσι στην εικόνα της Λήμνου όπου έχει γίνει απόκρυψη της θάλασσας και της βλάστησης στο μεγαλύτερο ποσοστό της, επιλέχθηκαν τα κανάλια 2 και 4 όπου θα εφαρμοστεί η παραπάνω τεχνική.

Eigenvector	Band 4	Band 2
PC1	-0.029598	- 0.999562
PC2	-0.999562	0.029598

Πίνακας 3. Στατιστικά PCA από κανάλι 2 και 4.



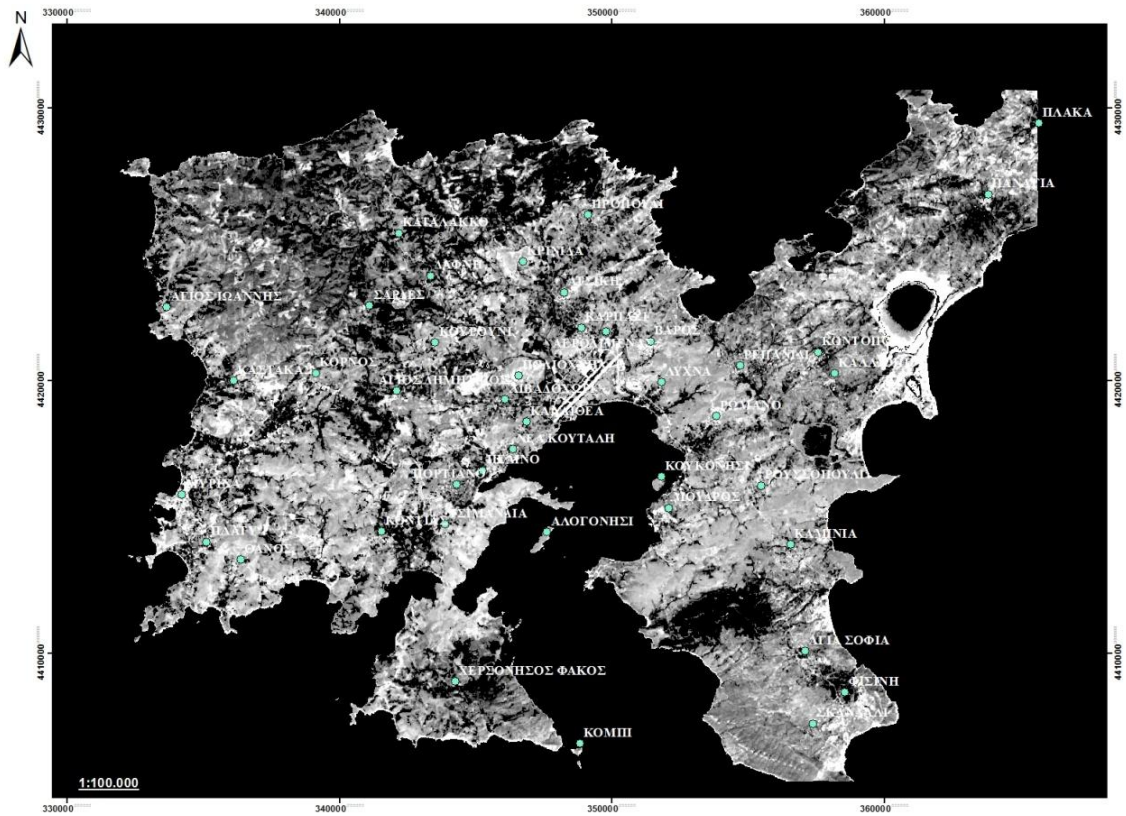
Εικόνα 28 Τα οξείδια του σιδήρου εμφανίζονται με σκούρα εικονοστοιχεία ενώ τα αργιλικά με φωτεινά.

Στην εικόνα συνιστώσα PC1 και τα δύο κανάλια έχουν αρνητικές τιμές που δε χρησιμεύει για να γίνει ο διαχωρισμός των οξειδίων του σιδήρου. Έτσι στην εικόνα συνιστώσα PC2 το κανάλι 2 έχει θετική τιμή ενώ το κανάλι 4 έχει αρνητική τιμή, οπότε στην PC2 φαίνεται η διαφορά των ορυκτών πλούσιων σε οξείδια του σιδήρου (σκούρα).

Παρομοίως εφαρμόστηκε η παραπάνω τεχνική στα κανάλια 2,4,5,6.

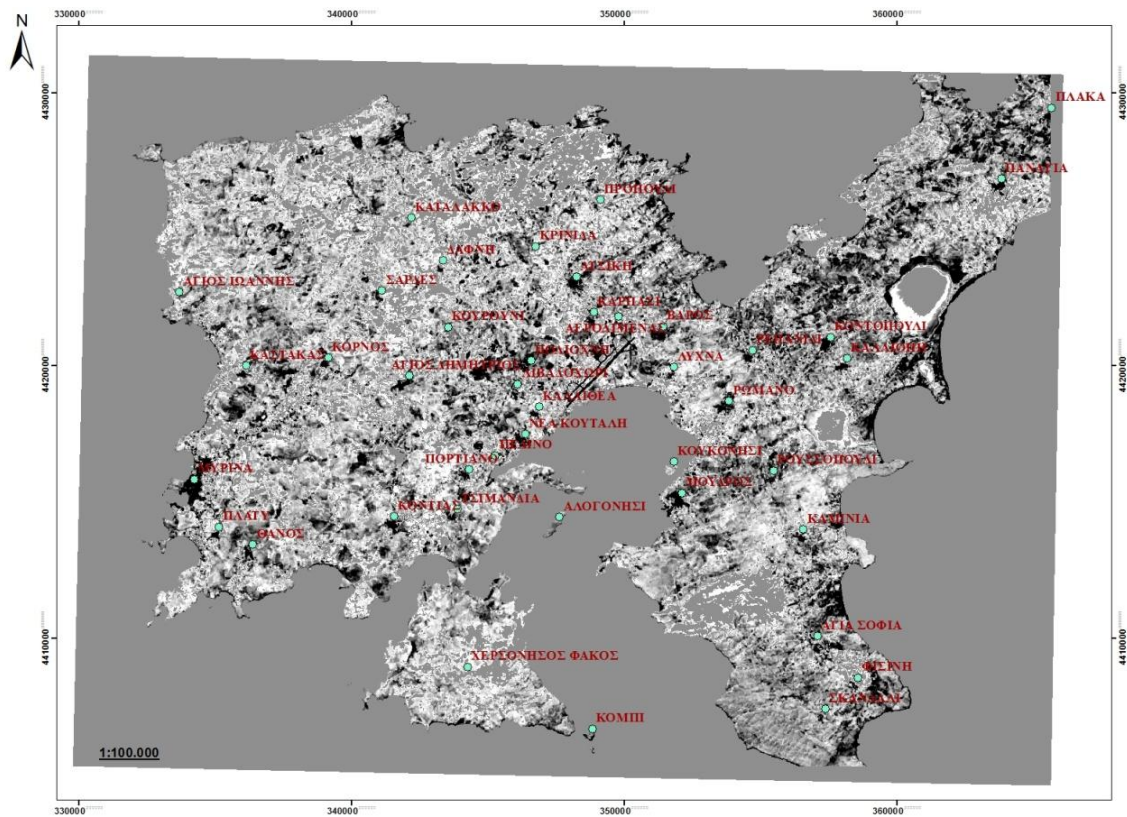
Eigenvector	Band 2	Band 4	Band 5	Band 6
PC1	0.500111	0.498801	0.500212	0.500874
PC2	0.135221	-0.807288	0.564803	0.104874
PC3	-0.800579	0.058672	0.169358	0.571795
PC4	-0.301128	0.309906	0.634116	-0.641231

Πίνακας 4. Στατιστικά PCA από κανάλι 2,4,5,6.



Εικόνα 29 PC2 απο εφαρμογή PCA στα κανάλια 2,4,5,6

Παρατηρούμε από πίνακα 5, σε κάθε συνιστώσα ποιο κανάλι είναι ισχυρά θετικό και ποιο κανάλι είναι ισχυρά αρνητικό. Έτσι για τα οξείδια του σιδήρου, ισχυρά θετικό είναι το κανάλι 4 και ισχυρά αρνητικό το κανάλι 2 είναι στην εικόνα συνιστώσα PC4.

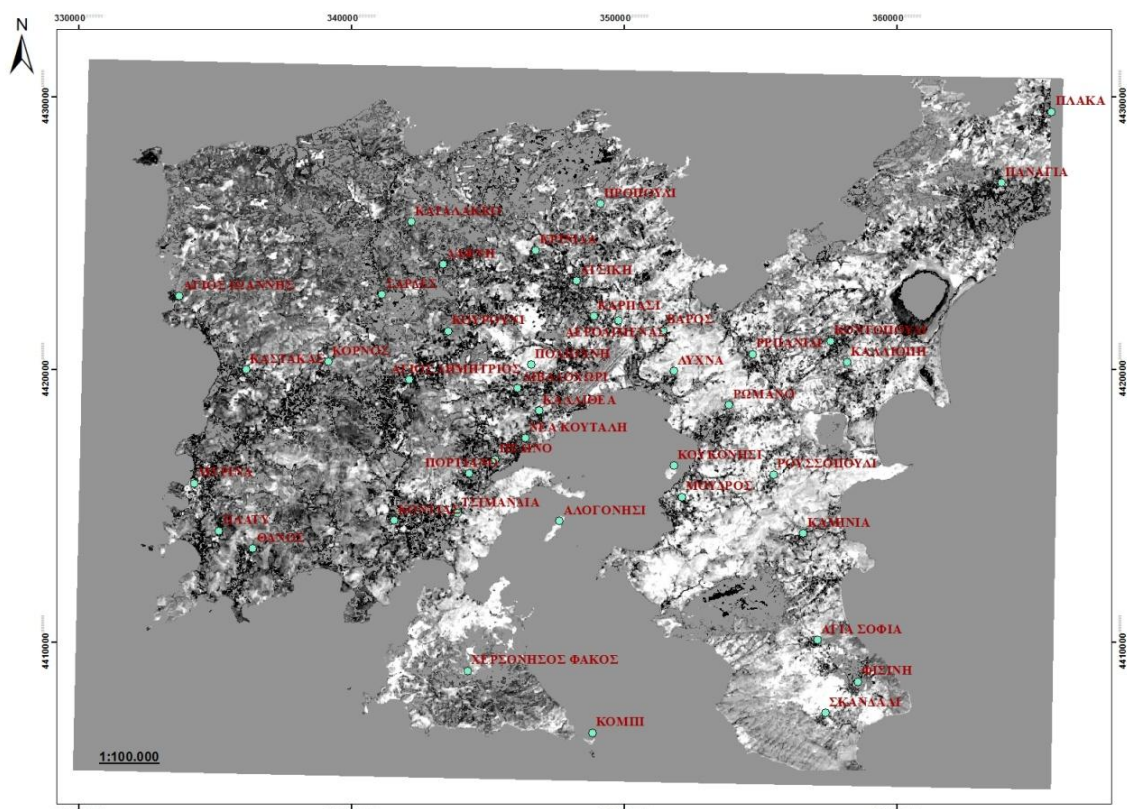


Εικόνα 31 Φωτεινά εικονοστοιχεία αναδεικνύουν τα αργιλικά ορυκτά.

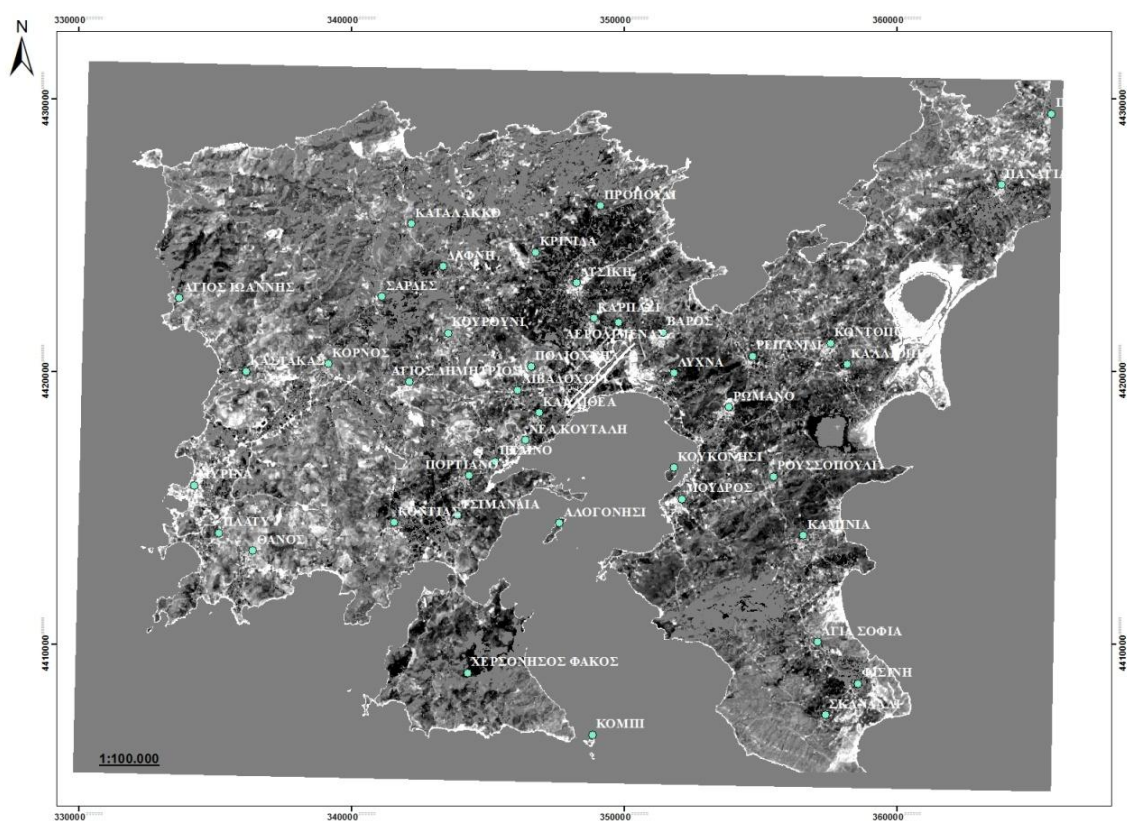
Παρομοίως εφαρμόστηκε η ανάλυση κύριων συνιστωσών στα κανάλια 7,6,5, και 4. Στην εικόνα συνιστώσα PC2 φαίνονται φωτεινά τα σιδηρούχα καθώς το κανάλι 6 είναι θετικό και το 5 αρνητικό, ενώ στην εικόνα συνιστώσα PC4 φαίνονται σκούρα τα αργιλικά καθώς το κανάλι 6 είναι αρνητικό και το 7 θετικό, παρόλα αυτά στην PC4 εκτός από το 6 κανάλι ισχυρά αρνητικό είναι και το κανάλι 4 με αποτέλεσμα να μην ξεκαθαρίζουν τα αργιλικά από τα σιδηρούχα . Στην εικόνα συνιστώσα PC3 φαίνεται καθαρά η ακτογραμμή.

Eigenvector	Band 7	Band 6	Band 5	Band 4
PC1	0.424995	0.645820	0.568695	0.280858
PC2	0.456859	0.419482	-0.780844	-0.074808
PC3	0.274418	-0.421257	-0.147352	0.851777
PC4	0.731678	-0.479055	0.212497	-0.435888

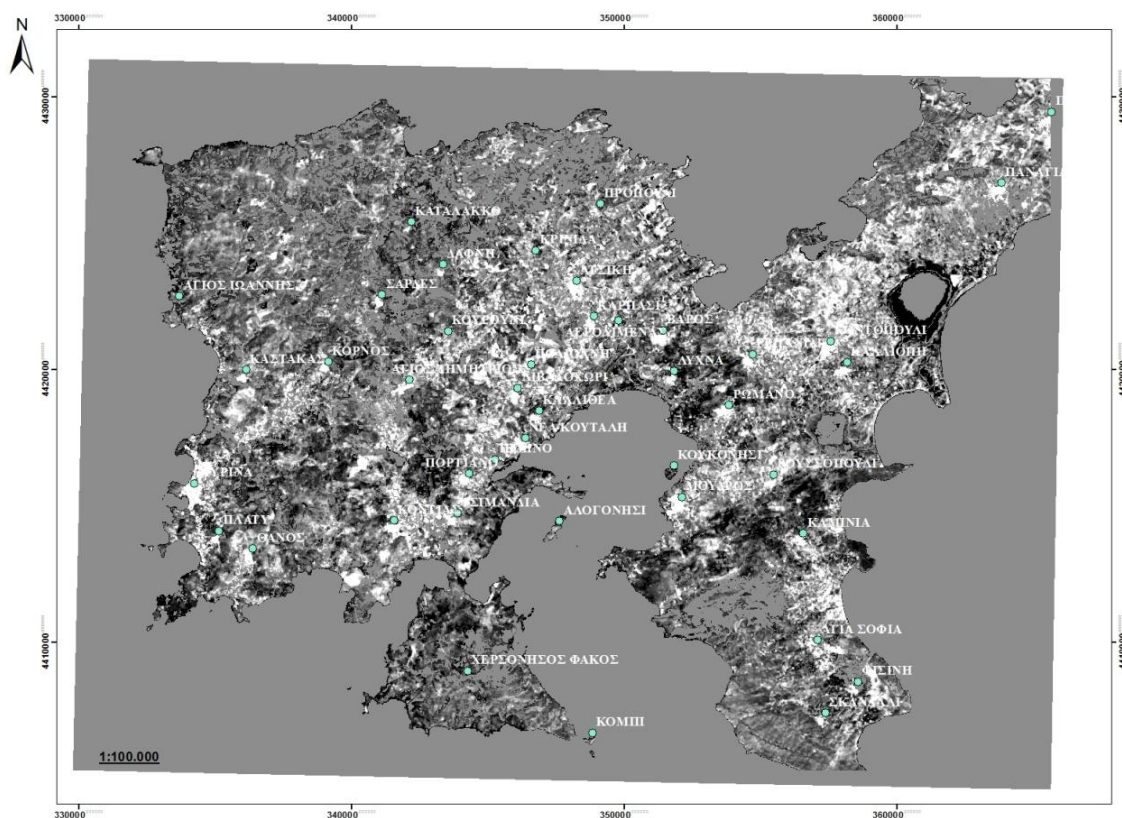
Πίνακας 6. Στατιστικά PCA από κανάλι7, 6, 5, και 4



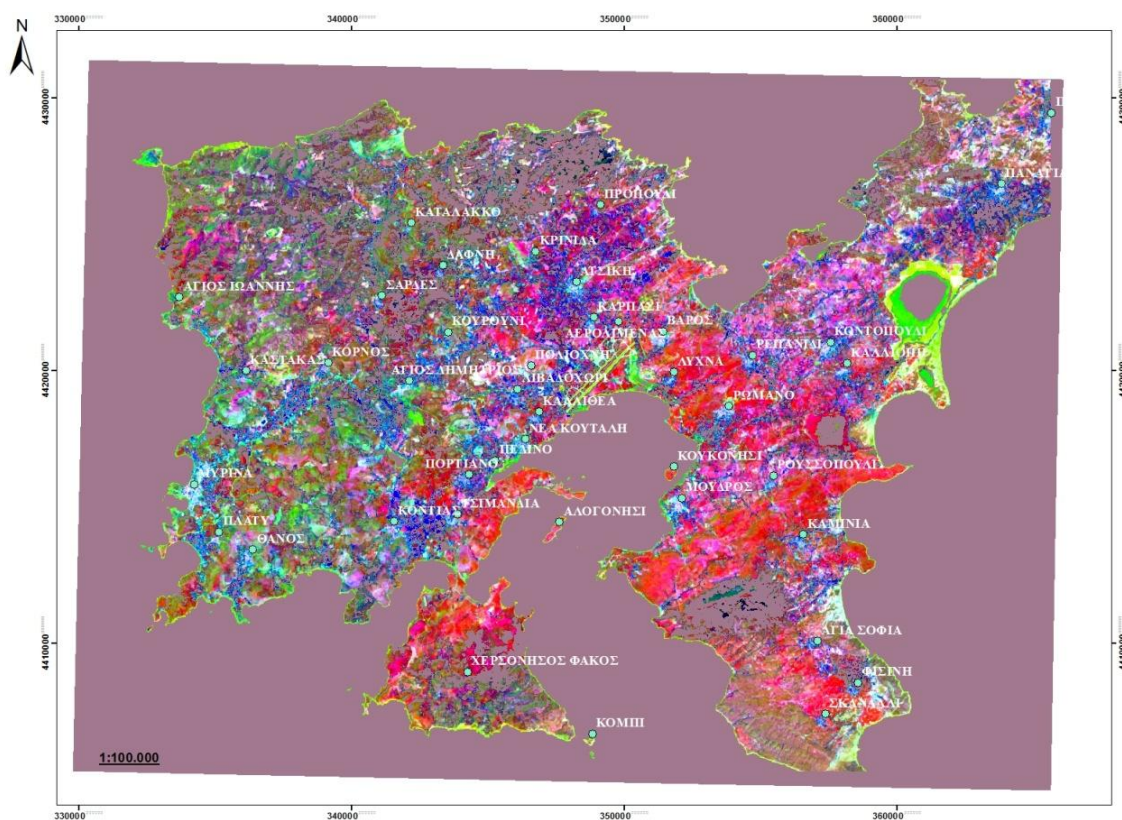
Εικόνα 32 τα σιδηρούχα ορυκτά φαίνονται με ανοιχτό χρώμα (φωτεινά εικονοστοιχεία). PC 2 από εφαρμογή PCA 7,6,5,3



Εικόνα 33 Ξεχωρίζει η ακτογραμμή. PC3 από εφαρμογή τεχνικής PCA στα κανάλια 7,6,5,3



Εικόνα 34 δεν ξεκαθαρίζουν τα αργιλικά από τα σιδηρούχα. PC4 από εφαρμογή τεχνικής PCA στα 7,6,5,3

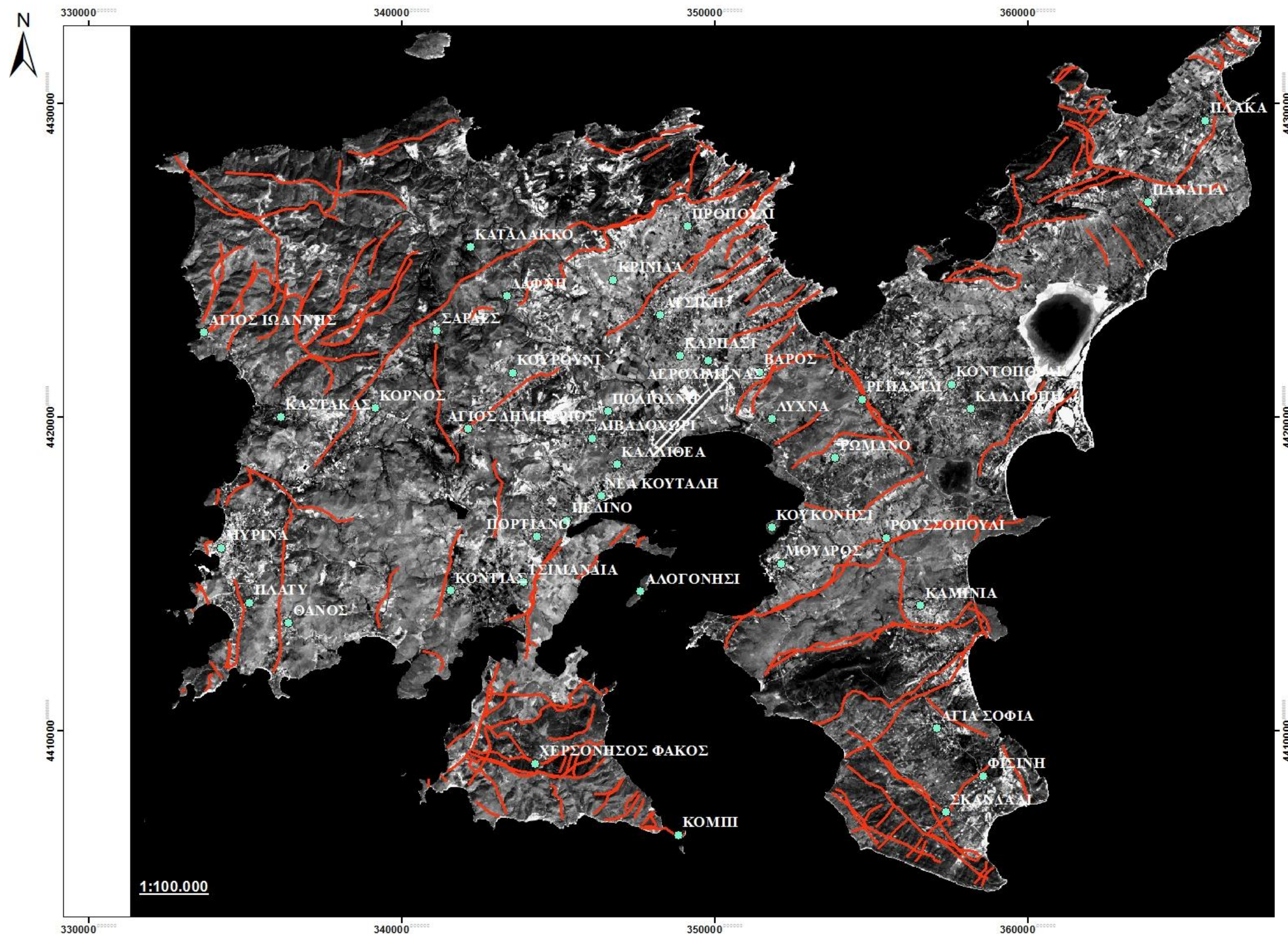


Εικόνα 35 Με πράσινο χρώμα τονίζεται η ακτογραμμή. Με κόκκινο τα σιδηρούχα ορυκτά, ενώ με καφέ τα αργιλικά. Τα μπλε κόκκινα (βλέπε περιοχές Σάρδες και νοτιοανατολικά του Φακού)

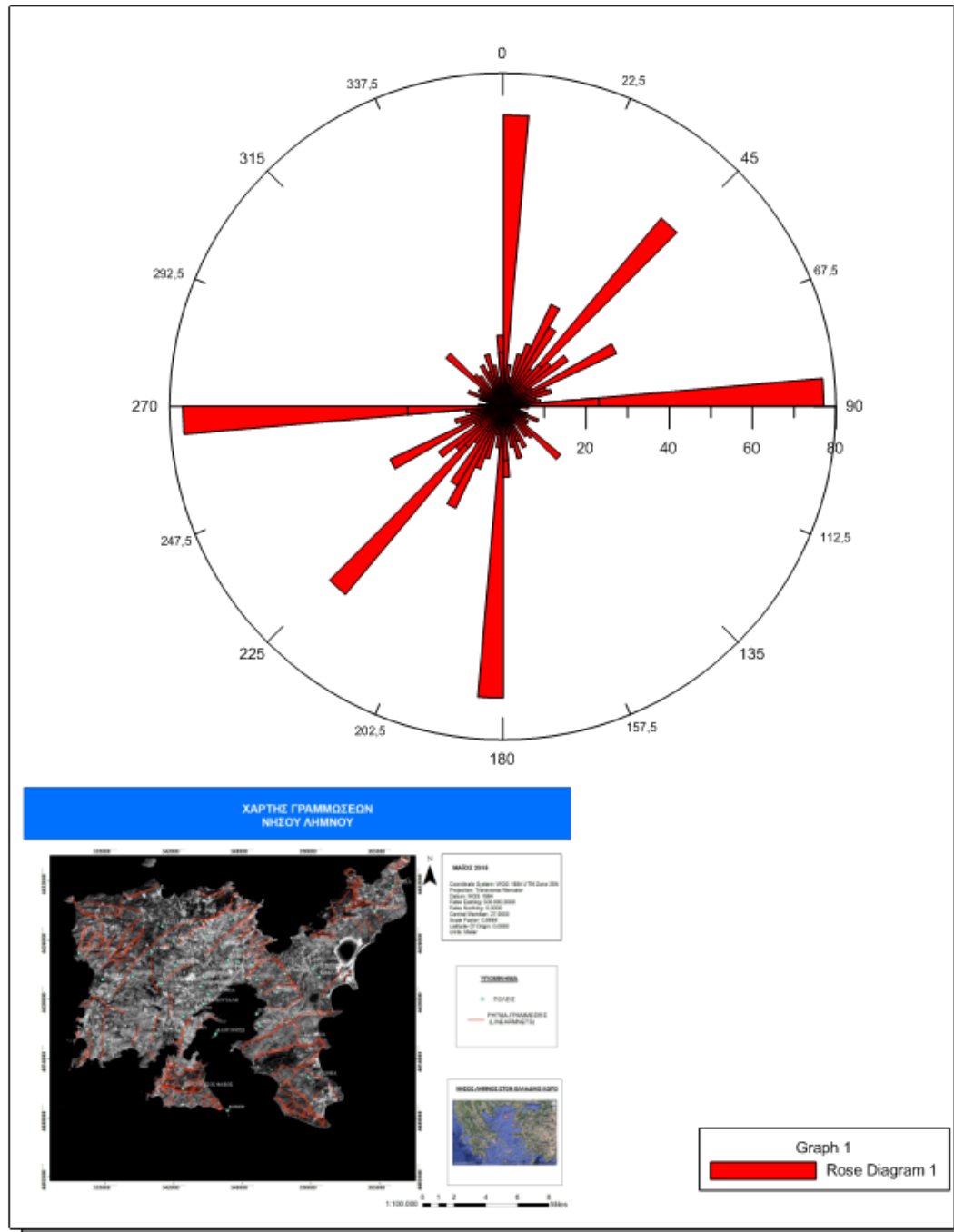
είναι οι περιοχές υδροθερμικών εξαλλοιώσεων) (Ahmed S.O. Ali , Amin Beiranv RGB PC4-PC3-PC2 από εφαρμογή PCA στα κανάλια 7,6,5,3

4.2.2.7 Γραμμώσεις (linearments)

Η προεπεξεργασία της πανχρωματικής εικόνας περιλαμβάνει τη μετατροπή των ψηδιακών τιμών σε τιμές ανάκλασης όπως αναλυτικά ειπώθηκε παραπάνω. Έπειτα με τη βοήθεια των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών όπου εισήχθει η εικόνα στο πρόγραμμα ArcGis (arcmap) για την ψηφιοποίηση και εξαγωγή γραμμώσεων. Τέλος υπολογίσθηκε η διεύθυνση των τεκτονικών στοιχείων και έζηχθη το ροδοδιάγραμμα του νησιού με το SURFER 11 golden.

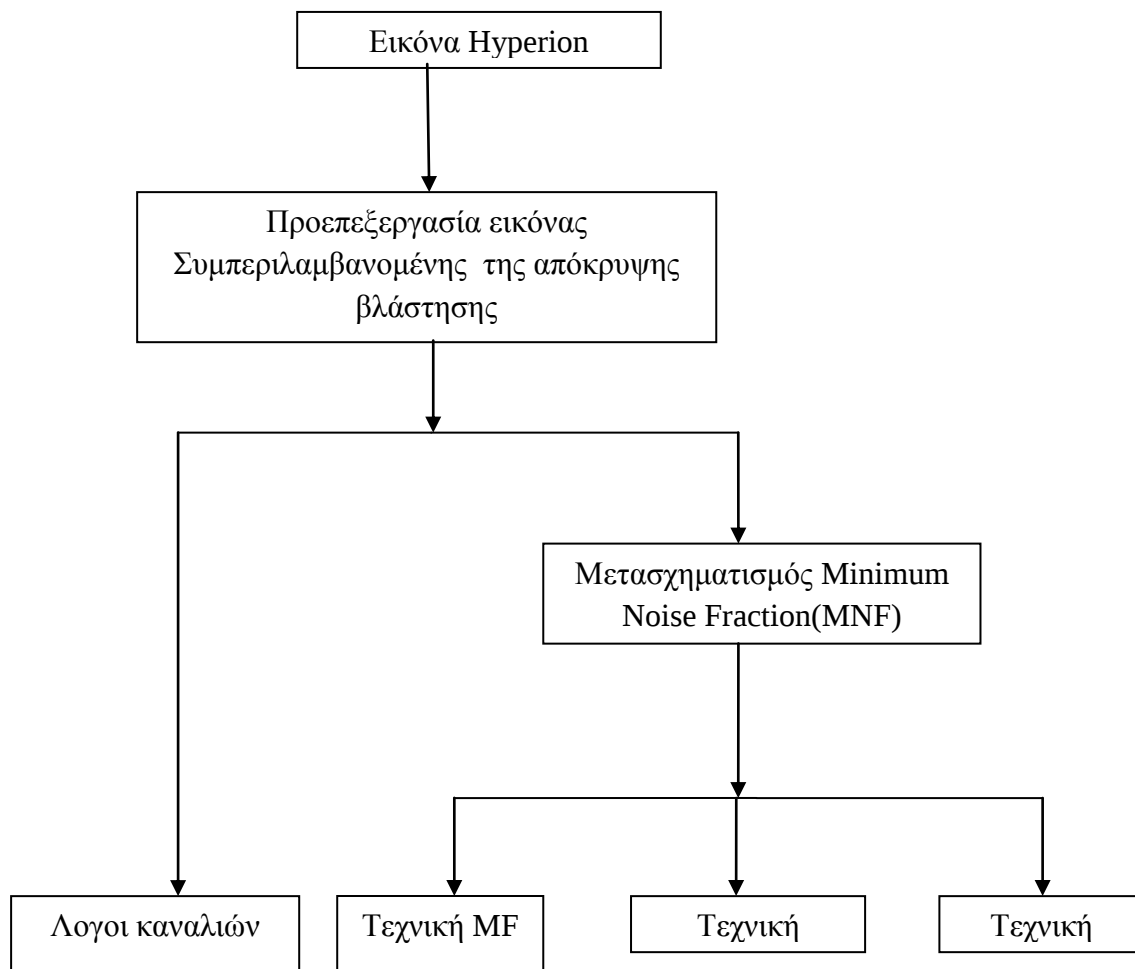


Εικόνα 36 Linearments - Γραμμώσεις. Επιλέχθησαν να φαίνονται οι μεγαλύτερες τεκτονικά γραμμώσεις.



Εικόνα 37 Ροδοδιάγραμμα με τις διευθύνσεις των τεκτονικών στοιχείων.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ 2^{ΗΣ} ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ: ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΤΟΥ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΗ HYPERION

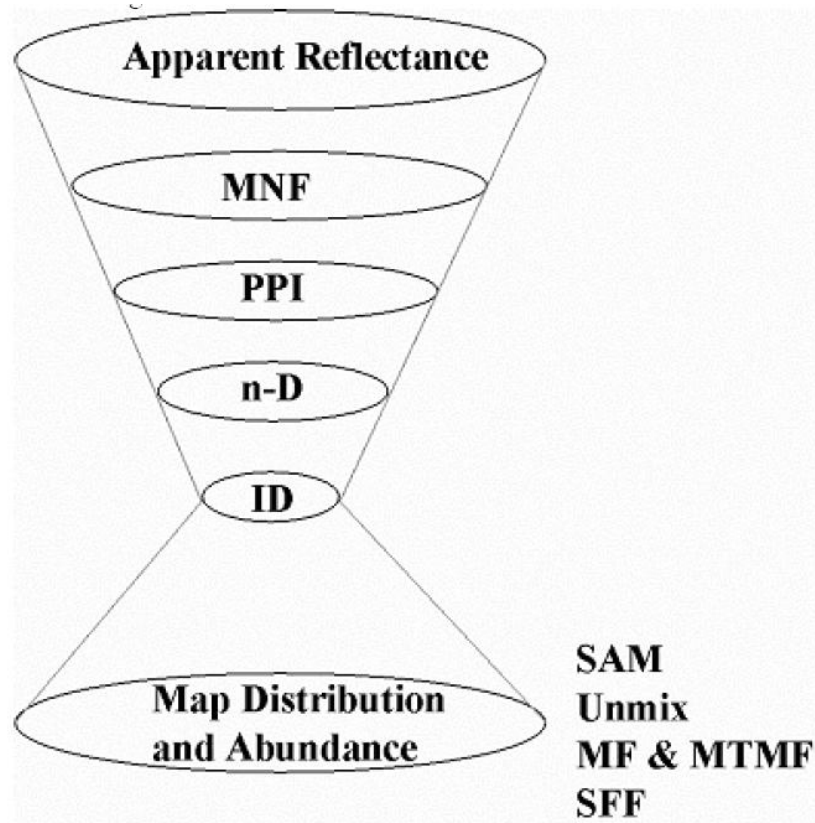


Scene Request ID	EO11820322014326110KZ
Site Longitude	25.17
Site Latitude	39,81
HYP Start Time	2014 326 07:46:15
HYP Stop Time	2014 326 07:50:35
processing level	1R
date of acquisition	22/11/2014
spatial resolution	30m
spectral resolution	10nm

Πίνακας 7, χαρακτηριστικά εικόνας απεικονιστή Hyperion που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

4.2.3 Η διαδικασία υπερφασματικής ορυκτολογικής χαρτογράφησης

Γενικά υπάρχει η αντίληψη ότι η ανάλυση των υπερφασματικών δεδομένων θα έπρεπε να ενταχθεί στο ίδιο επίπεδο με άλλες γεωφυσικές μεθόδους ανάλυσης. Η πολύ καλή προεπεξεργασία των δεδομένων, όπως η ραδιομετρική, είναι προαπαιτούμενη. Έπειτα οι επιρροές που επιδέχονται τα δεδομένα από το όργανο καταγραφής και τις φυσικές επιρροές, που είναι ασυσχέτιστα με το υπό μελέτη σήμα πρέπει να μοντελοποιηθούν και να αφαιρεθούν μέσω ενός βήματος μείωσης δεδομένων. Έτσι γίνεται χρήση ενός μοντέλου φασματικής μείξης (spectral mixing model) για να αποδόσει τις τοποθεσίες και τις φασματικές υπογραφές διαφόρων στοιχείων μοναδικών μέσα στο πλαίσιο της εικόνας. Αυτά τα στοιχεία που αποδίδονται εντέλει, (endmembers) μέσω αυτής της διαδικασίας, αναγνωρίζονται με μεθόδους φασματικού ταιριάσματος (spectral matching methods) και η αφθονία τους χαρτογραφείτε στην εικόνα. Στο τέλος γίνεται η γεωμετρική διόρθωση.



Εικόνα 38 Σχήμα υπερφασματικής ανάλυσης. δίδεται προσοχή στο σχήμα " κλεψύδρας", το οποίο σχηματικά αντιπροσωπεί τη μείωση των υπερφασματικών δεδομένων σε μερικά φασματικά κλειδιά στο λαιμό της κλεψύδρας και έπειτα την επιστροφή στους φασματικούς χάρτες όλου του πακέτου δεδομένων.

Ο παραπάνω τρόπος δεν είναι ο μοναδικός για την ανάλυση των δεδομένων αλλά παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής πληροφορίας από την εικόνα χωρίς περαιτέρω γνώση και περιλαμβάνει εν συντομία τα εξής βήματα:

1. Ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση ατμοσφαιρικού μοντέλου « FLAASH» φασματική συμπίεση, καταστολή θορύβου και μείωση διαστάσεων με την τεχνική Ελαχιστοποίησης του Θορύβου (Minimum Noise Fraction – MNF, Green et al., 1988)
2. Προσδιορισμός των καθαρών εδαφικών φασματικών στοιχείων (endmembers) με γεωμετρικές μεθόδους (Pixel purity index- PPI) (Boardman and Kruse, 1994)
3. Εξαγωγή των καθαρών εδαφικών φασματικών στόχων με το εργαλείο n-dimensional visualize. Το εργαλείο αυτό προβάλλει τα φασματικά δεδομένα ως σημεία σε n διαστάσεις στο χώρο όσες και ο αριθμός των φασματικών καναλιών.
4. Αναγνώριση των καθαρών φασματικών στόχων και σύγκριση με τις φασματικές βιβλιοθήκες.
5. Παραγωγή ορυκτολογικών χαρτών χρησιμοποιώντας μια ποικιλία χαρτογραφικών μεθόδων όπως τον Χαρτογράφο φασματικής γωνίας (Spectral Angle Mapper –SAM), και η Mixture tune matched filtering (MTMF).
6. Τέλος έγινε η γεωαναφορά του τελικού χάρτη. (Amin Beiranvand Pour& Mazlan Hashim 2011).

4.2.3.1 Ατμοσφαιρική διόρθωση

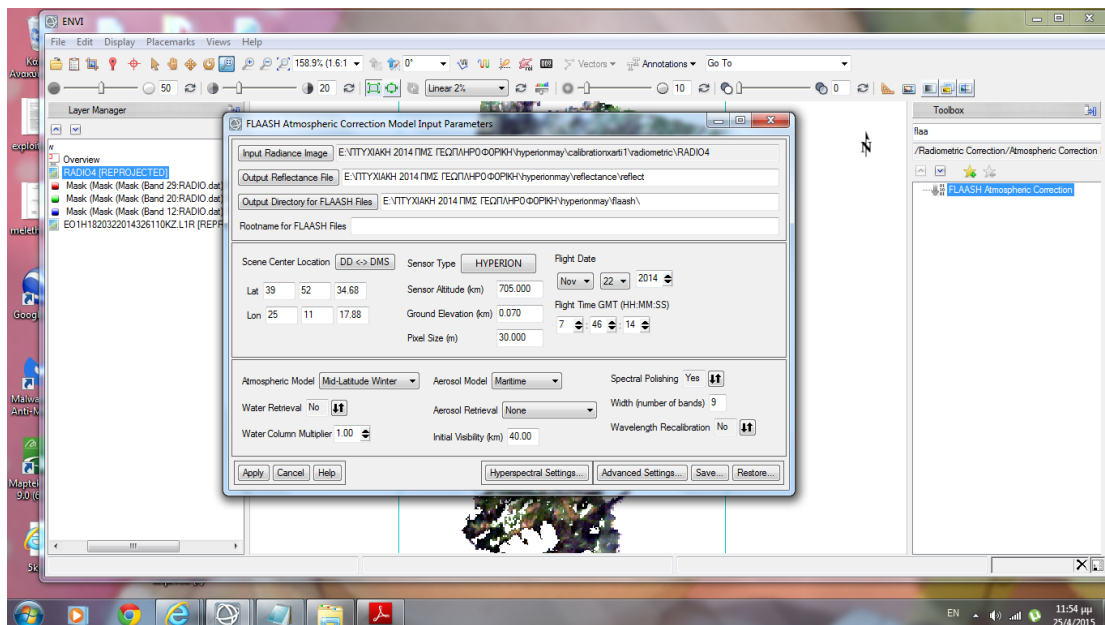
Η ατμοσφαιρική διόρθωση απαιτείται για την περαιτέρω ανάλυση της εικόνας καθώς η ατμόσφαιρα επηρεάζει τις μετρήσεις. Τα αέρια της ατμόσφαιρας επηρεάζουν τα μήκη κύματος του φωτός που φθάνουν στους αισθητήρες των δορυφόρων. Τα ατμοσφαιρικά αέρια που επηρεάζουν την απορρόφηση είναι κυρίως νερό με μικρές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, όζον και άλλων αερίων. Κανάλια που παρουσιάζουν υψηλή ατμοσφαιρική απορρόφηση του νερού (π.χ. 1,4 – 1,9 μm) έχουν ασαφή εικόνα και μόνο μερικά ατμοσφαιρικά παράθυρα είναι διαθέσιμα για περαιτέρω ανάλυση.

Το πρώτο βήμα είναι η μετατροπή των ψηφιακών τιμών των δεδομένων της εικόνας σε τιμές ανάκλασης, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η σύγκριση και ταυτοποίηση των φασμάτων της εικόνας με τα φάσματα που εξάγονται από εργαστήριο ή από το πεδίο (Amin Beiranvand Pour & Mazlan Hashim 2011).

Η προεπεξεργασία των δεδομένων του Hyperion του επιπέδου 1R έχει συνολικά 242 κανάλια αλλά μόνο τα 198 είναι ραδιομετρικά βαθμονομημένα. Εξαιτίας της υπερκάλυψης μεταξύ των εστιακών επιπέδων του ορατού/κοντινού (VNIR) και μέσου υπέρυθρου (SWIR) μόνο 196 κανάλια λαμβάνονται για περαιτέρω επεξεργασία.

Η διόρθωση πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό envi 5.2 με το πρόγραμμα FLAASH. Το FLAASH βασίζεται σε ένα μοντέλο μετατροπής ακτινοβολίας το οποίο δημιουργήθηκε από Spectral Sciences, Inc. Χρησιμοποιεί τον κώδικα μετατροπής ακτινοβολίας του MODTRAN4 για διόρθωση που αφορά υγρασία, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, και απορρόφηση όζοντος. Το MODTRAN4, είναι η νεότερη έκδοση της U.S. Air Force το οποίο αναπτύσσεται από την Air Force Research Laboratory/Space Vehicles Directorate and Spectral Sciences, Inc. Αναμένεται να παρέχει ακριβή ανάλυση φασματικών δεδομένων για ατμοσφαιρικό και επιφανειακό χαρακτηρισμό.

Εικόνα 39 Το πρόγραμμα Flaash από το λογισμικό του ENVI.



Στο πρόγραμμα εισήχθησαν τα χαρακτηριστικά του απεικονιστή και επιλέχθηκε η περιοχή άμεσου ενδιαφέροντος. Όπως φαίνεται στη παραπάνω εικόνα παρατηρούνται οι συντεταγμένες του κέντρου της εικόνας γεωγραφικό πλάτος 39.8926 και γεωγραφικό μήκος 25.1885. Έπειτα αφού γίνει η επιλογή του απεικονιστή Hyperion καλύπτονται τα πεδία που αφορούν υψόμετρο δορυφόρου (sensor altitude) 705 Km, μέσο υψόμετρο εδάφους (ground elevation) 0,06 km, μέγεθος εικονοστοιχείου 30m ημερομηνία λήψης της εικόνας 22-11-2014 και ώρα 07:46:13. Ακολούθως, γίνεται η επιλογή του ατμοσφαιρικού μοντέλου της περιοχής. Έτσι σύμφωνα με τη γεωγραφική θέση της Λήμνου και τα ατμοσφαιρικά στοιχεία επιλέχθηκε το 2^ο μονέλο Mid-Latitude Winter (MLW).

Model Atmosphere	Water Vapor (std atm-cm)	Water Vapor (g/cm²)	Surface Air Temperature
Sub-Arctic Winter (SAW)	518	0.42	-16 °C or 3 °F
Mid-Latitude Winter (MLW)	1060	0.85	-1 °C or 30 °F
U.S. Standard (US)	1762	1.42	15 °C or 59 °
Sub-Arctic Summer (SAS)	2589	2.08	14 °C or 57 °
Mid-Latitude Summer (MLS)	3636	2.92	21 °C or 70 °
Tropical (T)	5119	4.11	27 °C or 80 °

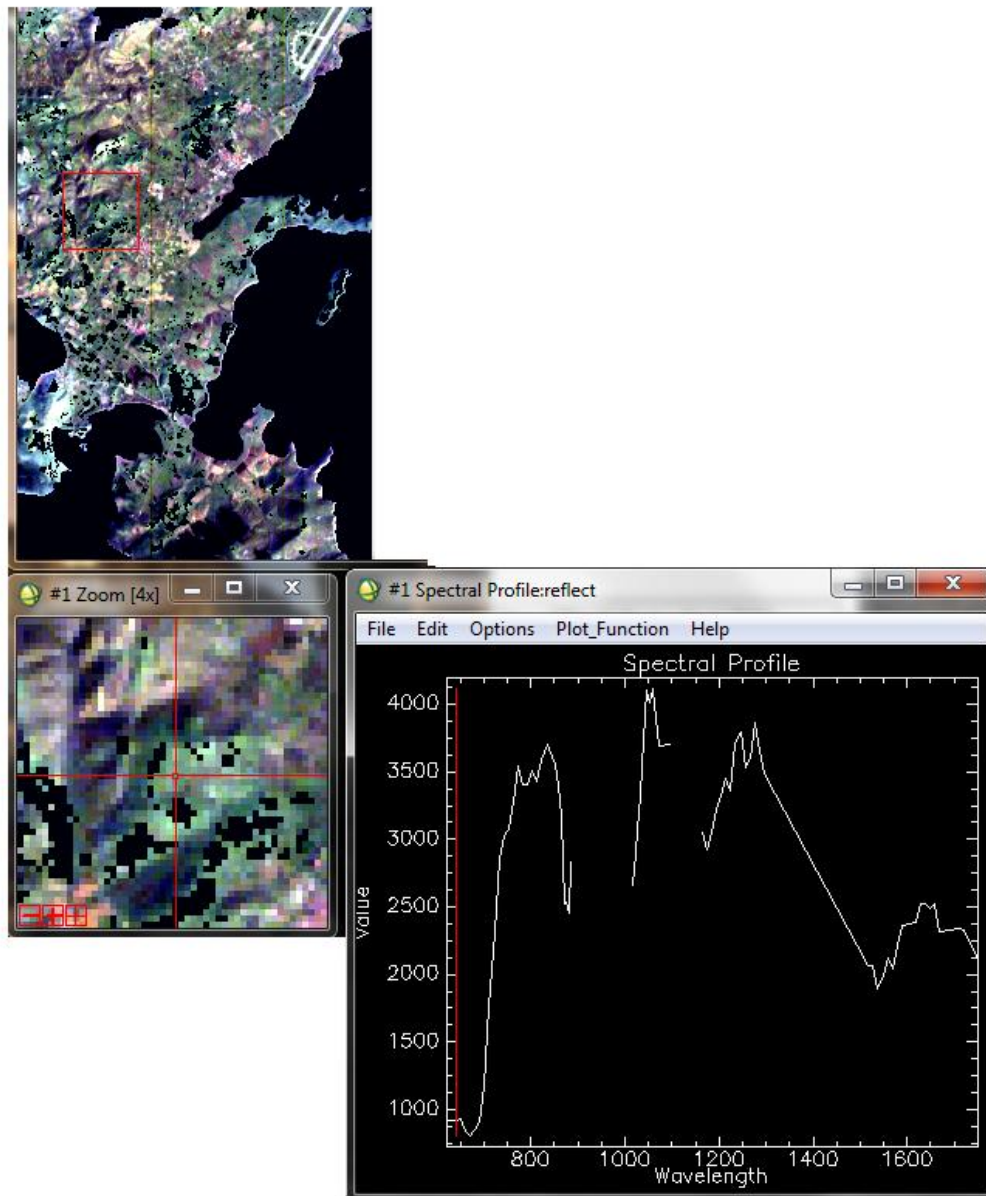
Πίνακας 8 Περιεκτικότητα υδρατμών της ατμόσφαιρας και θερμοκρασία στην γήινη επιφάνεια.

Όσον αφορά τη μάζα των υδρατμών που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για κάθε εικονοστοιχείο (Water retrieval) δίνεται η δυνατότητα από το πρόγραμμα είτε να επιλεγεί μια συγκεκριμένη ατμόσφαιρα, είτε ο υπολογισμός για κάθε εικονοστοιχείο με τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένων φασματικών καναλιών 1135nm, 940 nm, 820 nm. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκε αυτόματα από το πρόγραμμα το φασματικό κανάλι 1135 nm, καθώς εμπεριέχεται στην πληροφορία της εικόνας.

Ακολουθεί η επιλογή του μοντέλου μείγματος των αερίων και των σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model) όπου σύμφωνα με την περιοχή μελέτης είναι το 2^ο Maritime (θαλάσσιο) το οποίο χρησιμοποιείται σε περιοχές πάνω από τους ωκεανούς αλλά και σε ηπειρωτικές περιοχές οι οποίες επηρεάζονται από τους ανέμους που προέρχονται από την θάλασσα. Θα μπορούσε να επιλεγεί και το αγοτικό μοντέλο όπως και έγινε αλλά η διαφορά δεν ήταν σημαντική.

Η ορατότητα της εικόνας δεν είναι πολύ καλή λόγω καιρικών συνθηκών, έτσι μια εκτιμώμενη αρχική τιμή της ορατότητας είναι 20 έως 30 km.

Επίσης επιλέχθηκε να γίνει φασματική ομαλοποίηση της εικόνας (Spectral Polishing) με τη μέθοδο 2 band K-T, ούτως ώστε να επιτευχθεί περαιτέρω εξομάλυνση του θορύβου στις φασματικές υπογραφές του ακάλυπτου εδάφους κυρίως.



Εικόνα 40 φασματική υπογραφή βλάστησης στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα. Σύμφωνα με το google earth σε αυτές τις περιοχές υπάρχουν θάμνοι διότι γενικά η βλάστηση στο νησί είναι πολύ αραιή. Άρα είτε υπάρχουν θάμνοι είτε εάν δεν υπάρχουν ευθύνεται η κακή ποιότητα της εικόνας καθώς τα σύννεφα δημιούργησαν θόρυβο. Οι μαύρες περιοχές είναι οι περιοχές που έγινε απόκρυψη της βλάστησης (ένα μεγάλο ποσοστό βλάστησης) σύμφωνα με τον δείκτη broadband greenness.

4.2.3.2 Γεωμετρικές διορθώσεις

Η δορυφορική εικόνα ως πρωτογενές δεδομένο εμφανίζει γεωμετρικές παραμορφώσεις οι οποίες σχετίζονται με τα ακόλουθα :

- Προοπτική απεικόνιση του συστήματος καταγραφής.
- Η κίνηση του συστήματος του σαρωτή.
- Η κίνηση ή/ και σταθερότητα της εξέδρας.
- Η ταχύτητα και το ύψος της εξέδρας.
- Το ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας.
- Η καμπυλότητα και η περιστροφή της Γης.

Μία δορυφορική εικόνα δεν έχει τις ιδιότητες ενός χάρτη και η κατάλληλη μετατροπή της για την απόκτηση κλίμακας και τις ιδιοτήτων προβολής ενός χάρτη ονομάζεται γεωμετρική διόρθωση. Η γεωμετρική διόρθωση έχει ως στόχο να μετασχηματίσει το σύστημα συντεταγμένων της εικόνας (χ, y), το οποίο έχει παραμορφώσεις, σε ένα συγκεκριμένο σύστημα (X, Y) χαρτογραφικής προβολής. Είναι ένα σημαντικό βήμα στην επεξεργασία των δεδομένων διότι επιτρέπει π.χ. την εισαγωγή τους σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών και την ταυτόχρονη χρήση τους μαζί με άλλα θεματικά επίπεδα πληροφορίας. Κάθε χαρτογραφικό σύστημα προβολής είναι σχεδιασμένο ώστε να αναπαριστά την επιφάνεια μιας σφαίρας ή ενός ελλειψοειδούς σε ένα επίπεδο και σχετίζεται με ένα σύστημα συντεταγμένων. Το σύστημα αυτό ακολουθεί έναν κάρναβο του οποίου κάθε θέση εκφράζεται με ένα αριθμητικό ζεύγος X και Y (στήλες και σειρές). Η μετατροπή των δεδομένων μιας εικόνας από ένα σύστημα καννάβου σε άλλο ονομάζεται γεωμετρική αναγωγή. Καθώς τα εικονοστοιχεία του νέου συστήματος δεν είναι σε «ευθυγράμμιση» με το παλαιό εφαρμόζεται η τεχνική της αναδόμησης Μιγκίρος κ.α.(2003).

Η γεωμετρική διόρθωση είναι σημαντική καθώς οι εφαρμογές μιας γεωγραφικά αναφερόμενης εικόνας είναι:

1. να γίνει σύγκριση εικόνων ίδιας περιοχής σε διαφορετικό χρόνο, σε επίπεδο εικονοστοιχείου,
2. για την ανάπτυξη ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών με τη χρήση και συσχέτιση άλλων θεματικών χαρτών.
3. Την μέτρηση αποστάσεων ή επιφανειών.
4. Τη δημιουργία μωσαϊκού.
5. Τις ανάγκες κάθε ανάλυσης στην οποία απαιτείται ακρίβεια στον εντοπισμό θέσεων.

Υπάρχουν 2 τύποι διόρθωσης εικόνας είτε σύγκριση εικόνας με εικόνα ή με την εισαγωγή συντεταγμένων από τοπογραφικό χάρτη. Ο τύπος διόρθωσης που επιλέχθηκε στην περίπτωση μας είναι σύγκριση εικόνας με εικόνα. Έτσι εντοπίστηκαν τα εδαφικά σημεία ελέγχου (ground control points), επιλέχθηκε ο βαθμός μετασχηματισμού και η τεχνική αναδόμησης. Έτσι δημιουργήθηκε η τελική εικόνα μέσα από την αναδόμηση και τον σχηματισμό ενός νέου καννάβου. Μιγκίρος κ.α. (2003).

Η τεχνική που επιλέχθη ήταν εγγραφή εικόνας σε άλλη εικόνα (image to image registration). Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ήδη μια εικόνα γεωμετρικά διορθωμένη σε ένα συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων από την οποία θα αντληθεί η σχετική πληροφορία. Μιγκίρος κ.α.(2003). Επιλέχθη η ψευδέγχρωμη εικόνα της Λήμνου όπου διακρίνονται τα ορυκτά της υδροθερμικής εξαλλοίωσης ως βασική εικόνα πάνω στην οποία θα γεωαναφερθεί η εικόνα του απεικονιστή Hyperion, έτσι θα επιτευχθεί η σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων από την επεξεργασία και των δυο εικόνων (RMS: 0.307188). (Βλ. ΕΙΚΟΝΕΣ 42,43,44)

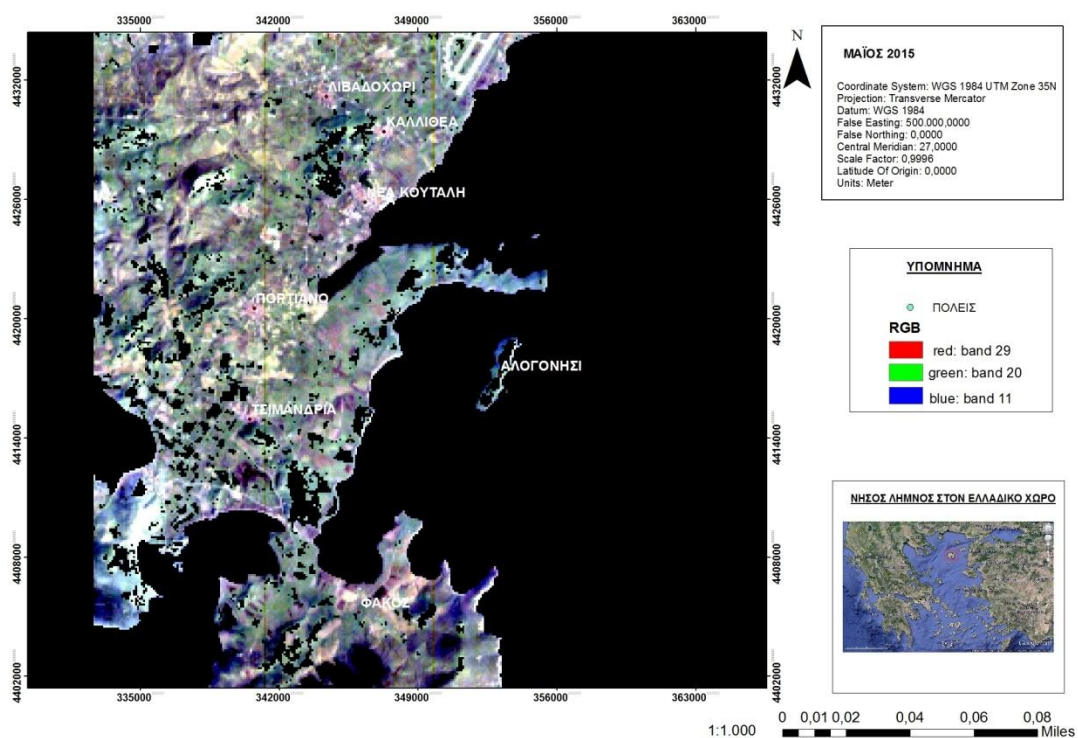
Οπτική εκτίμηση καναλιών Hyperion:

AA	BAND	WAVELENGTH (micrometers)
1	11	457.34
2	12	467.52
3	13	477.69
4	14	487.87
5	15	498.04
6	16	508.22
7	17	518.39
8	18	528.57
9	19	538.74
10	20	548.92
11	21	559.09
12	22	569.27
13	23	579.45
14	24	589.62
15	25	599.8
16	26	609.97
17	27	620.15
18	28	630.32
19	29	640.5
20	30	650.67
21	31	660.85
22	32	671.02
23	33	681.2
24	34	691.37
25	35	701.55
26	36	711.72
27	37	721.9
28	38	732.07
29	39	742.25
30	40	752.43

31	41	762.6
32	42	772.78
33	43	782.95
34	44	793.13
35	45	803.3
36	46	813.48
37	47	823.65
38	48	833.83
39	49	844.0
40	50	851.92
41	51	854.18
42	52	862.01
43	53	864.35
44	54	872.1
45	55	874.53
46	56	882.19
47	57	884.7
48	58	892.28
49	83	1016.98
50	84	1023.4
51	85	1027.16
52	86	1033.49
53	87	1037.33
54	88	1043.59
55	89	1047.51
56	90	1053,6899
57	91	1057,6801
58	92	1063.79
59	93	1073.89
60	95	1094.09
61	96	1104,1899
62	97	1114,1899
63	101	1154.58
64	102	1164,6801
65	103	1174.77
66	104	1184.87
67	105	1194.97
68	106	1205,0699
69	107	1215.17
70	108	1225.17
71	109	1235.27
72	110	1245.36
73	111	1255.46
74	112	1265,5601
75	113	1275.66

76	114	1285.76
77	115	1295.86
78	137	1517.83
79	138	1527.92
80	139	1537.92
81	140	1548.02
82	141	1558.12
83	142	1568.22
84	143	1578,3199
85	144	1588.42
86	147	1618.71
87	148	1628,8101
88	149	1638,8101
89	150	1648.9
90	151	1659.0
91	152	1669.1
92	156	1709.5
93	157	1719.6
94	160	1749.79
95	163	1053.69
96	164	1790.19

Πίνακας 3. Φασματικά κανάλια που διατηρηθήκαν για περαιτέρω εκτίμηση.



Εικόνα 41 Ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα όπου έχει προηγηθεί απόκρυψη βλάστησης (broadband vegetation) και θάλασσας.

4.2.3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΤΟΥ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΗ HYPERION

4.2.3.3.a Επιλογή φασματικών στόχων (spectral targets)

Η επιλογή των καταλληλότερων φασματικών στόχων (target) για την περαιτέρω επεξεργασία- ταξινόμηση των υπερφασματικών δεδομένων είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη γενικότερη θεώρηση των δεδομένων αυτών. Τα πολυφασματικά και υπερφασματικά δεδομένα μπορούν να αποδοθούν με τρεις βασικά τρόπους :

1. ως εικόνα όπου καθοριστικός παράγοντας είναι το σχήμα και η γεωμετρία των διαφορών στόχων,
2. ως φάσμα όπου καθοριστικός παράγοντας είναι η ανάκλαση των διαφορών στόχων (υλικών) στα διάφορα μήκη κύματος,
3. ως πληθυσμός σε ένα χώρο n διαστάσεων ίσο με τον αριθμό των φασματικών ζωνών.

Στην περίπτωση των υπερφασματικών δεδομένων η κλασική φωτοερμηνεία παρουσιάζει τρεις βασικές αδυναμίες:

1. Είναι αδύνατη η παρατήρηση όλων των δυνατών ψευδέγχρωμων συνδυασμών λόγω του αριθμού των φασματικών ζωνών.
2. Είναι αδύνατη η οπτική αναγνώριση των τυχών μεταβολών ανάμεσα στις συνεχείς και στενές φασματικές ζώνες.
3. Η χωρική διακριτική ικανότητα πολλές φορές είναι πιθανό να μην επιτρέπει την οπτική αναγνώριση των φασματικών στόχων (spectral targets).

Σε μια ιδανική κατάσταση ο ερευνητής οφείλει μόνο να αντιπαραβάλει τις εργαστηριακές μετρήσεις με την καταγραφόμενη από τον δέκτη ανακλώμενη ακτινοβολία και να ταυτοποιήσει τους φασματικούς στόχους. Σε αυτή την ιδανική περίπτωση η χρήση των υπερφασματικών δεκτών μπορεί να οδηγήσει και στο διαχωρισμό πολύ συγγενών φασματικών στόχων όπως οι διάφορες ποικιλίες κάποιου φυτού ή τα διάφορα αργιλικά ορυκτά. Όμως η καταγραφόμενη από τον υπερφασματικό σαρωτή ακτινοβολία υπόκειται σε σημαντικές αλλοιώσεις κατά τη διπλή διέλευσή της από την ατμόσφαιρα. Έτσι εκτός από την ανακλώμενη από το στόχο ενέργεια ο δέκτης καταγράφει ακτινοβολία η οποία εξαρτάται από τη φωτεινότητα, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (διάχυση και διάθλαση), τη γεωμετρία του στόχου ως προς τον ήλιο και το δέκτη, την τοπογραφία και τα χαρακτηριστικά του ίδιου του δέκτη με αποτέλεσμα να είναι πολύ δύσκολη έως αδύνατη η ταυτοποίηση των εργαστηριακών μετρήσεων με τις μετρήσεις οι οποίες προκύπτουν με χρήση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Μία τέτοια προσπάθεια ταυτοποίησης φασματικών στόχων προϋποθέτει την απόλυτη ατμοσφαιρική διόρθωση των τηλεπισκοπικών δεδομένων και κατά συνέπεια την ύπαρξη ειδικού λογισμικού και τη γνώση των ατμοσφαιρικών και των καιρικών συνθηκών που επικρατούσαν την ημέρα λήψης των δεδομένων. Μία επιπλέον προϋπόθεση για την αναγνώριση των φασματικών στόχων με βάση την ανακλαστικότητα των διαφορών υλικών στα διάφορα μήκη κύματος

είναι ο φασματικός στόχος να είναι το μοναδικό ή το κυρίαρχο στοιχείο μέσα σε ένα εικονοστοιχείο, προϋπόθεση πολλές φορές αδύνατη.

Εάν αναπαραστήσουμε την ανακλαστικότητα ενός στόχου σε δύο διαφορετικά μήκη κύματος (φασματικές ζώνες) λ1 και λ2 δημιουργείται ένα διδιάστατο γράφημα . Ο φασματικός στόχος είναι ουσιαστικά ένα διάνυσμα το οποίο ξεκινά από την αρχή των αξόνων. Στόχοι με την ίδια φασματική συμπεριφορά (ίδιο σχήμα φασματικής υπογραφής) αλλά διαφορετικό βαθμό ανακλαστικότητας παρουσιάζονται ως διανύσματα με την ίδια διεύθυνση αλλά διαφορετικό μήκος. Κατά συνέπεια σκουρότεροι στόχοι αναπαριστώνται με βραχύτερα διανύσματα ενώ πιο ανοιχτοί στόχοι αναπαριστώνται με μακρύτερα διανύσματα.

Εάν ο αριθμός των διαστάσεων (φασματικών ζωνών) υπερβεί τις τρεις, η αποτύπωση οπτικά γίνεται δύσκολη αλλά μαθηματικά και υπολογιστικά είναι δυνατή με την κατασκευή ενός υπερχώρου μέσα στον οποίο θα αποτυπώνεται σε όλες τις ζώνες η φασματική συμπεριφορά ενός στόχου. Το αποτέλεσμα δηλαδή είναι ένα ν-διαστάσεων διάνυσμα (όπου ν ο αριθμός των φασματικών ζωνών) που περιέχει όλη τη φασματική πληροφορία για το συγκεκριμένο στόχο. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να αποδώσουμε μαθηματικά σε ένα υπερχώρο ν διαστάσεων όλα τα εικονοστοιχεία. Η ομοιότητα δύο στόχων μπορεί να αξιολογηθεί με βάση τη μεταξύ τους απόσταση ή τη γωνία μεταξύ των δύο διανυσμάτων. Το βασικό πλεονέκτημα της απόδοσης των υπερφασματικών δεδομένων σε ένα ν-διαστάσεων διανυσματικό χώρο είναι ότι διευκολύνει τη μαθηματική και υπολογιστική επεξεργασία με μία σειρά από αλγόριθμους.

Η γήινη επιφάνεια η οποία αποτυπώνεται σε μία υπερφασματική τηλεπισκοπική απεικόνιση αποτελείται από πολλούς φασματικούς στόχους. Ανάλογα με την επιφάνεια που καλύπτει ένας φασματικός στόχος (π.χ. ένα αργιλικό ορυκτό) και τη χωρική διακριτική ικανότητα του δέκτη, κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να περιέχει μόνο ένα φασματικό στόχο ή μια πλειάδα φασματικών στόχων.

Στην πραγματικότητα όσο αυξάνεται το μέγεθος του εικονοστοιχείου (όσο δηλαδή μειώνεται η χωρική διακριτική ικανότητα του δέκτη) τόσο αυξάνεται η πιθανότητα η ακτινοβολία που καταγράφεται από το δέκτη να οφείλεται σε περισσότερους του ενός φασματικούς στόχους. Έτσι το αποτέλεσμα είναι μία σύνθετη ή αλλιώς μεικτή τιμή ανακλαστικότητας η οποία δεν μπορεί να ταυτιστεί με τις επιμέρους τιμές ανακλαστικότητας των διαφόρων φασματικών στόχων. Για τους περισσότερους υπερφασματικούς σαρωτές θεωρείται σχεδόν βέβαιο ότι κάθε εικονοστοιχείο περιέχει περισσότερους του ενός φασματικούς στόχους. Υπό την προϋπόθεση ότι το κάθε εικονοστοιχείο περιέχει ένα μικρό αριθμό φασματικών στόχων με σταθερές φασματικές ανακλάσεις διακριτές μεταξύ τους, είναι δυνατό να υπολογιστεί η ποσότητα των φασματικών στόχων με διάφορες μεθόδους όπως η Matched Filtering (Boardman et al., 1995). Οι μέθοδοι αυτές μπορούν να επιτύχουν την αναγνώριση φασματικών στόχων έστω και αν αυτοί καλύπτουν μόλις το 1-3% της συνολικής έκτασης του εικονοστοιχείου υπό την προϋπόθεση ότι η ανακλαστικότητα του φασματικού στόχου είναι διακριτή σε σχέση με το υπόλοιπο περιβάλλον του εικονοστοιχείου Κολοκούσης Π., (2008).

4.2.3.3.b Μείωση διάστασης φασματικής πληροφορίας –εύρεση των βέλτιστων φασματικών καναλιών για την διάκριση των ορυκτών της υδροθερμικής εξαιλλοίωσης.

Σκοπός των μεθόδων εξαγωγής χαρακτηριστικών είναι όπως αναφέρθηκε ο μετασχηματισμός των αρχικών δεδομένων υψηλής φασματικής διάστασης σε δεδομένα μικρότερης φασματικής διάστασης. Η αναγκαία μείωση του αριθμού των φασματικών ζωνών (καναλιών) μπορεί να πραγματοποιηθεί βασιζόμενη σε μαθηματικά κριτήρια με μεθόδους όπως:

- 1) η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis - PCA) ή της Κατατμημένης Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Segmented PCA – Xiuping & Richards, 1999, Tsai et al., 2007)
- 2) η τεχνική Ελαχιστοποίησης του Θορύβου (Minimum Noise Fraction – MNF, Green et al., 1988)
- 3) η Ανάλυση σε Ανεξάρτητες Συνιστώσες (Independent Component Analysis - ICA)
- 4) η τεχνική των διαχωριστικών Επιφανειών (Decision Boundary)
- 5) η τεχνική της διαχωριστικής Ανάλυσης (Discriminant Analysis) Κολοκούσης Π. (2008)

4.2.3.3.γ Εφαρμογή του μετασχηματισμού *Minimum Noise Fraction (mnf)* στα εναπομένοντα κανάλια .

Η τεχνική Ελαχιστοποίησης του Θορύβου (Minimum Noise Fraction – MNF, Green et al., 1988), έχει σκοπό την εξαγωγή χαρακτηριστικών με τον μετασχηματισμό αρχικών δεδομένων υψηλής φασματικής διάστασης σε δεδομένα μικρότερης φασματικής διάστασης.

Ο μετασχηματισμός MNF είναι παραπλήσιος με αυτόν της ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών με τη διαφορά ότι ταξινομεί τις συνιστώσες με βάση το λόγο σήματος προς θόρυβο κατά φθίνουσα σειρά. Οι πρώτες συνιστώσες παρουσιάζουν μεγάλο λόγο σήματος προς θόρυβο. Ο λόγος σήματος προς θόρυβο μειώνεται όσο αυξάνει η σειρά των συνιστωσών. Έτσι οι πρώτες συνιστώσες περιέχουν πολύ πληροφορία και λίγο θόρυβο ενώ οι τελευταίες συνιστώσες περικλείουν πολύ θόρυβο.

Ο μετασχηματισμός MNF πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι μία διαδικασία η οποία ονομάζεται λεύκανση θορύβου (noise whitening), η οποία μετατρέπει το θόρυβο της εικόνας σε "λευκό θόρυβο" με μηδενική μέση τιμή και μοναδιαία τυπική απόκλιση.

Μαθηματικά η επίτευξη της ανάδειξης του θορύβου επιτυγχάνεται με τον καθορισμό ενός πίνακα μετασχηματισμού ο οποίος μετατρέπει τον πίνακα συμμεταβλητότητας του θορύβου σε μοναδιαίο.

Έστω ΣΝ ο πίνακας συμμεταβλητότητας του θορύβου, ο οποίος είναι θετικά ορισμένος. Ο ΣΝ δημιουργείται είτε με χρήση δεδομένων κλειστού διαφράγματος (καταγράφονται από τον δέκτη με κλειστό διάφραγμα) ή με εικονοστοιχεία ομοιογενούς περιοχής. Στη συνέχεια ο ΣΝ διαγωνιοποιείται με χρήση της τεχνικής Singular Value Decomposition (SVD) ως εξής:

$$DN=UT \cdot \Sigma \cdot U$$

όπου: D_N είναι ο διαγώνιος πίνακας, ο οποίος συντίθεται από τις ιδιοτιμές του πίνακα Σ_N σε φθίνουσα σειρά, και U είναι ο ορθογώνιος πίνακας, ο οποίος συντίθεται από τα ιδιοδιανύσματα του πίνακα Σ_N .

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί περαιτέρω να αναπτυχθεί ως εξής:

$$\begin{aligned} D_N^{-\frac{1}{2}} * D_N^{-\frac{1}{2}} &= U^T * \Sigma_N * U \Rightarrow I = D_N^{-\frac{1}{2}} * U^T * \Sigma_N * U * D_N^{-\frac{1}{2}} \\ &= (U * D_N^{-\frac{1}{2}})^T * \Sigma_N * (U * D_N^{-\frac{1}{2}}) = P^T * \Sigma_N * P \end{aligned}$$

όπου:

I : είναι ένας μοναδιαίος πίνακας, και

P : είναι ο πίνακας μετασχηματισμού ο οποίος μετατρέπει τον πίνακα συμμεταβλητότητας του θορύβου σε μοναδιαίο, με $P=U*D^{-1/2}$

Όταν ο μετασχηματισμός P εφαρμόζεται σε μία απεικόνιση X , δηλ $Y=P.X$, τότε τα πρωτογενή

δεδομένα προβάλλονται σε ένα καινούριο χώρο, όπου ο θόρυβος των δεδομένων έχει "λευκανθεί". Τώρα ο θόρυβος στην απεικόνιση Y είναι λευκός με μηδενική μέση τιμή και μοναδιαία τυπική απόκλιση.

Το δεύτερο στάδιο του μετασχηματισμού MNF είναι μία τυπική ανάλυση κυρίων συνιστωσών η οποία εφαρμόζεται στις απεικονίσεις στις οποίες έχει πραγματοποιηθεί η λεύκανση του θορύβου. Αυτό ισοδυναμεί με την εφαρμογή του μετασχηματισμού P στον πίνακα συμμεταβλητότητας της προς επεξεργασία απεικόνισης:

$$\Sigma_{D_adj}=P^T * \Sigma_D * P$$

όπου:

Σ_D : είναι ο πίνακας συμμεταβλητότητας της απεικόνισης X , και

Σ_{D_adj} : ο πίνακας συμμεταβλητότητας προσαρμοσμένος από τον P

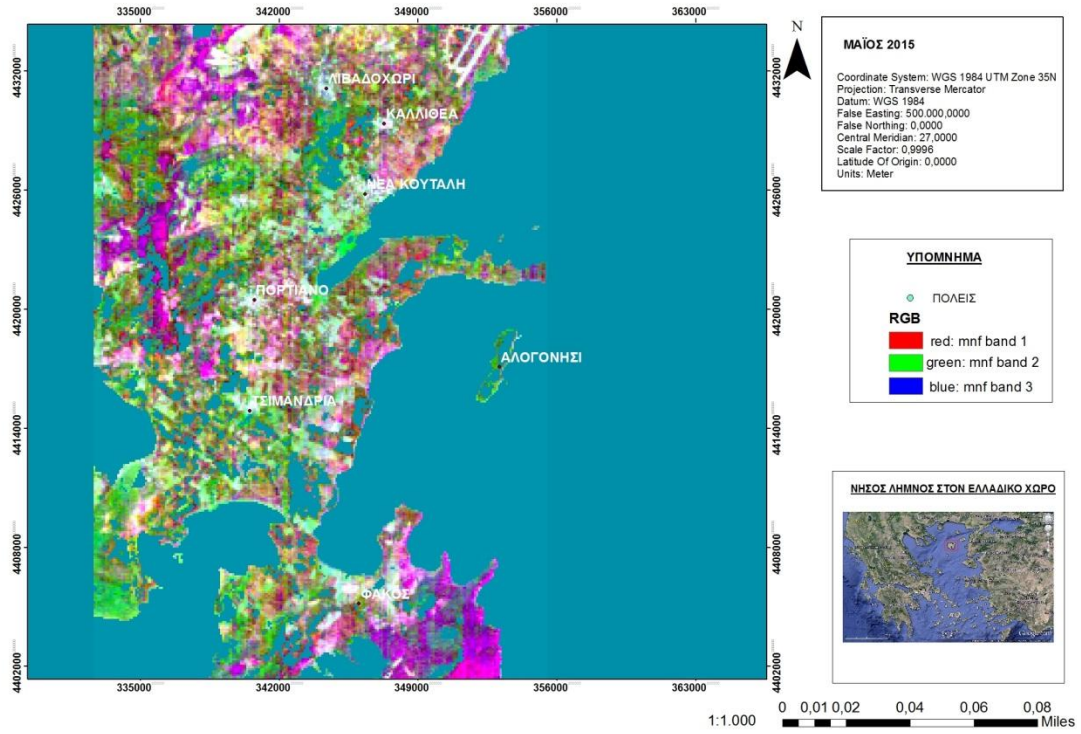
Τώρα εφαρμόζεται πάλι η μέθοδος Singular Value Decomposition στον Σ_{D_adj} ως εξής:

$$D_{D_adj}=V^T * \Sigma_{D_adj} * V$$

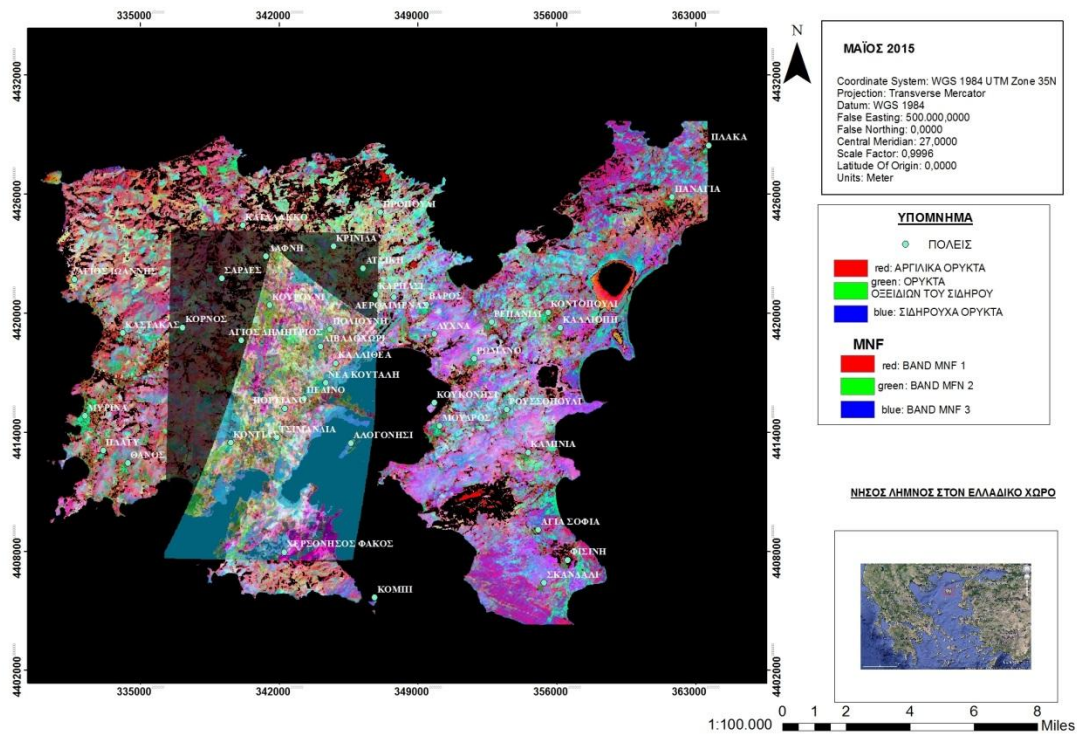
DD_adj : είναι ένας διαγώνιος πίνακας ο οποίος συντίθεται από τις ιδιοτιμές του πίνακα Σ_{D_adj} σε φθίνουσα σειρά, και

V : είναι ένας ορθογώνιος πίνακας ο οποίος συντίθεται από τα ιδιοδιανύσματα του Σ_{D_adj} .

Ο πίνακας του μετασχηματισμού MNF προκύπτει τελικά ως: $T_{MNF}=P*V$. (Κολοκούσης Π., 2008).



Εικόνα 42 MINIMUM NOISE FRACTION στα κανάλια του μέσου υπέρυθρου SWIR: λευκά και ανοιχτό πράσινο δείχνουν ορυκτά υδροθερμικής εξαιλλοίωσης (Amin Beiranvand Pour & Mazlan Hashim (2011)).



Εικόνα 43 Γεωαναφερμένη εικόνα της MNF πάνω στην ψευδέγχρωμη εικόνα 17σελ 51.

4.2.3.δ Αυτόματη διαδικασία επιλογής καθαρών φασματικών στόχων

Στην περίπτωση κατά την οποία δεν έχουμε μετρήσεις των στόχων στην ύπαιθρο υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης ανάδειξης και επιλογής των καταλληλότερων φασματικών στόχων από την ίδια την υπερφασματική απεικόνιση. Η διαδικασία αυτή μάλιστα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως οδηγός για τις μετρήσεις υπαίθρου. Η διαδικασία αυτή, η οποία εκτελείται αφού στην αρχική υπερφασματική απεικόνιση πραγματοποιηθεί ο μετασχηματισμός MNF, καλείται Pixel Purity Index (PPI). Η μέθοδος εξετάζει τις φασματικές ανακλαστικότητες σε μία σειρά από τυχαία ορισμένες διευθύνσεις στο χώρο. Για κάθε διεύθυνση όλες οι φασματικές ανακλαστικότητες προβάλλονται πάνω στο διάνυσμα που ορίζει την τυχαία διεύθυνση στο χώρο και τυχόν ακραίες τιμές προβολής (χαμηλές ή υψηλές).

Καθώς οι διάφορες διευθύνσεις εναλλάσσονται ο αλγόριθμος καταγράφει το πλήθος των φορών που ένα εικονοστοιχείο ορίστηκε ως ακραίο. Μία νέα εικόνα PPI δημιουργείται στην οποία η ψηφιακή τιμή (ένταση του εικονοστοιχείου) αντιστοιχεί στον αριθμό των φορών που το συγκεκριμένο εικονοστοιχείο ορίστηκε ως ακραίο.

Όπως και στην περίπτωση της μείωσης του θορύβου στις συνιστώσες MNF, έτσι και σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης οριοθετεί ένα κατώφλι το οποίο τελικά καθορίζει πόσα εικονοστοιχεία θα χαρακτηρισθούν ως ακραία. Θεωρητικά η τιμή αυτού του κατωφλίου πρέπει να είναι δύο ή τρεις φορές μεγαλύτερη από την τιμή που ορίστηκε ως κατώφλι για το θόρυβο. Πολύ υψηλές τιμές κατωφλίου μπορεί να οδηγήσουν στον εντοπισμό περισσότερων ακραίων εικονοστοιχείων αλλά αυτά δεν είναι απαραίτητα φασματικοί στόχοι. Η εικόνα PPI που σχηματίζεται είναι ουσιαστικά ένα ενδιάμεσο προϊόν στη διαδικασία επιλογής των φασματικών στόχων και απεικονίζει τα πλέον «καθαρά εικονοστοιχεία», εικονοστοιχεία δηλαδή που δύναται να περιέχουν ένα μόνο φασματικό στόχο. Επιπλέον, η εικόνα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός για την εργασία υπαίθρου. Τα «καθαρά εικονοστοιχεία» αντιστοιχούν σε φασματικούς στόχους που πρέπει να αναγνωριστούν στο ύπαιθρο και να καταγραφεί η ανακλαστικότητά τους.

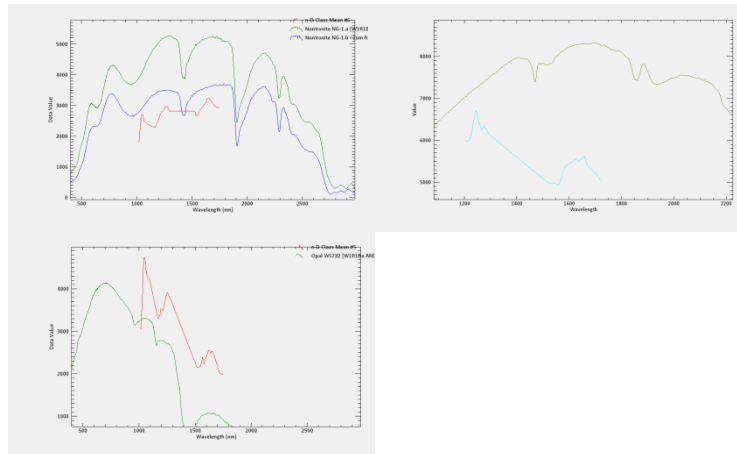
Στη συνέχεια τα εικονοστοιχεία με τις υψηλότερες τιμές περνούν από μία διαδικασία ομαδοποίησης (clustering) η οποία δημιουργεί τους τελικούς φασματικούς στόχους. Στη συνέχεια οι φασματικοί αυτοί στόχοι χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση ολόκληρου του πληθυσμού (εικόνας).

Οι τεχνικές χαρτογράφησης με χρήση υπερφασματικών δεδομένων κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το πλήθος των περιεχομένων φασματικών στόχων σε ένα εικονοστοιχείο σε:

1. διαδικασίες ταξινόμησης με ένα φασματικό στόχο ανά εικονοστοιχείο (Pixel Classification),
2. ανίχνευση συμμετοχής φασματικού στόχου σε εικονοστοιχείο (Sub-pixel Detection), και
3. ταξινόμηση μεικτών εικονοστοιχείων (Mixed Pixel Classification – MPC) (Κολοκούσης Π., 2008).

4.2.3.3.ε Φασματική ταυτοποίηση

Η φασματική ταυτοποίηση των ορυκτών που εξήχθησαν βασίστηκε σε έναν συνδυασμό οπτικής εκτίμησης των φασματικών διαγραμμάτων (spectral plots) και σε αυτόματη ή μη αυτόματη σύγκριση με τις φασματικές υπογραφές των ορυκτών που υπάρχουν στις φασματικές βιβλιοθήκες (jpl5, usgs min) . Οι αυτόματοι μέθοδοι που συγκρίνουν εξολοκλήρου το σχήμα και άλλα χαρακτηριστικά του φάσματος προσδιορίζουν υποψήφια υλικά και δημιουργούν μαθηματικές συγκρίσεις. Έπειτα από τη διαδικασία ταυτοποίησης των υλικών γίνεται η χαρτογράφησή τους. (Amin Beiranvand Pour& Mazlan Hashim 2011).



Εικόνα 43 Φασματικές υπογραφές της εικόνας συγκρινόμενες με τις φασματικές υπογραφές από την βιβλιοθήκη (USGS)

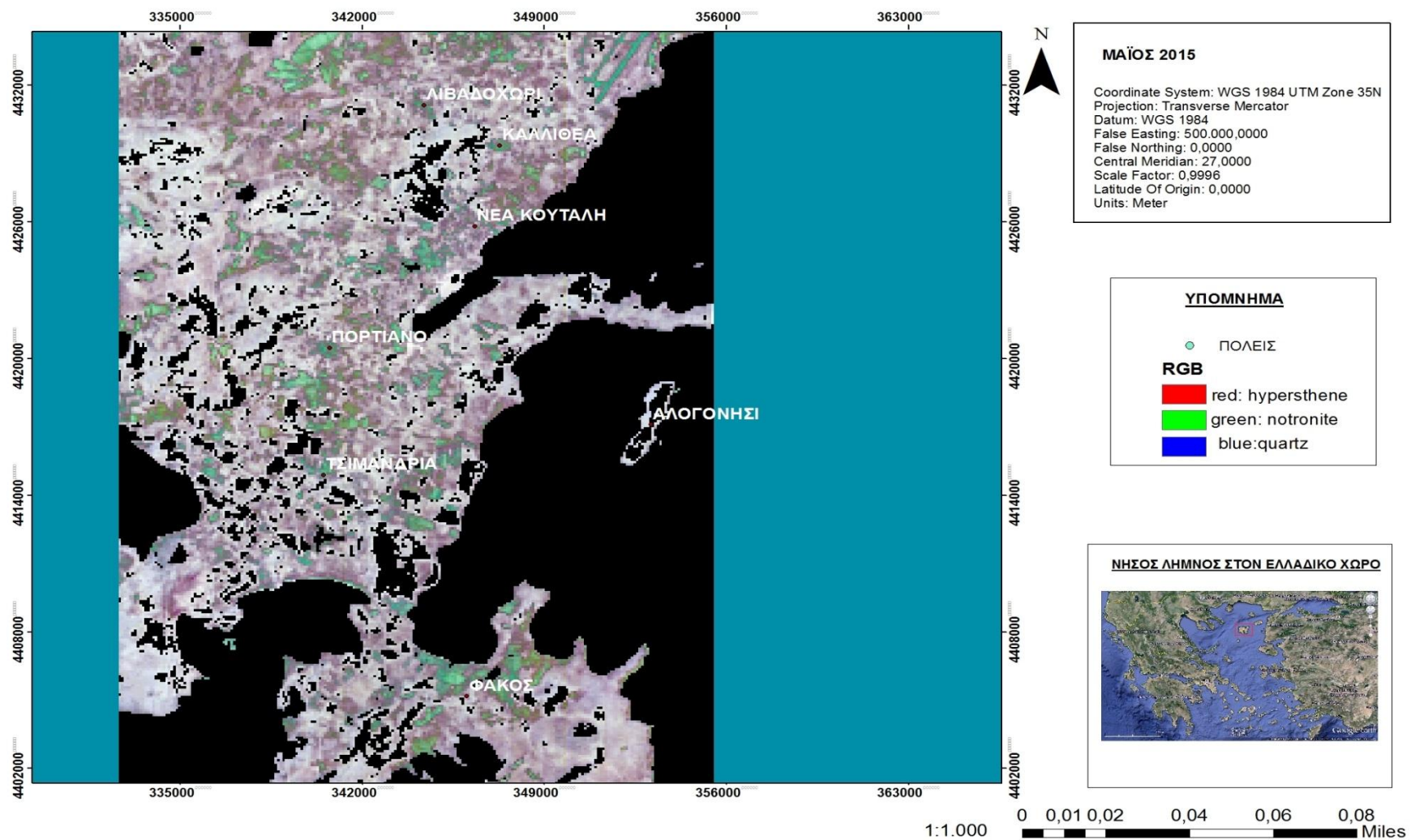
4.2.3.3.ζ Χαρτογράφηση με φασματικές γωνίες (spectral angle mapper)

Η μέθοδος SAM συγκρίνει την ανάκλαση των εικονοστοιχείων σε ν-διαστάσεις με τις ανακλάσεις των φασματικών στόχων, οι οποίες είτε προέρχονται από φασματικές βιβλιοθήκες (USGS, JPL κ.α.) ή έχουν μετρηθεί με φασματοραδιόμετρο στο πεδίο. Η μέθοδος συγκρίνει τη γωνία που σχηματίζει το τυχαίο ν-διαστάσεων διάνυσμα p με το ν-διαστάσεων διάνυσμα του φασματικού στόχου t:

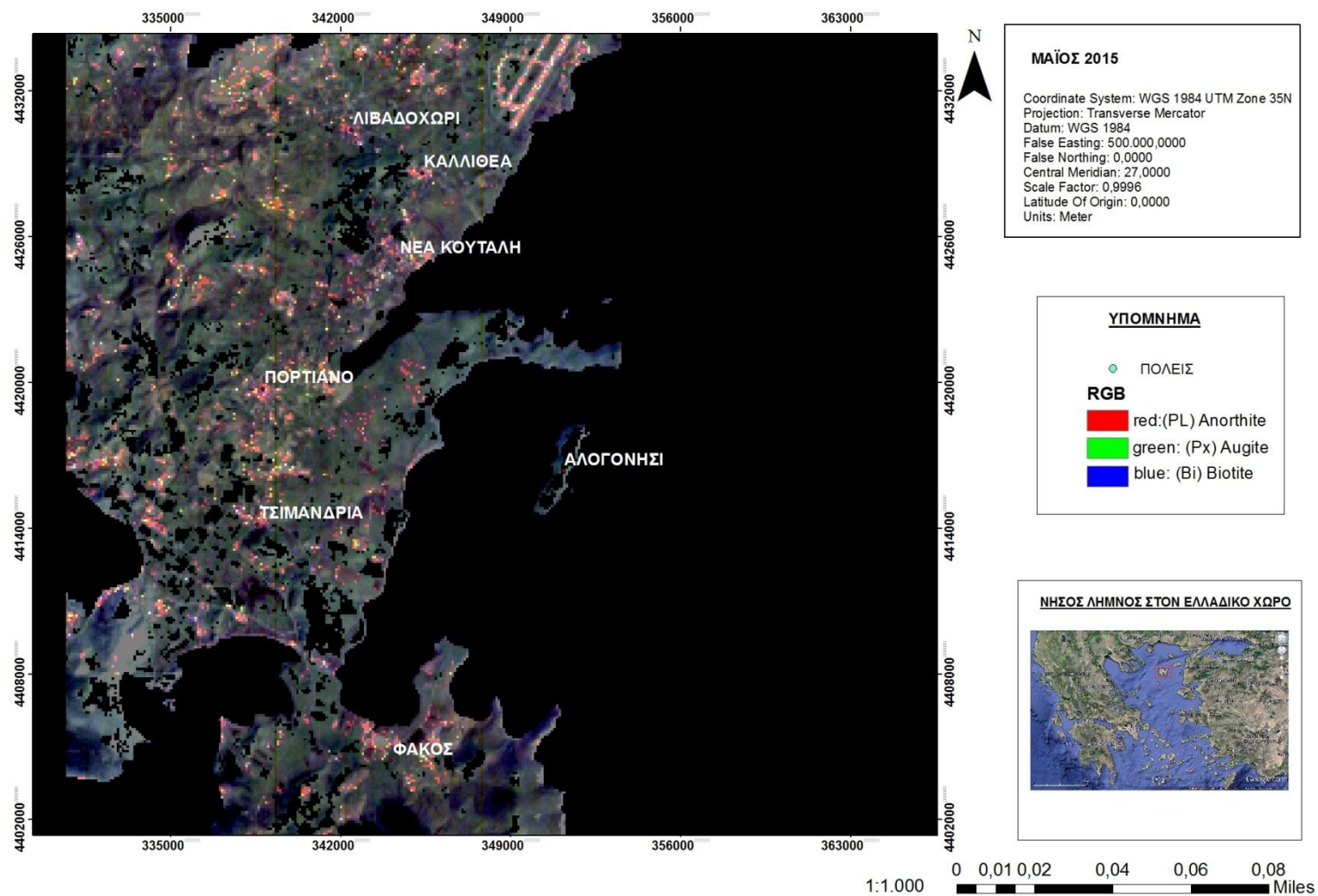
$$SAM(p, t) = \arccos \left(\frac{\sum_{i=1}^n p_i * t_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n p_i^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2}} \right)$$

Μικρές γωνίες αντιστοιχούν σε εικονοστοιχεία που μοιάζουν μεταξύ τους και βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι το αποτέλεσμα της σύγκρισης είναι ανεξάρτητο από τις επιδράσεις της φωτεινότητας (illumination) και του βαθμού ανακλαστικότητας των στόχων (albedo). Η μέθοδος ταξινομεί την εικόνα με βάση ένα κατώφλι (γωνία) που ορίζει ο χρήστης. Μικρή τιμή κατωφλίου (γωνίας) έχει ως αποτέλεσμα την ταξινόμηση λιγότερων εικονοστοιχείων (στις κατηγορίες των φασματικών στόχων) παραμένουν δηλαδή εικονοστοιχεία τα οποία δεν δύναται να κατηγοριοποιηθούν. Τα ταξινομημένα όμως εικονοστοιχεία παρουσιάζουν υψηλή συνάφεια με τους φασματικούς στόχους. Αντιθέτως, όσο αυξάνεται η τιμή του κατωφλίου βελτιώνεται η χωρική συνάφεια των διαφόρων τάξεων (ταξινομούνται σε

κάποια τάξη περισσότερα εικονοστοιχεία), το τελικό όμως αποτέλεσμα της ταξινόμησης δεν είναι πολύ αξιόπιστο. (Κολοκούσης Π., 2008).



Εικόνα 44 Τεχνική SAM. Απεικονίζεται ο υπερσθενής, νωτρονίτης και χαλαζίας



Εικόνα 45 Απεικονίζεται ο ανορθίτης , ο αυγίτης και ο βοιοτίτης

αποτελούνται από τους καθαρούς φασματικούς στόχους (endmembers) του υπόβαθρου (γεωμετρική προσέγγιση). Συνεπώς, ο όρος “δομημένα υπόβαθρα” αναφέρεται στη θεώρηση ότι το υπόβαθρο αποτελείται από διάφορα αντικείμενα των οποίων τα endmembers είναι γνωστά. Στην αντίθετη περίπτωση, οι ανιχνευτές διαμορφώνουν το υπόβαθρο με μη δομημένα υπόβαθρα (unstructured backgrounds), υπολογίζοντας τη μέση τιμή και τη διασπορά από τυχαίες τιμές φασματικών υπογραφών του υπόβαθρου θεωρώντας το ομοιογενές (στοχαστική προσέγγιση). Στη στοχαστική προσέγγιση τα φάσματα του εκάστοτε ζητούμενου φασματικού στόχου και του υπόβαθρου θεωρούνται διανύσματα πολλών μεταβλητών (multivariate vectors). Το υπό μελέτη φάσμα x θεωρείται τυχαίο διάνυσμα το οποίο ακολουθεί την πολυμεταβλητή κανονική κατανομή (multivariate normal distribution) με:

$$\text{μέση τιμή: } \mu = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(n) \text{ και συμμεταβλητότητα : } \Sigma = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x - \mu) * (x - \mu)^T$$

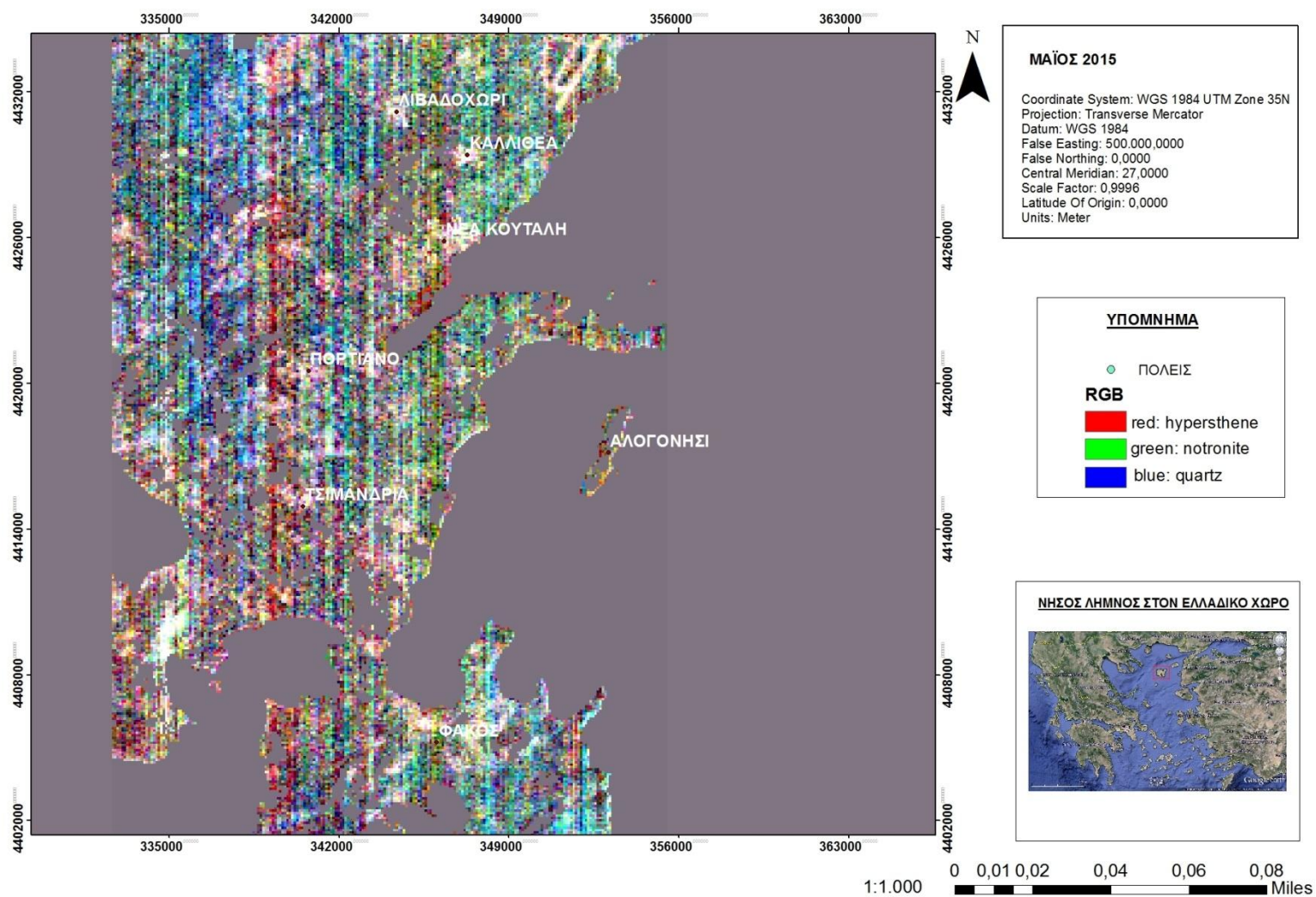
Όταν χρησιμοποιούνται τα παραπάνω στατιστικά στοιχεία για την ανίχνευση των φασματικών στόχων είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη ορισμένες υποθέσεις:

- 1) το υπόβαθρο θεωρείται ομοιογενές με χαρακτηριστικά πολυμεταβλητής γκαουσιανής κατανομής.
- 2) το φάσμα του υπόβαθρου το οποίο περιέχει το ζητούμενο φασματικό στόχο έχει την ίδια διακύμανση με το υπόβαθρο του εικονοστοιχείου το οποίο μελετάται.
- 3) το φάσμα του ζητούμενου φασματικού στόχου και του υπόβαθρου συνδυάζονται κατά τρόπο προσθετικό. Ο αλγόριθμος Mixture-Tuned Matched Filtering (MTMF) αποτελεί μία υβριδική μέθοδο βασισμένη στο συνδυασμό του Linear Spectral Mixing Model (LSMM) και του Matched Filter (MF).

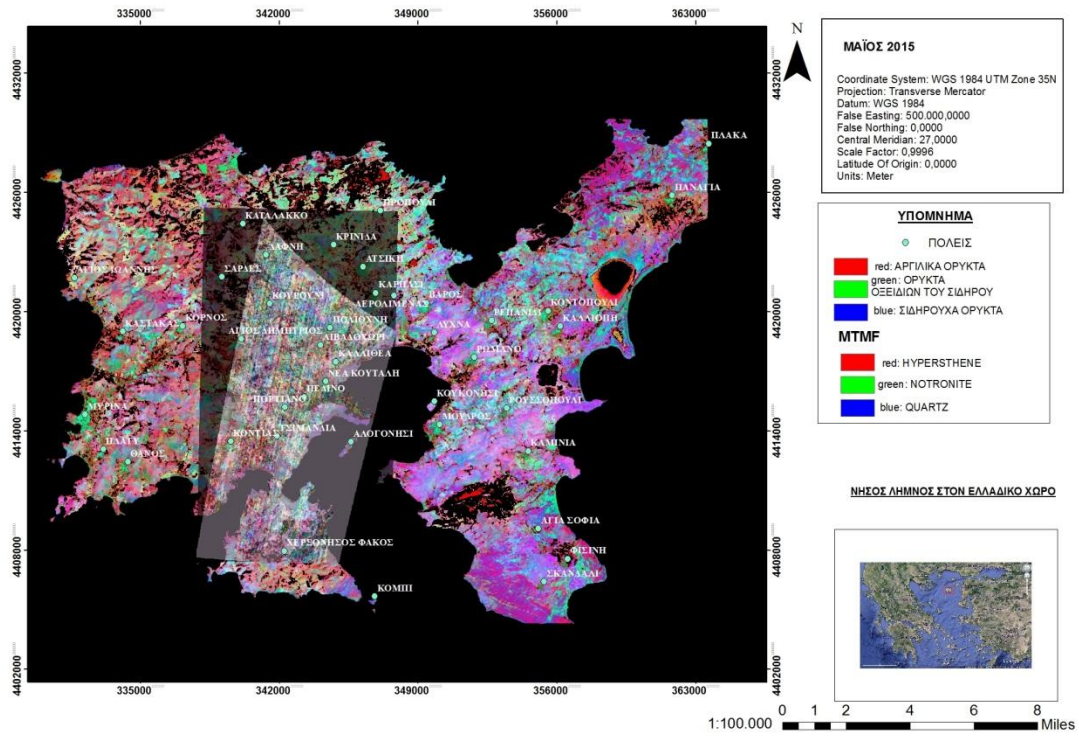
Για την εφαρμογή του MTMF πρέπει να έχει προηγηθεί ο μετασχηματισμός ελαχιστοποίησης του θορύβου (MNF) ώστε η διασπορά του θορύβου να είναι ίση με τη μονάδα (Boardman, 1998).

Το αποτέλεσμα του MTMF είναι δύο σύνολα εικόνων για κάθε επιλεγμένο καθαρό φασματικό στόχο (endmember):

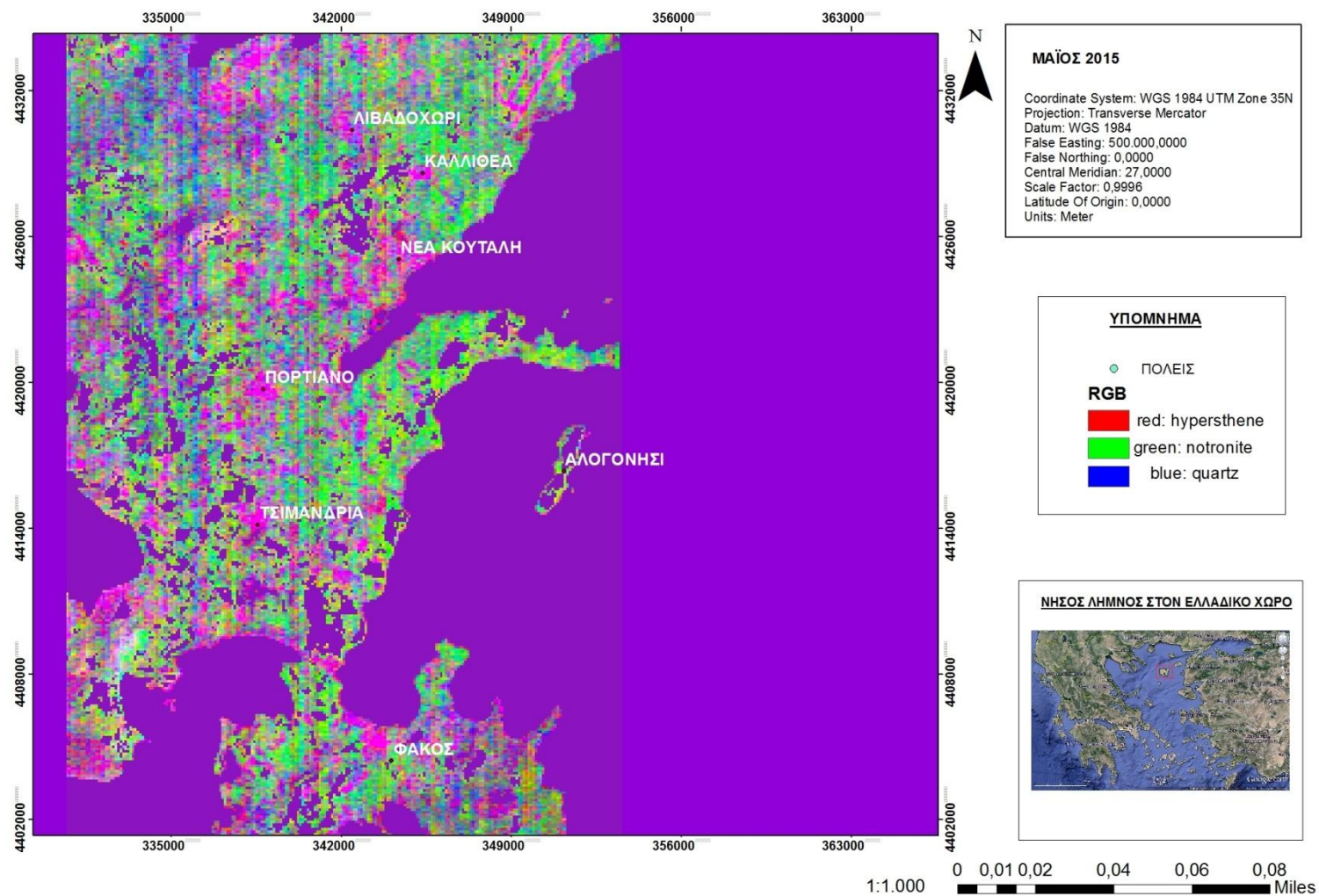
1. το αποτέλεσμα του MF (Matched Filter image), η οποία παρουσιάζεται συνήθως ως εικόνα με τόνους του γκρι με τιμές από 0 έως 1 και δείχνει το σχετικό βαθμό αντιστοιχίας με το φάσμα αναφοράς (όπου 1 είναι η τέλεια αντιστοιχία) και
2. την εικόνα μη εφικτής μείξης (Infeasibility image), η οποία βασίζεται στα στατιστικά της απεικόνισης και του θορύβου και δείχνει κατά πόσο το αποτέλεσμα του MF είναι αποτέλεσμα μίας εφικτής μείξης του καθαρού φασματικού στόχου με το υπόβαθρο.
3. Εικονοστοιχεία με υψηλές τιμές μη εφικτής μείξης (infeasibilities) χαρακτηρίζονται ως λανθασμένες ενδείξεις (false positives) ανεξάρτητα από το πόσο υψηλή τιμή είχε δώσει το MF. Έτσι σύμφωνα με τη μέθοδο MTMF ένα σωστά ταξινομημένο εικονοστοιχείο παρουσιάζει υψηλές τιμές στο Matched Filter (κοντά στην τιμή 1) και χαμηλές τιμές infeasibility (κοντά στην τιμή 0) (Κολοκούσης Π., 2008).



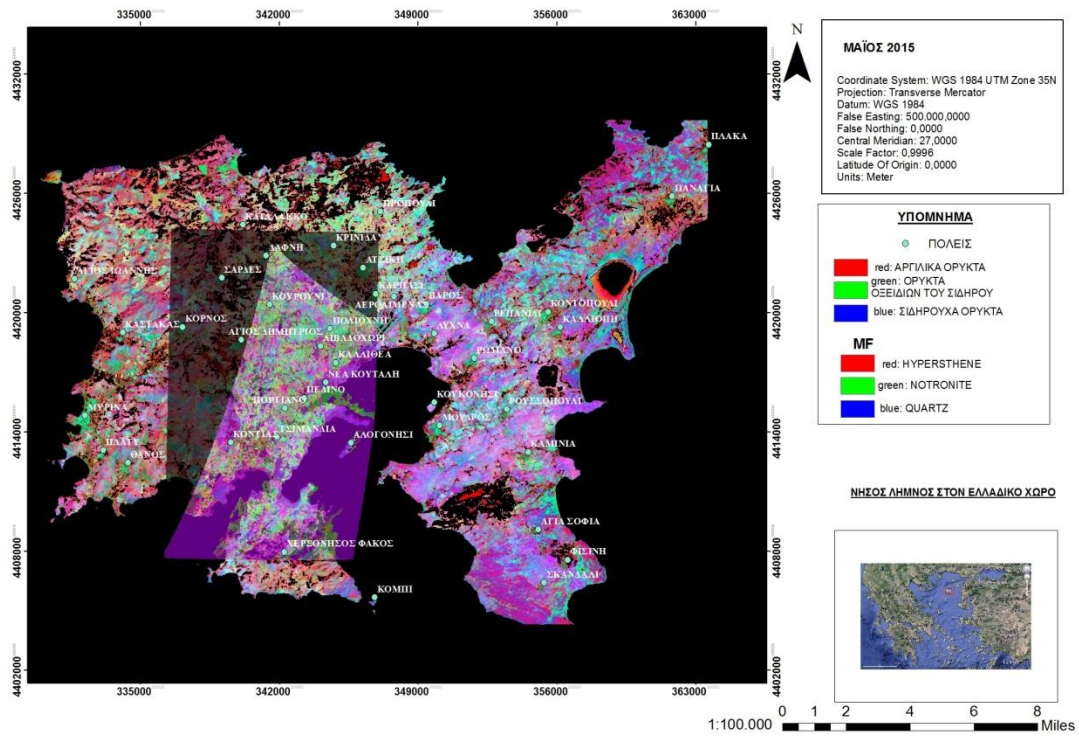
Εικόνα 47 Αποτέλεσμα της τεχνικής MTMF. Διακρίνεται ο θόρυβος από τα σύννεφα πόσο επηρεάζει το αποτέλεσμα.



Εικόνα 48 Αποτέλεσμα γεωμετρικής διόρθωσης της εικόνας που προήλθε από την τεχνική MTMF πάνω στην ψευδέγχρωμη εικόνα του Landsat 8.



Εικόνα 49 Τεχνική ΜΓ. Αισθητός είναι ο θόρυβος στην εικόνα.

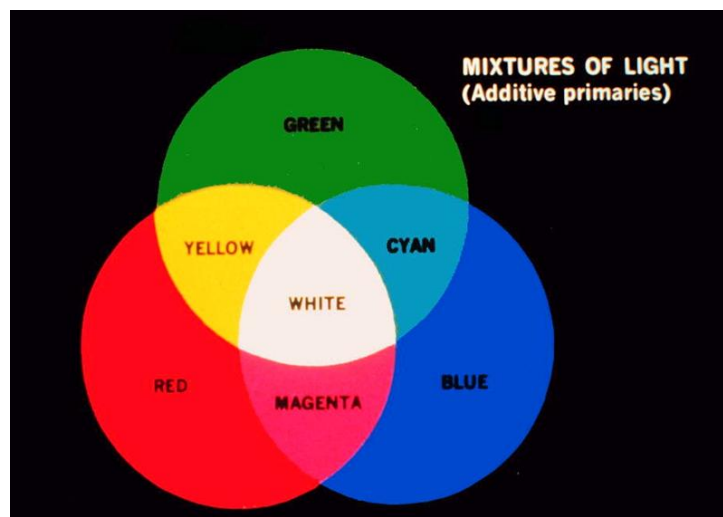


Εικόνα 50 Αποτέλεσμα γεωμετρικής διόρθωσης της εικόνας που προήλθε από την τεχνική MF πάνω στην ψευδέγχρωμη εικόνα του Landsat 8.

5.ΕΡΜΗΝΕΙΑ

5.1 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Γενικά η ερμηνεία των ψευδέγχρωμων εικόνων RGB ακολουθεί την θεωρία των χρωμάτων :



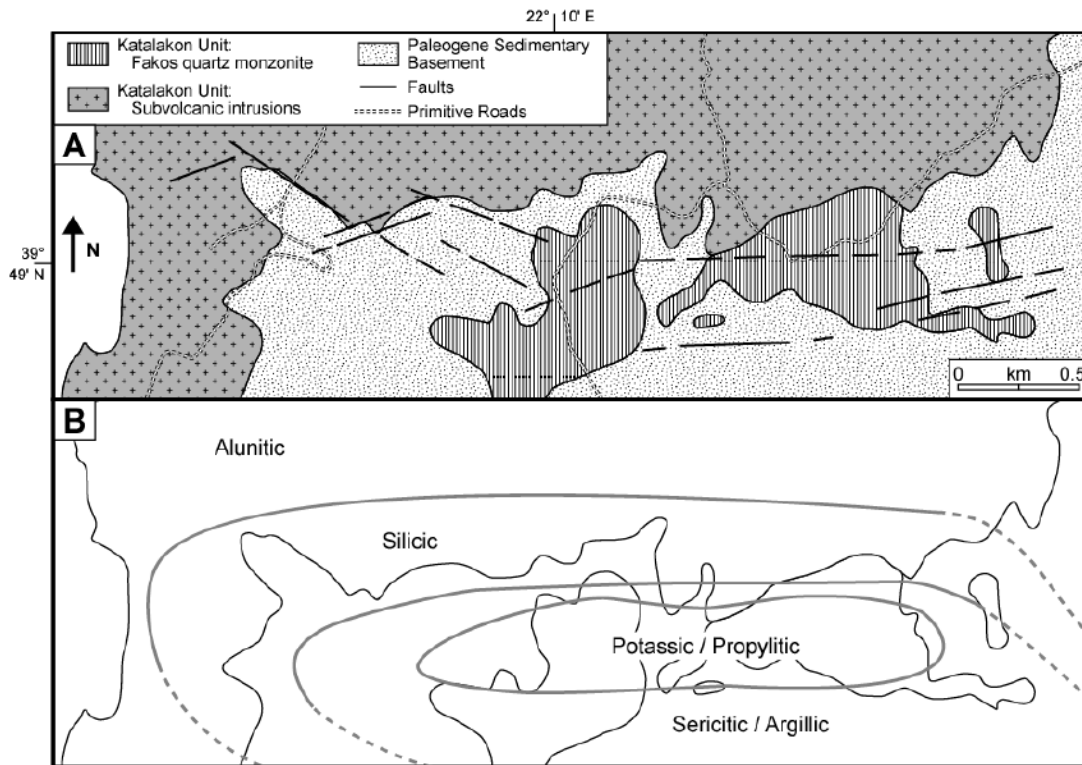
Από την τεχνική λόγων καναλιών που εφαρμόστηκε στην πολυφασματική εικόνα της Λήμνου για την αναγνώριση των ζωνών εξαλλοίωσης προκύπτουν:

- Ο λόγος 6/7 αναδεικνύει τα αργιλικά ορυκτά της υδροθερμικής εξαλλοίωσης (φωτεινά εικονοστοιχεία), ο λόγος 4/2 αναδεικνύει τα ορυκτά των οξειδίων του σιδήρου (φωτεινά εικονοστοιχεία), και ο λόγος 6/5 αναδεικνύει τα σιδηρούχα ορυκτά (φωτεινά εικονοστοιχεία). Έτσι στην ψευδέγχρωμη εικόνα της Λήμνου (εικόνα 17 σελ. 51) όπου έχει γίνει απόκρυψη της βλάστησης τα ορυκτά της υδροθερμικής εξαλλοίωσης εμφανίζονται με κίτρινο-κόκκινο-πράσινο, στο νοτιοδυτικό τμήμα της χερσονήσου Φακού μέχρι και το Κόμπι, επίσης μεταξύ των λόφων Τουρλίδα και Πετρόσπιτου στη χερσόνησο του Φακού παρόλο που έχει γίνει απόκρυψη βλάστησης φαίνεται να υπάρχουν ορυκτά υδροθερμικής εξαλλοίωσης και συνεχίζονται νοτιοδυτικά. Τέλος οι περιοχές με κίτρινο περίγραμμα όπως φαίνεται στον χάρτη (εικόνα 19 σελ 53) αποτελούν τις περιοχές που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για περαιτέρω διερεύνηση καθώς αποτελούν ζώνες υδροθερμικής εξαλλοίωσης.
- Για την ανάδειξη των οξειδίων του σιδήρου επιλέχθηκε να εφαρμοστεί η μέθοδος Crosta στα κανάλια 2&4 και στα 2,4,5,6. Πίνακες (3 & 4 σελ 65 & 66 αντίστοιχα).
- Η τεχνική Crosta PC2 από εφαρμογή της μεθόδου στα κανάλια 2 και 4 τα οξείδια του σιδήρου εμφανίζονται σε σκούρα εικονοστοιχεία. (Εικόνα 30 σελ. 66)
- Η τεχνική Crosta PC4 από εφαρμογή της μεθόδου στα κανάλια 2, 4, 5, και 6 , όπου τα οξείδια του σιδήρου εμφανίζονται σε σκούρα εικονοστοιχεία. (Εικόνα 32 σελ. 68)

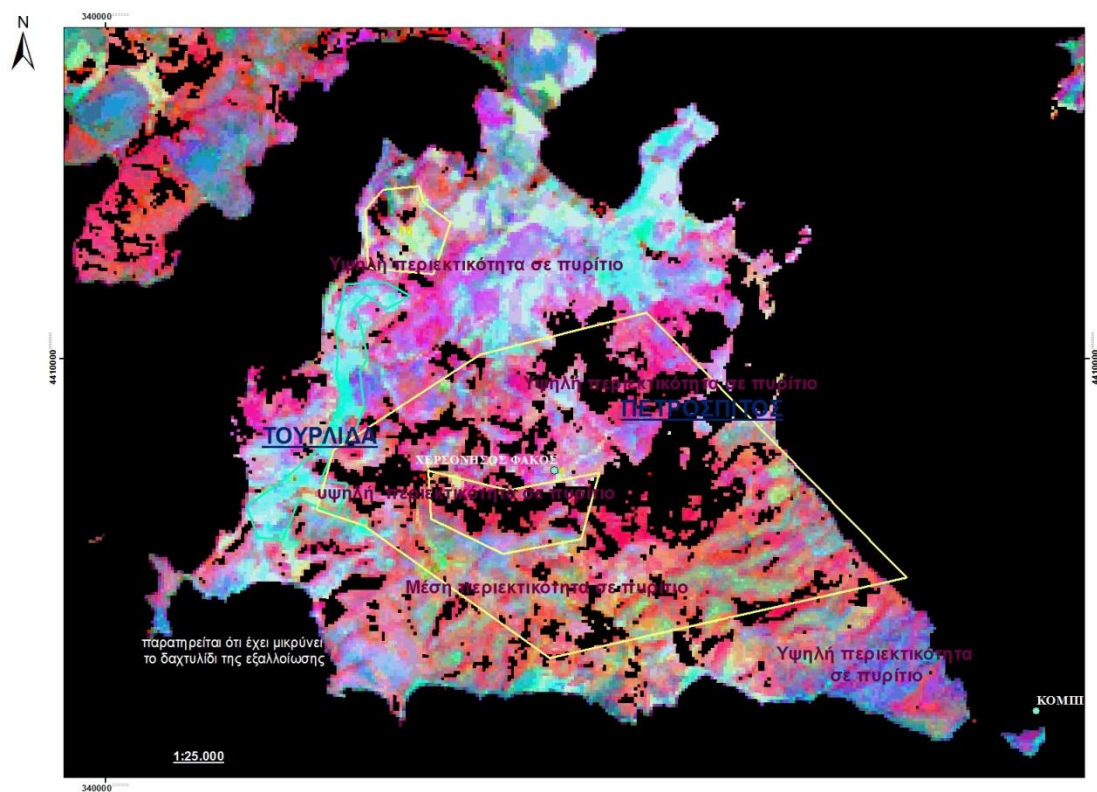
Για την ανάδειξη των αργιλικών

- Η τεχνική Crosta εφαρμόστηκε επίσης για τα αργιλικά ορυκτά αρχικά στα κανάλια 6 και 7. Όπως φαίνεται στον πίνακα (5) ισχυρά αρνητικό στο κανάλι 7 και ισχυρά θετικό στο κανάλι 6 είναι στη 2η εικόνα συνιστώσα PCA2, οπότε τα αργιλικά θα εμφανίζονται φωτεινά. (Εικόνα 33 σελ. 69)
- Παρομοίως εφαρμόστηκε η ανάλυση κύριων συνιστωσών στα κανάλια 7,6,5, και 3. Στην εικόνα συνιστώσα PC2 φαίνονται φωτεινά τα σιδηρούχα (εικ.34) καθώς το κανάλι 6 είναι θετικό και το 5 αρνητικό, ενώ στην εικόνα συνιστώσα PC4 φαίνονται σκούρα τα αργιλικά καθώς το κανάλι 6 είναι αρνητικό και το 7 θετικό. Παρόλα αυτά στην PC4 εκτός από το 6 κανάλι ισχυρά αρνητικό είναι και το κανάλι 4 με αποτέλεσμα να μην ξεκαθαρίζουν τα αργιλικά από τα σιδηρούχα . Στην εικόνα συνιστώσα PC3 φαίνεται καθαρά η ακτογραμμή. Δες πίνακα (6) και εικόνα 35.

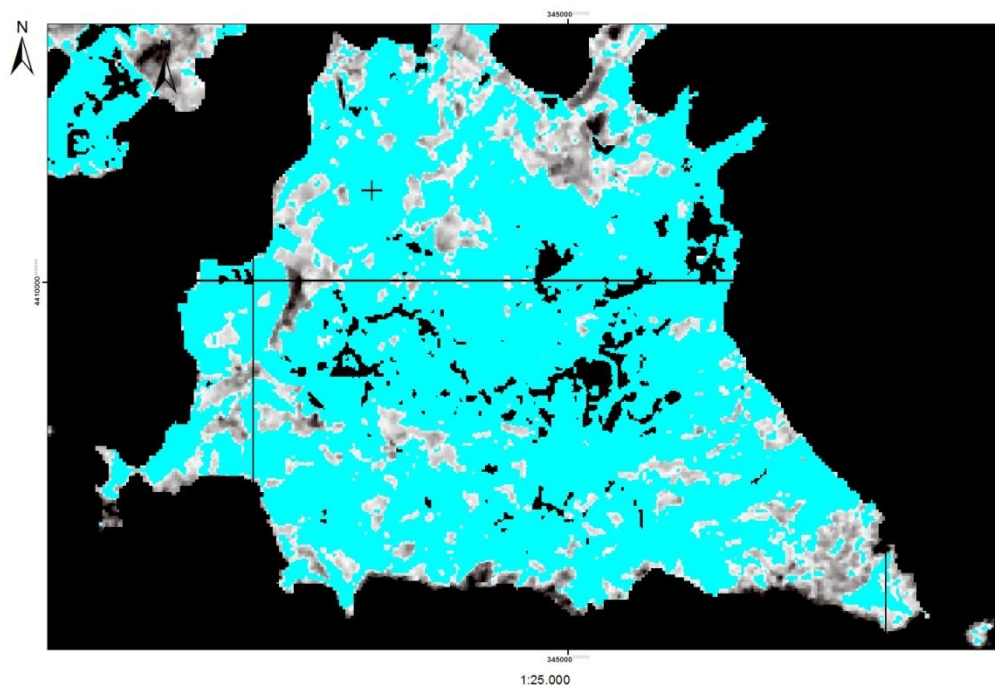
Ανάδειξη πυριτικών: στην ψευδέγχρωμη εικόνα που παρήχθη από τον συνδυασμό καναλιών RGB: TIR1-TIR2-SWIR2 (του δορυφόρου landsat 8 ολι παρατηρούνται οι περιοχές με ανοιχτό κίτρινο- φαιοκίτρινο σαν πλούσιες σε πυριτικά αντίθετα περιοχές φτωχές σε πυρίτιο παρουσιάζονται με σκουρο-πράσινο-μωβ. Αξιολογώντας τα αποτελέσματα του χαρτη (εικόνα 32 σελ. 68) με τον γεωλογικό χάρτη πράγματι αντιστοιχούν σε ίδια σχεδόν συμπεράσματα . Ένα ισχυρό παράδειγμα αποτελεί η περιοχή μεταξύ Ρουσσοπούλι και Καμίνια όπου μέσα στους τόφους βρίσκονται πυριτωμένα ξύλα.(Βλ. εικόνα 20 σελ. 54)



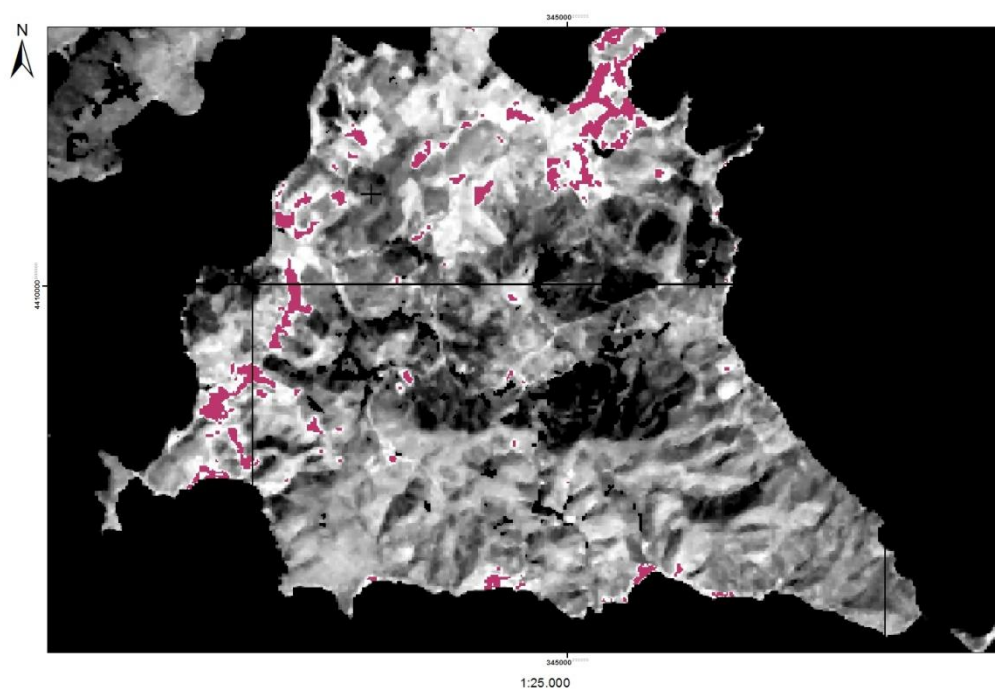
Εικόνα 51 Όρια ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης βάση Fornadel Andrew (2010)



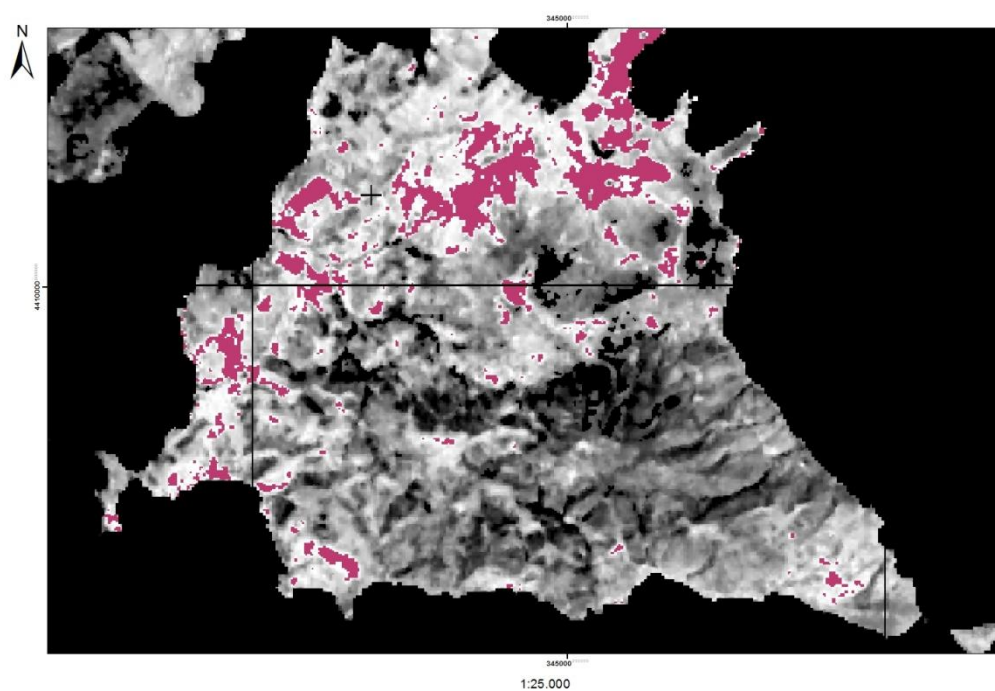
Εικόνα 52 Ζώνη εξαλλοίωσης στη χερσόνησο του Φακού



Εικόνα 55 Α Density Slice κυανό χρώμα είναι τα αργιλικά ορυκτά της υδροθερμικής εξαλλοίωσης στη χερσόνησο του Φακού.



Εικόνα 55 Β Density Slice maroon χρώμα είναι τα οξείδια του σιδήρου στη χερσόνησο του Φακού.



Εικόνα 55 Β Density Slice maroon χρώμα είναι τα ορυκτά του σιδήρου στη χερσόνησο του Φακού .

5.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Με τη μέθοδο της κλεψύδρας οι τελικές εικόνες δείχνουν την ύπαρξη ορισμένων ορυκτών σε κάποιες θέσεις στην υπό μελέτη περιοχή. Η επιλογή των τελικών φασματικών στόχων (endmembers) έγινε με την βοήθεια της φασματικής βιβλιοθήκης της Αμερικάνικης Γεωλογικής υπηρεσίας (USGS). Έτσι αφού εισήχθησαν οι φασματικές υπογραφές των υπόμελετη ορυκτών έγινε σύγκριση με τον φασματικό αναλυτή (spectral analyst) και φάνηκε να διακρίνονται τα ορυκτά που βρέθηκαν τελικώς όπου και χαρτογραφήθηκαν με την μέθοδο χαρτογράφησης φασματικής γωνίας (SAM), matched filter (MF) ΚΑΙ mixture-tuned matched filtering (MTMF)

την. (Εικ. 44 σελ 90 έως εικ. 52 σελ. 101)

Οι λόγοι καναλιών στην υπερφασματική εικόνα που προέκυψαν είναι οι 36/55, 45/36, και 137/84 (Vincent R. K., Dr. Beck R. A. 2005) οπότε και παρήχθη η ψευδέγχρωμη εικόνα RGB : 45/36-36/55-137/84. Οι λόγοι αυτών ξεχωρίζουν τα εξής ορυκτά όπως φαίνονται στον πίνακα 5 σελ 106:

Κόκκινο (περιλαμβάνονται όχι μόνο σιδηρούχα αλλά και αργιλικά) όπως αλμανδίνης, ανδαλουσίτης, βιοτίτης, γροσσουλάριος, επίδοτο, καολινίτης-σμεκτίτης, κεροστίλβη, νοτρονίτης

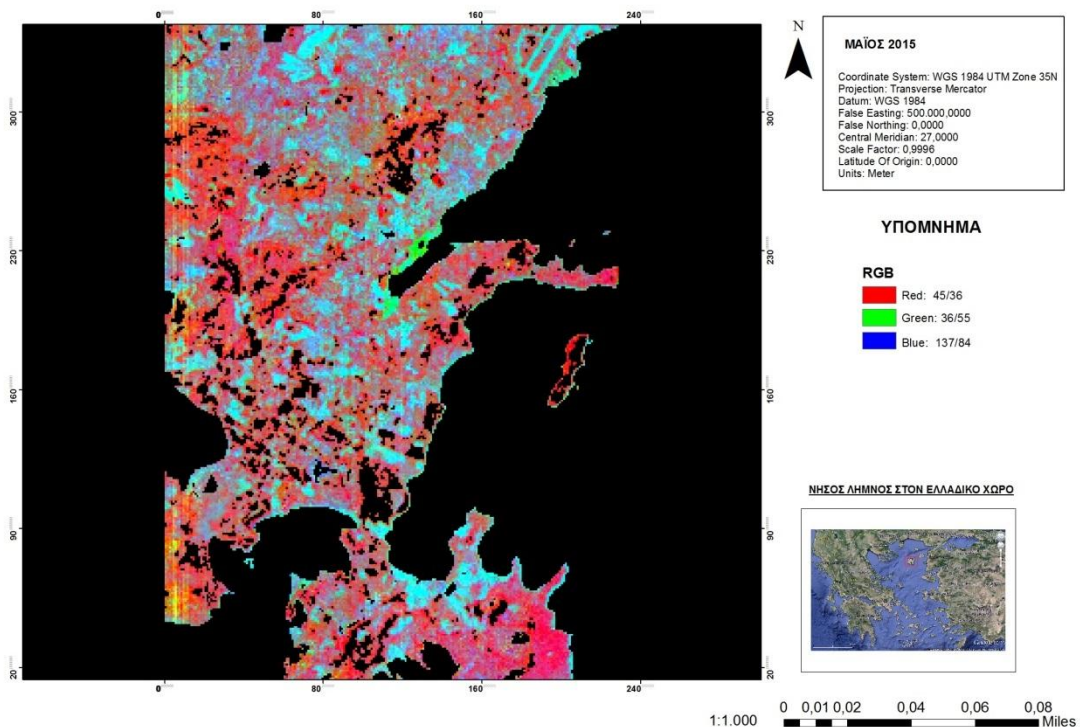
Κίτρινο: απατίτης, γκοεθίτης

Πράσινο: μαγνητίτης, διοψίδιος

Κυανό: αιματίτης, ακτινόλιθος, ανθοφυλλίτης, ιαροσίτης, λεπιδόλιθος, υπερσθενής

Μπλε: πυρίτης

Ματζεντα: χαλκοπυρίτης, χλωρίτης, χρυσόκολα, ολιβίνης, αντιγορίτης, αννίτης, αμφίβολος



Εικόνα 53 Λόγοι καναλιών R: 45/36 G: 36/55 B: 137/84

ΟΡΥΚΤΑ	G	R	B	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ
	36/55	45/36	137/84	
αιματίτης	υψηλό	χαμηλό	υψηλό	ΚΥΑΝΟ
ακτινόλιθος	υψηλό	χαμηλό	υψηλό	ΚΥΑΝΟ
αλμανδίνης	χαμηλό	υψηλό	χαμηλό	ΚΟΚΚΙΝΟ
αμφίβολος	χαμηλό	υψηλό	υψηλό	MATZENTA
ανδαλουσίτης	χαμηλό	υψηλό	-	ΚΟΚΚΙΝΟ
ανθοφυλλίτης	υψηλό	χαμηλό	υψηλό	ΚΥΑΝΟ
ανίτης	χαμηλό	υψηλό	υψηλό	MATZENTA
αντιγορίτης	χαμηλό	υψηλό	υψηλό	MATZENTA
απατίτης	χαμηλό	υψηλό	υψηλό	ΚΙΤΡΙΝΟ
αυγίτης	υψηλό ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ	υψηλό	υψηλό	
βιοτίτης	χαμηλό	υψηλό	-	ΚΟΚΚΙΝΟ
γκοεθίτης	υψηλό	υψηλό		ΚΙΤΡΙΝΟ
γροσσουλάριος	χαμηλό	υψηλό	χαμηλό	ΚΟΚΚΙΝΟ
διοψίδιος	υψηλό	χαμηλό		ΠΡΑΣΙΝΟ
επίδοτο	χαμηλό	υψηλό	χαμηλό	ΚΟΚΚΙΝΟ
ιαροσίτης	υψηλό	χαμηλό	υψηλό	ΚΥΑΝΟ
καολίνης σμεκτίτης	χαμηλό	υψηλό	χαμηλό	ΚΟΚΚΙΝΟ
κεροσιλίβη	χαμηλό	υψηλό	υψηλό	ΚΟΚΚΙΝΟ
κουμινγκτονίτης	υψηλό	χαμηλό	υψηλό	ΚΥΑΝΟ
λεπιδόλιθος	υψηλό	χαμηλό	υψηλό	ΚΥΑΝΟ
μαγνητίτης	υψηλό	χαμηλό		ΠΡΑΣΙΝΟ
μιζονιτη	χαμηλό	υψηλό		ΚΟΚΚΙΝΟ
μοναζίτη	υψηλό	χαμηλό	υψηλό	ΚΥΑΝΟ
νοτρονίτης		υψηλό	χαμηλό	ΚΟΚΚΙΝΟ
ολιβίνης	υψηλό	χαμηλό	υψηλό	MATZENTA
πυριτης		χαμηλό	υψηλό	ΜΠΛΕ
υπερσθενής	υψηλό	χαμηλό	υψηλό	ΚΥΑΝΟ
χαλκοπυρίτης	χαμηλό	υψηλό	υψηλό	MATZENTA
χλωρίτης	χαμηλό	υψηλό	υψηλό	MATZENTA
χρυσόκολλα	χαμηλό	υψηλό	υψηλό	MATZENTA

Εικόνα 54

Πίνακας 5 χρωματική σύνθεση λόγων καναλιών όπως διακρίνονται στην εικόνα 5

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Τα αποτελέσματα των εικόνων που αφορούν την επεξεργασία της πολυφασματικής εικόνας του δορυφόρου Landsat 8 Oli είναι θετικά σε σύγκριση με τον γεωλογικό χάρτη αλλά και τις μελέτες των Voudouris, P., & Skarpelis, N., (1998) και Fornadel Andrew (2010). Ιδιαίτερος όσον αφορά τη χερσόνησο του Φακού πιθανώς διακρίνεται το δαχτυλίδι της υδροθερμικής εξαλλοίωσης στην ψευδέγχρωμη εικόνα RGB : αργιλικά-οξειδία του σιδήρου-σιδηρούχα βλ. εικόνα17 σελ 51 , εικόνα 54 σελ 104, εικόνα 55 σελ. 105. Συγκρίνοντας τις δυο εικόνες του Fornadel Andrew (2010) και την ψευδέγχρωμη παρατηρείται μεγαλύτερη η έκταση των ζωνών στην ψευδέγχρωμη εικόνα 55 σελ. 105. Αξιοσημείωτο είναι η ευκρίνεια των οξειδίων του σιδήρου στα δυτικά του Φακού που περιβάλλουν την προχωρημένη αργιλική ζώνη εξαλλοίωσης.
2. Ο λιθολογικός χάρτης της Λήμνου προέκυψε από τον συνδιασμό RGB 5-7-2 (εικόνα 3 σελ 26). Οι αποχρώσεις του κόκκινου αντιστοιχούν σε φυτική κάλυψη ενώ τα ανοιχτόχρωμα σε γυμνά εδάφη και πετρώματα.
3. Η συγχώνευση δεδομένων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση χωρικής διακριτικής ικανότητας στις επιμέρους εικόνες (15μ). ο δείκτης NDVI που εξήχθη από την εικόνα υψηλής διακριτικής ικανότητας είναι ελάχιστα διαφορετικός σε σχέση με τον δείκτη NDVI που εφαρμόστηκε στην 1^η μέθοδο, με αποτέλεσμα να γίνει απόκρυψη της βλάστησης σε λιγότερες περιοχές. Εν τούτοις η τελική εικόνα δεν αποκλίνει από την αρχική που εφαρμόστηκε ο λόγος καναλιών. Δες χάρτες (εικόνα 23 σελ 58).
4. Όσον αφορά τις γραμμώσεις και τον αντίστοιχο χάρτη γραμμώσεων, επιλέχθηκαν τα τεκτονικά στοιχεία που ξεχωρίζουν περισσότερο. Όπως φαίνεται στον αντίστοιχο χάρτη των τεκτονικών στοιχείων με το ροδοδιάγραμμα (εικ. 38,39 σελ 73 & 74) η διεύθυνση που επικρατεί είναι ΒΑ-ΝΔ, Δ-Α, Β-Ν και λιγότερα τεκτονικά στοιχεία τάσσονται σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.
5. Η ψευδέγχρωμη εικόνα RGB tir1-tir2-swir2 που απεικονίζει την ύπαρξη πυριτικών στο νησί όπου συγκρίνοντας με τον γεωλογικό χάρτη υπάρχει μεγάλη ομοιότητα ως προς τις περιοχές που αναμένεται αυξημένο ποσοστό. (Εικ.20 σελ. 54)
6. Η Τεχνική Ανάλυσης κύριων συνιστωσών για την ανάδειξη συγκεκριμένων ορυκτών φαίνεται να δίνει αξιολογα αποτελέσματα καθώς συνάδουν με τον χάρτη (εικόνα 17 σελ 51) και τον γεωλογικό. (Εικ. 31 έως 37 σελ 67 έως 71).

7. Η τεχνική συγκάλυψης βλάστησης (suppress vegetation)

- Η εφαρμογή της τεχνικής συγχώνευσης δεδομένων εξάγει αποτελέσματα παρόμοια με τον λόγο καναλιών που εφαρμόστηκε με την 1^η τεχνική με τη διαφορά ότι οι περιοχές που αποκρύπτονταν λόγω ύπαρξης βλάστησης σε αυτή την περίπτωση φαίνονται ως αναμενόμενη συνέχεια. Για παράδειγμα στη χερσόνησο του Φακού στο όρος Πετρόσπιτος στον χάρτη (εικόνα 17 σελ 51) φαίνεται να υπάρχει ενδιαφέρον κρίνοντας από τις ενδείξεις των γειτονικών περιοχών αλλά και κάποιων εικονοστοιχείων στην κορυφή του που δείχνουν ύπαρξη αργιλικών ορυκτών. Γεωλογικά αναμένεται η περιοχή να έχει ενδιαφέρον. Έτσι στον χάρτη (εικόνα 26,28) που δεν έγινε απόκρυψη βλάστησης αλλά συγκάλυψη, η περιοχή δείχνει ότι υπάρχει ενδιαφέρον καθώς είναι κίτρινη και κόκκινη στη 2^η περίπτωση που έγινε και συγχώνευση δεδομένων χαρτης (εικόνα 34,35 σελ. 70). Εν τούτοις η συγκάλυψη βλάστηση δεν αποτελεί επιστημονικά έγκυρη μέθοδος για ανάλυση εικόνας.

Τέλος ο γεωλογικός χάρτης του νησιού χρησιμεύει για τη γενικότερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ωστόσο αδυνατεί να πληροφορήσει τον χρήστη για πιο εξειδικευμένη πληροφορία όπως για παράδειγμα την ύπαρξη των ορυκτών υδροθερμικής εξαλλοίωσης.

Όσον αφορά τα συμπεράσματα από την επεξεργασία των **υπερφασματικών δεδομένων**:

1. Η ποιοτική αξιολόγηση της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας πραγματοποιήθηκε με σύγκριση με εικόνα από το google earth. Σε γενικές γραμμές η ποιότητα της ληφθείσας εικόνας του απεικονιστή Hyperion δεν είναι καλή, καθώς παρουσιάζονται πολλά σύννεφα στην αρχική εικόνα. Το παραπάνω γεγονός έχει αρνητικό αποτέλεσμα καθώς τα εναπομείνοντα κανάλια είναι λίγα και χαμηλής ποιότητας.
2. Η μέθοδος της «κλεψύδρας» (mnf εικόνα 44,45-ppr-ndvisualizer-endmembers-sam εικόνα 46,47,48 (σελ 94,95,96), mtmf εικόνα 49 & 50(σελ 98 & 99), mf εικόνα 51 & 52 σελ. 100 & 101) είναι αρκετά εύχρηστη και τα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα. Φυσικά αναμένονταν καλύτερα αποτελέσματα καθώς τα ορυκτά που εντοπίστηκαν είναι μόνο έξι και έπειτα από πολλές προσπάθειες, υπερσθενής,νοτρονίτης και χαλαζίας, βιοτίτης, ανορθίτης, και αυγίτης όπως φαίνονται και στους χάρτες που ακολουθούν . ο εντοπισμός των σιδηρούχων ορυκτών από τα αργιλικά γίνεται πιο εύκολα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα αργιλικά ορυκτά ξεχωρίζουν μεταξύ τους σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (αν και τα κανάλια που επιλέχθηκαν σε αυτή τη μέθοδο είναι από τα 1086.98 μm) . Σημειωτέον ότι η επιλεχθείσα περιοχή αποτελείται κυρίως από ορυκτά του σιδήρου, σύμφωνα με την υπερφασματική και πολυφασματική εικόνα και τον γεωλογικό χάρτη.
3. Δεν μπορεί ο λόγος καναλιών να αποτελέσει κριτήριο για τον εντοπισμό των παραπάνω ορυκτών, οπότε δεν παράγει αξιόλογα αποτελέσματα καθώς με κόκκινο εμφανίζονται περισσότερα από μια κατηγορία ορυκτών π.χ. σιδηρούχα και αργιλικά.

7.ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η νήσος Λήμνος γεωλογικά έχει αρκετό ενδιαφέρον και είναι ένα νησί που χρήζει περαιτέρω έρευνας όχι μόνο επιφανειακής αλλά και υπεδαφικής (γεωτρήσεις).

Η πολυφασματική εικόνα έδωσε μια εικόνα για την πιθανή ύπαρξη των ορυκτών υδροθερμικής εξαλλοίωσης, παρόλα αυτά ένας υπερφασματικός αισθητήρας θα μπορούσε να δείξει με λεπτομέρεια τα ορυκτά αυτά.

- Η ύπαρξη των σύννεφων στην εικόνα του υπερφασματικού αισθητήρα δημιούργησε θόρυβο με αποτέλεσμα πολλά κανάλια να αφαιρεθούν έτσι δεν ήταν δυνατός ο καλύτερος εντοπισμός τόσο των πυριτικών όσο και των αργιλικών ορυκτών. Οπότε θα μπορούσε μια ποιοτικότερη εικόνα ενός υπερφασματικού δορυφόρου να εξάγει πολύ καλύτερα αποτελέσματα.
- Θα μπορούσε να γίνει ένας χάρτης ταξινόμησης (classification) των ορυκτών υδροθερμικής εξαλλοίωσης στην πολυφασματική εικόνα.
- Δεν έγινε μεγάλη αξιοποίηση των ΣΓΠ, για παράδειγμα θα μπορούσε να δοθεί η ακριβής έκταση των περιοχών που χρήζουν ενδιαφέρον.
- Η συγχώνευση δεδομένων της εικόνας του landsat 8 με εικόνα ρανταρ θα είχε ως αποτέλεσμα καλύτερη ανάδειξη του αναγλύφου (αύξηση χωρικής διακριτικής ικανότητας) επομένως και της τεκτονικής.
- Η συγχώνευση δεδομένων της εικόνας landsat 8 με μια εικόνα υπερφασματικών δεδομένων θα αύξανε την φασματική ικανότητα. Το αποτέλεσμα θα ήταν η διάκριση περισσότερων ορυκτών και πετρωμάτων.
- Ένα ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου θα έδινε μια πιο ρεαλιστική εικόνα της νήσου Λήμνου και θα βοηθούσε στην καλύτερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Οι παραπάνω μέθοδοι είναι χρήσιμοι σε όποια ανάδειξη των ορυκτών υδροθερμικών εξαλλοιώσεων στον ελλαδικό χώρο, και θα μπορούσε να έχει εφαρμογή ακόμη και στη μεταλλευτική για τον εντοπισμό των ορυκτών που χρήζουν ενδιαφέρον αλλά και στην αρχαιολογία. Για παράδειγμα στην περιοχή της Όρθρυς (δες Χάρτες Παραρτήματος) όπου υπάρχουν εξαλλοιωμένοι οφιόλιθοι μπορούν να εντοπιστούν ορυκτά εξαλλοίωσης (εικόνα 67 σελ 116) (χρησιμότητα στη μεταλλευτική) και με τον αισθητήρα Hyperion βρέθηκε, πιθανώς, κασσιτερίτης ο οποίος χρησίμευε στην αρχαιότητα στην ίδια περιοχή (εικόνες 67 σελ. 120).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δούρος Κ. (2008) Υπερφασματική ανάλυση δορυφορικών εικόνων για τη μελέτη, ποιοτικά και ποσοτικά, φυτικών παραμέτρων με τη χρήση GIS. Διδακτορική διατριβή, Θεσ/κη.

Κίλιας Στ. Μέθοδοι έρευνας και αξιολόγησης ορυκτών πρώτων υλών. Πανεπιστήμιο Αθηνών τμήμα Γεωλογίας τομέας οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας.

Κολοκούσης Πολ. Θ. (2008) Ανάπτυξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Υπερφασματικών και Θερμικών Ψηφιακών Τηλεπισκοπικών δεκτών για την Ανίχνευση Παρακτίων και Υποθαλασσιών Πηγών Νερού. Διδακτορική διατριβή , Αθήνα ΕΜΠ. (σελ. 61-68)

Μιγκίρος Μ., Παυλόπουλος Α. , Παρχαρίδης Ι. , Γατσής Ι. , Ψωμιάδης Ε. (2003) Τηλεπισκόπηση Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες. Εργαστήριο Ορυκτολογίας – Γεωλογίας Τομέας Γεωλογικών Επιστήμων & Ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος Γενικό τμήμα Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Σκαρπέλης Ν. (2002) Εισαγωγή στην Κοιτασματολογία. Πανεπιστήμιο Αθηνών τμήμα Γεωλογίας τομέας οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας (σελ 70).

Ahmed S.O. Ali , Amin Beiranvand Pour (2014) Lithological mapping and hydrothermal alteration using Landsat 8 data: a case study in ariab mining district, red sea hills, Sudan. International Journal of Basic and Applied Sciences pg.199-208

Amin Beiranvand Pour, Mazlan Hashim (2014) Hydrothermal alteration mapping using Landsat-8 data,Sar Cheshmeh copper mining district, SE Iran. Journal of Taibah University for Science

Amin Beiranvand Pour and Mazlan Hashim (2011) The Earth Observing-1 (EO-1) satellite data for geological mapping, southeastern segment of the Central Iranian Volcanic Belt, Iran: International Journal of the Physical Sciences pp. 7638 - 7650, Academic Journals

Bedini Enton (2010) Mineral mapping in the Kap Simpson complex, central East Greenland, using HyMap and ASTER remote sensing data. Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), DenmarkInstitute of Geography and Geology (IGG), Advances in Space research pg. 60-73.

Bradley K. E., Vassilakis Em., Hosa Al., Benjamin P. Weiss (2013): Segmentation of the Hellenides recorded by Pliocene initiation of clockwise block rotation in Central Greece. Earth and Planetary Science Letters pg. 6–19

Fornadel Andrew (2010) Mineralogical, petrological, stable isotope, and fluid inclusion studies of the Palea Kavala reduced intrusion-related and the transitional Fakos porphyry Cu-Mo to epithermal Au-Te ore systems . Graduate Theses and Dissertations. Paper 11798.

Freek D. van der Meer, Harald M.A. van der Werff, Frank J.A. van Ruitenbeek, Chris A. Hecker, Wim H. Bakker, Marleen F. Noomen, Mark van der Meijde, E. John M. Carranza, J. Boudewijn de Smeth, Tsehaie Woldai (2012) Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* pg 112–128.

Golchin Hajibapir, Mohammad Lotfi, Afshar Zia Zarifi, Nima Nezafati¹ (2014) Application of Different Image Processing Techniques on Aster and ETM+ Images for Exploration of Hydrothermal Alteration Associated with Copper Mineralizations Mapping Kefeldan Area (Eastern Azarbaijan Province-Iran). *Open Journal of Geology*, pg 582-597

Hunt Graham R. (1977) Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*, pg 501-513,

Kruse F. and Boardman W. And Huntington J. (2003) Final Report: Evaluation and Geologic Validation of EO-1 Hyperion (NASA Grant NCC5-495). Commonwealth Scientific & Industrial Research Organisation (CSIRO), Division of Exploration and Mining, North Ryde, NSW, Australia.

Le Yu, Alok Porwal, Eun-Jung Holden & Michael Charles Dentith (2011) Suppression of vegetation in multispectral remote sensing images. *International Journal of Remote Sensing*, 32:22,pg 7343-7357

Melfos V.,* and Voudouris P. (2012) Geological, Mineralogical and Geochemical Aspects for Critical and Rare Metals in Greece. *Minerals*, pg 300-317

Michael K. Griffin, Su May Hsu, Hsiao-hua K. Burke, Seth M. Orloff, and Carolyn A. Upham (2005) Examples of EO-1 Hyperion Data Analysis VOLUME 15, NUMBER 2, LINCOLN LABORATORY JOURNAL pg 271-298.

Michael K., Dimitroula M. (2004) Hydrothermal alteration and mineralization of the Petrota epithermal systems (w. Thrace, Greece). *Bulletin of the Geological Society of Greece* vol. XXXVI, 2004 Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki.

Murat Gül & Kemal Gürbüz & Özgür Kalelioğlu (2011) Lithology Discrimination in Foreland Basin with Landsat TM. *J Indian Soc Remote Sens* pg 257–269.

Parcharidis Is., Psomiadis Em., Gartzos E. (1998) Alteration zones detection in Lesvos island, through the application of Landsat 5 TM band ratio images. *Mineral wealth* 112/1999 .

Parcharidis Is., Psomiadis Em., Gartzos E., (2001) Evaluation of remote sensing methods for the detection of hydrothermal alteration zones in milos island (Greece). *Bulletin of geological society of Greece* XXXiv/5,pg 2047-2054, Proceedings of the 9th international Congress , Athens.

Parcharidis Is., Psomiadis Em., Tsintzouras St., (1998) Remote sensing and raster geographic information system Techniques detecting the relation between natural vegetation and lithology – Morphology, bulletin of geological society of Greece xxxii/1,pg 297-305, Proceedings of the 8th international Congress , Patra.

Sabins F. F. (1999) Remote sensing for mineral exploration, Ore Geology Reviews 14. pg157–183.

Samih Al Rawashdeh, Bassam Saleh et Mufeed Hamzah, (2006) The use of Remote Sensing Technology in geological Investigation and mineral Detection in El Azraq-Jordan. Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 358.

Sarajlic, Semir, (2012) Land Cover Change and Mineral Composite Assessment of Tushka Depression, in Egypt, Using Remote Sensing and GIS. Sanford Bederman Research Award. Paper 1.

Shihua Zha, Bernard Guest, Department of Geology, University of Calgary, Larry S. Lane, Geological Survey of Canada Calgary (2014) Analysis of Landsat ETM+ Image Enhancement enhancement for Lithological Classification Improvement in Eagle Plain Area, Northern Yukon.

Tsilavo Raharimahefa , Timothy M. Kusky (2005) Structural and remote sensing studies of the southern Betsimisaraka Suture, Madagascar. Gondwana Research 10 pg 186–197.

Yang K., Huntingon J. F., R.N. Phillips, J.B. Gemmell and R. Fulton (1997) Exploration and mining report 306 R Spectral signatures of hydrothermal alteration in the volcanic rocks at Hellyer, Tasmania, Australian mineral industries research association.

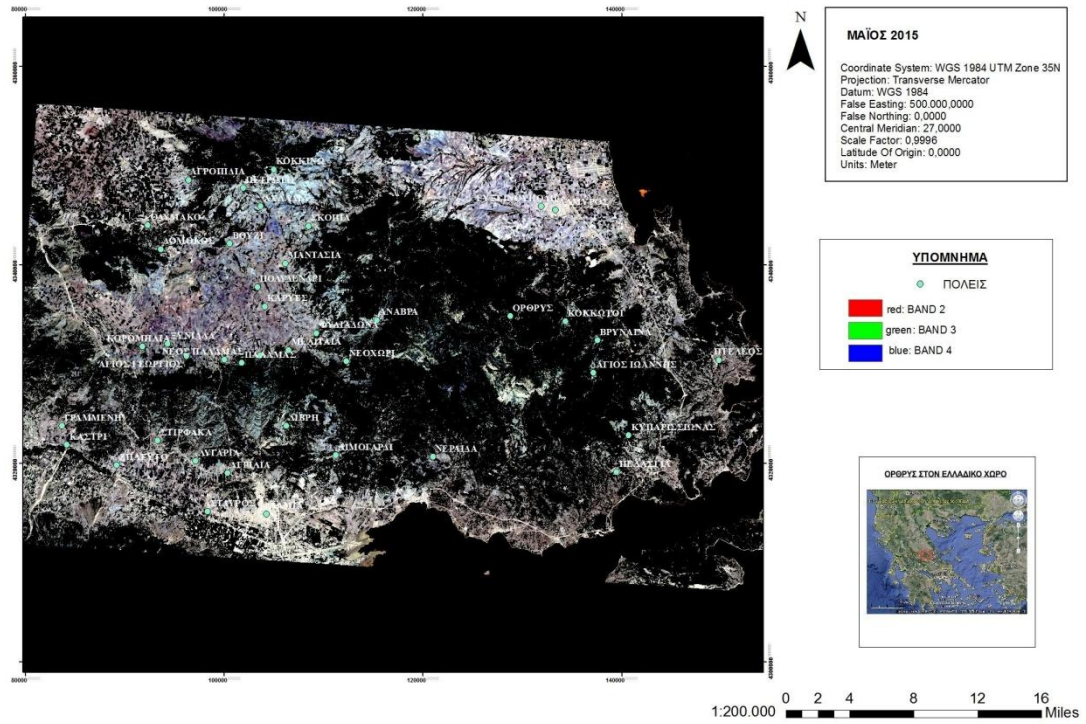
Vincent R. K., Dr. Beck R. A. (2005) Spectral Ratio Imaging with Hyperion Satellite Data for Geological Mapping NASA GRANT NUMBER: NCC 3-1093.

Voudouris, P., and Alfieris, D. (2005) New porphyry – Cu ± Mo occurrences in the north eastern Aegean, Greece: Ore mineralogy and epithermal relationships, In: (Mao, J., and Bierlein, F.P., eds.). Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Springer Verlag, pg 473-476.

Voudouris, P., and Skarpelis, N., (1998) Epithermal gold-silver mineralization at Perama (Thrace) and Lemnos Island. Geological Society of Greece Bulletin, v. 32, pg 125-135.

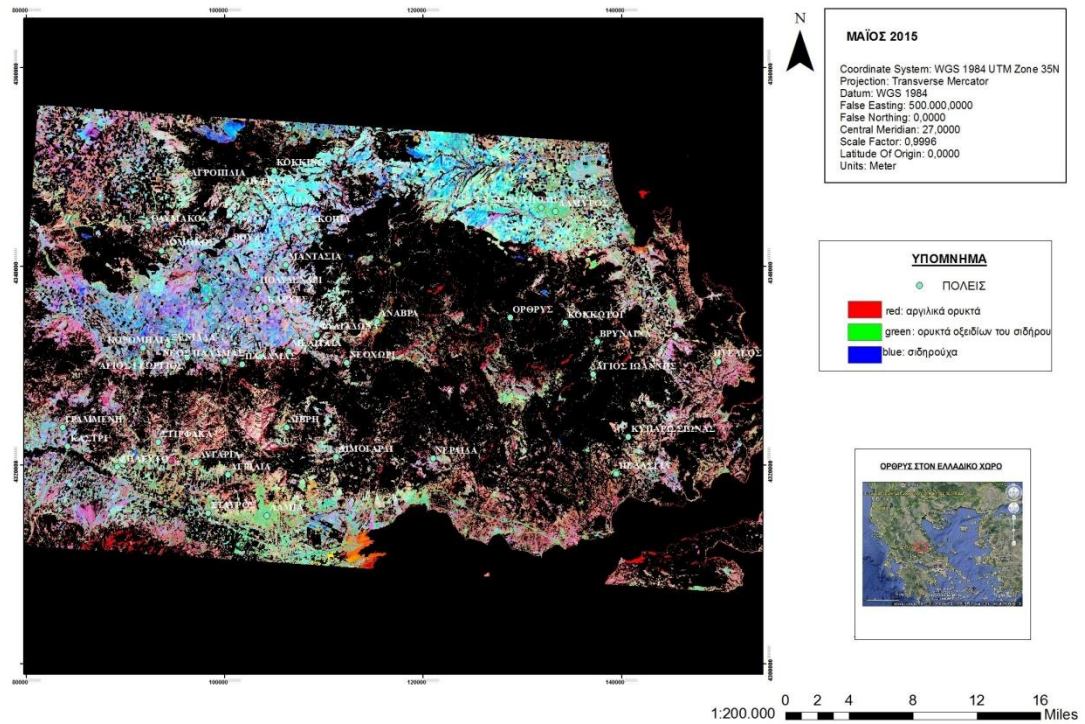
ΧΑΡΤΕΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

ΨΕΥΔΕΓΧΡΩΜΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΟΡΟΥΣ ΟΡΘΡΥΣ

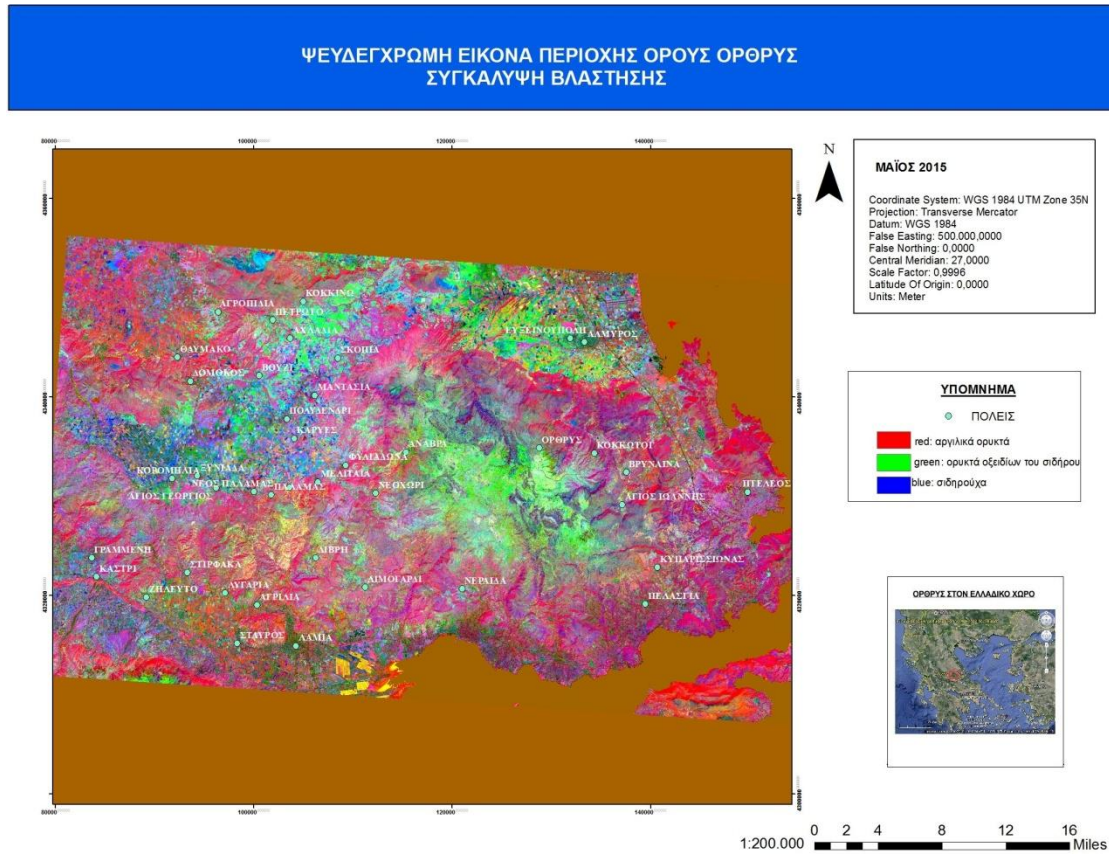


Εικόνα 55 ψευδεγχρωμη εικόνα περιοχής Όρθρυς.

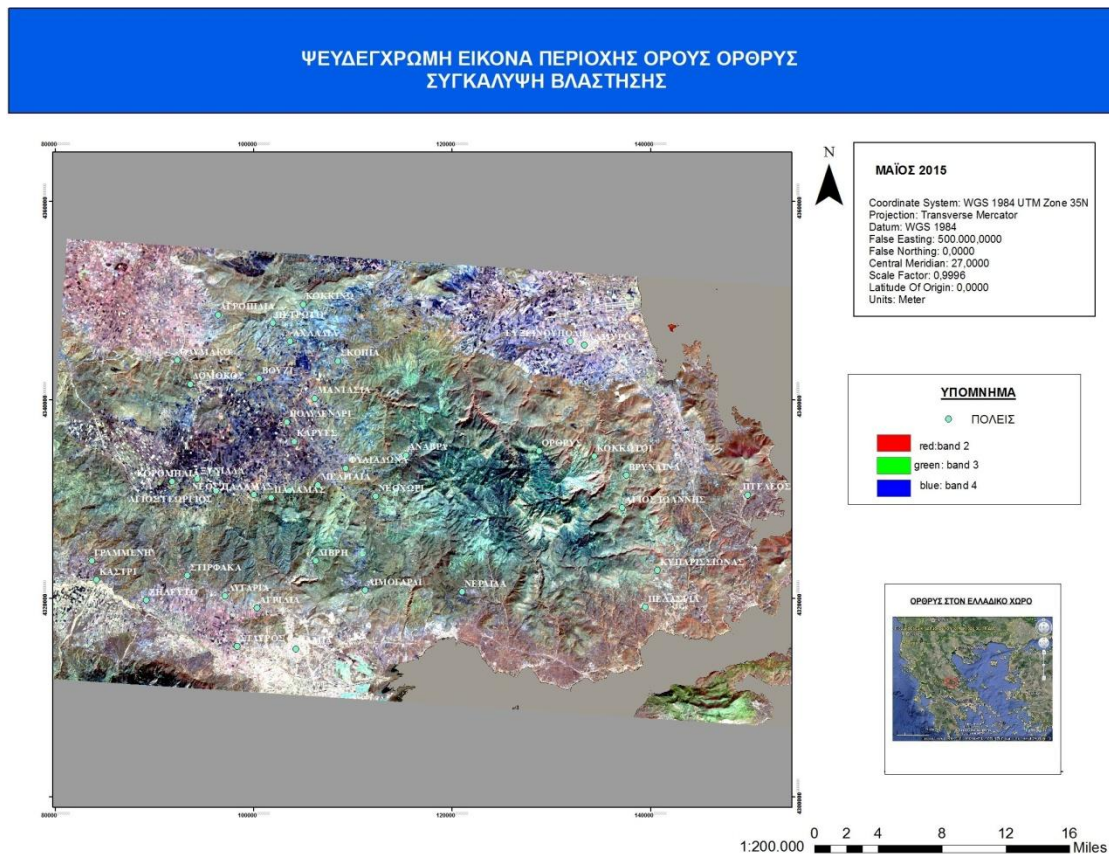
ΨΕΥΔΕΓΧΡΩΜΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΟΡΟΥΣ ΟΡΘΡΥΣ



Εικόνα 56 ψευδεγχρωμη εικονα Όρθρυος με τα ορυκτά των εξαλλοιώσεων . Απόκρυψη βλάστησης.

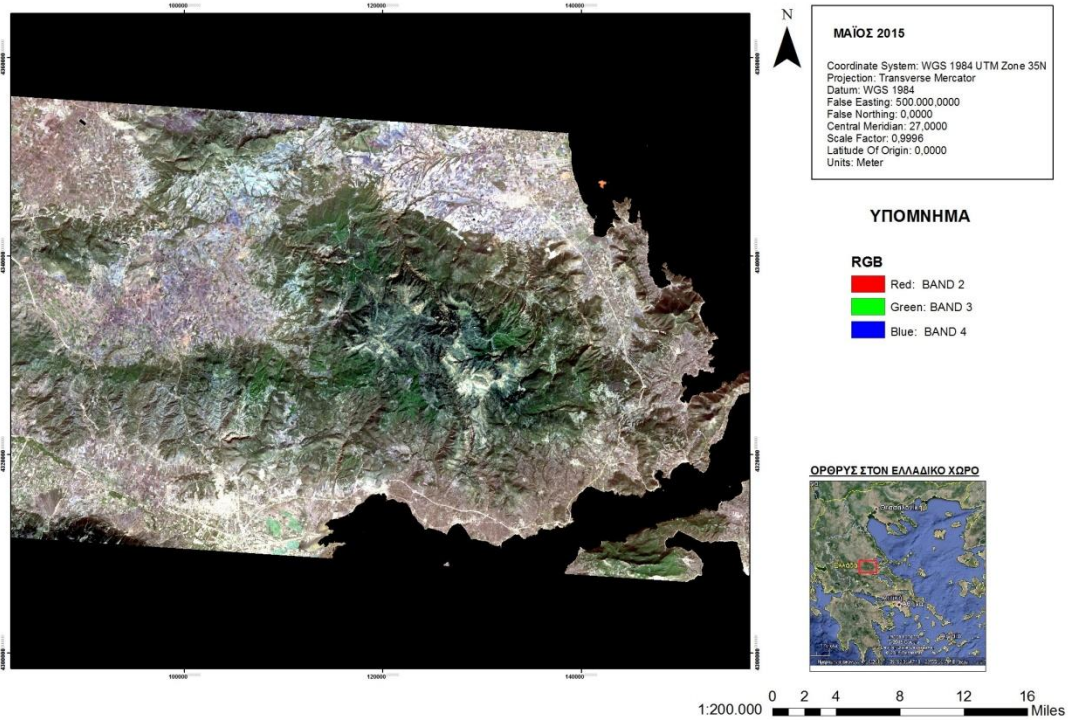


Εικόνα 57 τεχνική συγκάλυψης βλάστησης και λόγοι καναλιών-ορυκτά εξαλλοιώσεων.

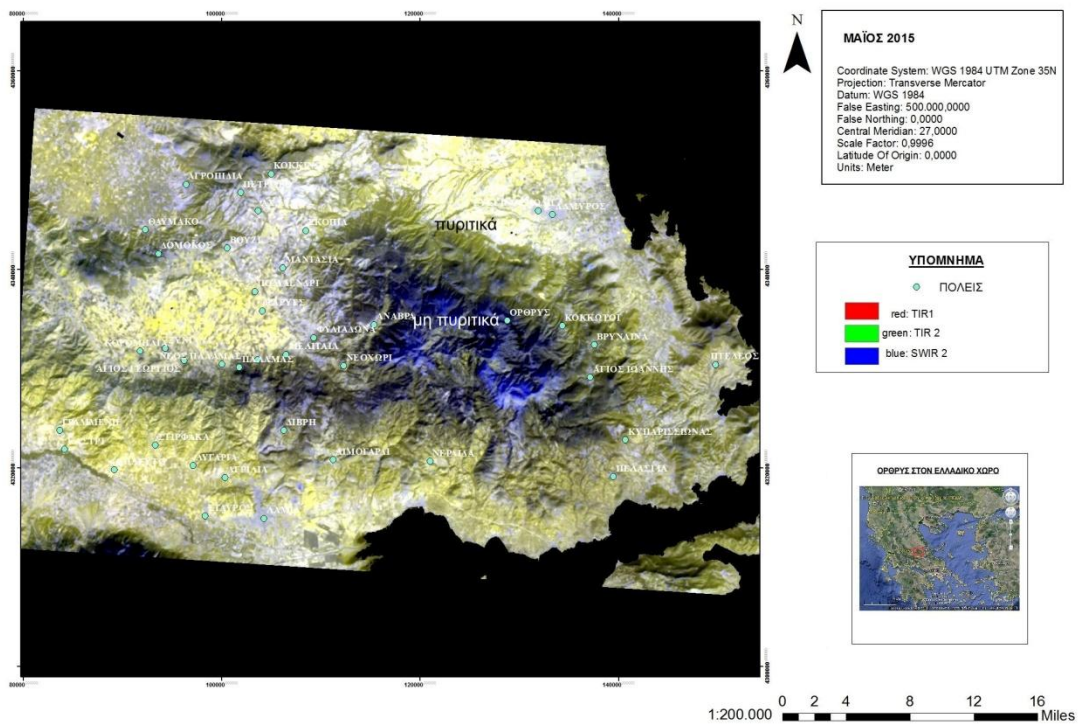


Εικόνα 58 Συγκάλυψη βλάστησης . Μειώθηκε αρκετά η βλάστηση σε σχέση με την αρχική εικόνα.

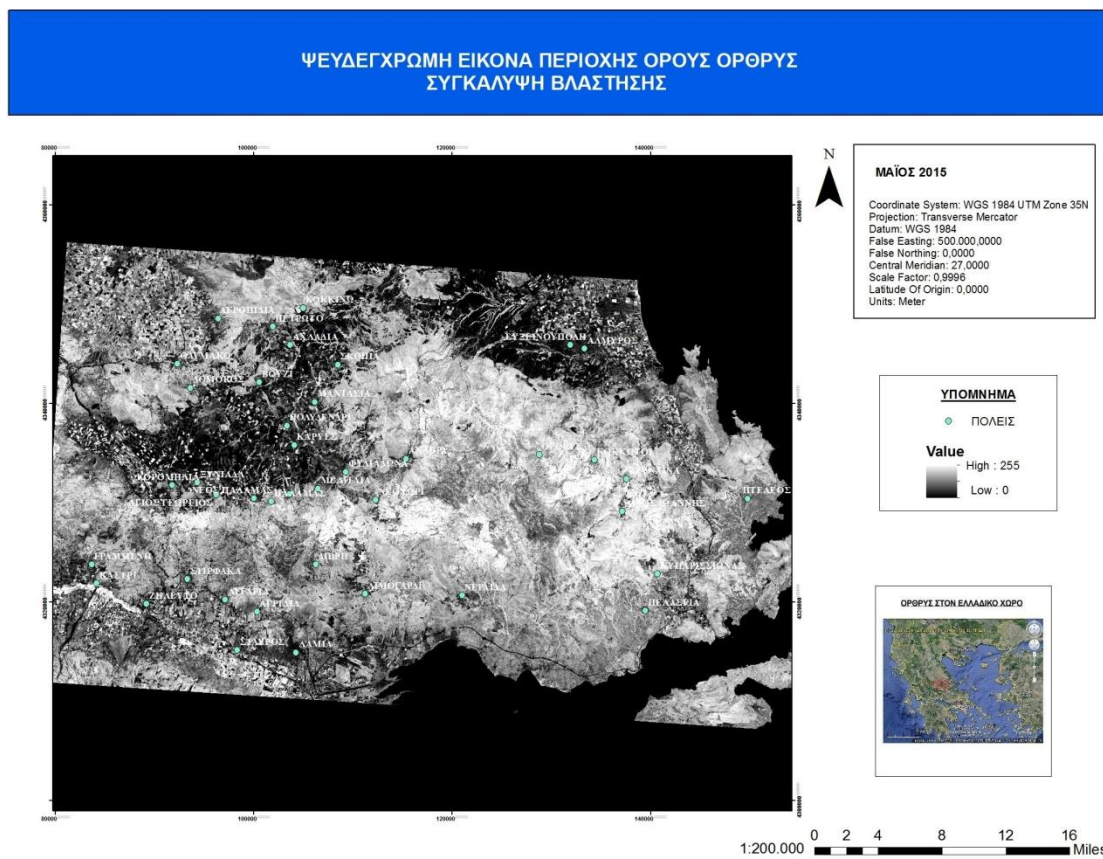
ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΨΕΥΔΕΓΧΡΩΜΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΟΡΘΥΟΣ



Εικόνα 59 Εικόνα προεπεξεργασμένη της περιοχής γύρω από το όρος Όρθυος.

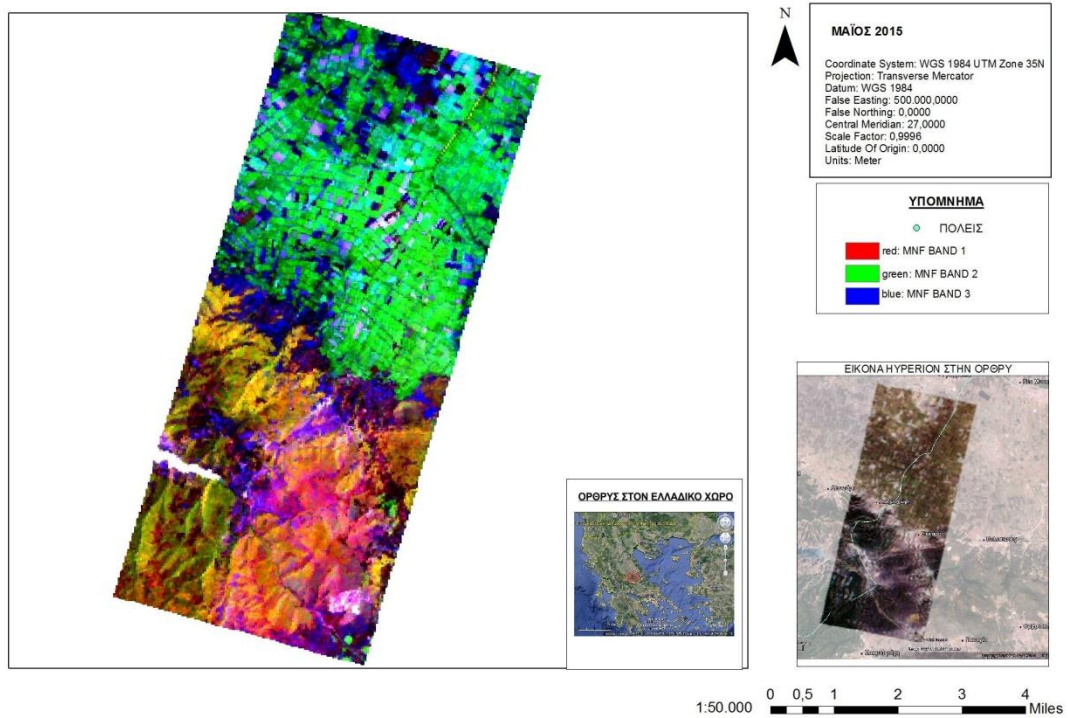


Εικόνα 60 Πυριτικά ορυκτά με ανοιχτό κίτρινο και μπλε ορυκτά φτωχά σε πυρίτιο.



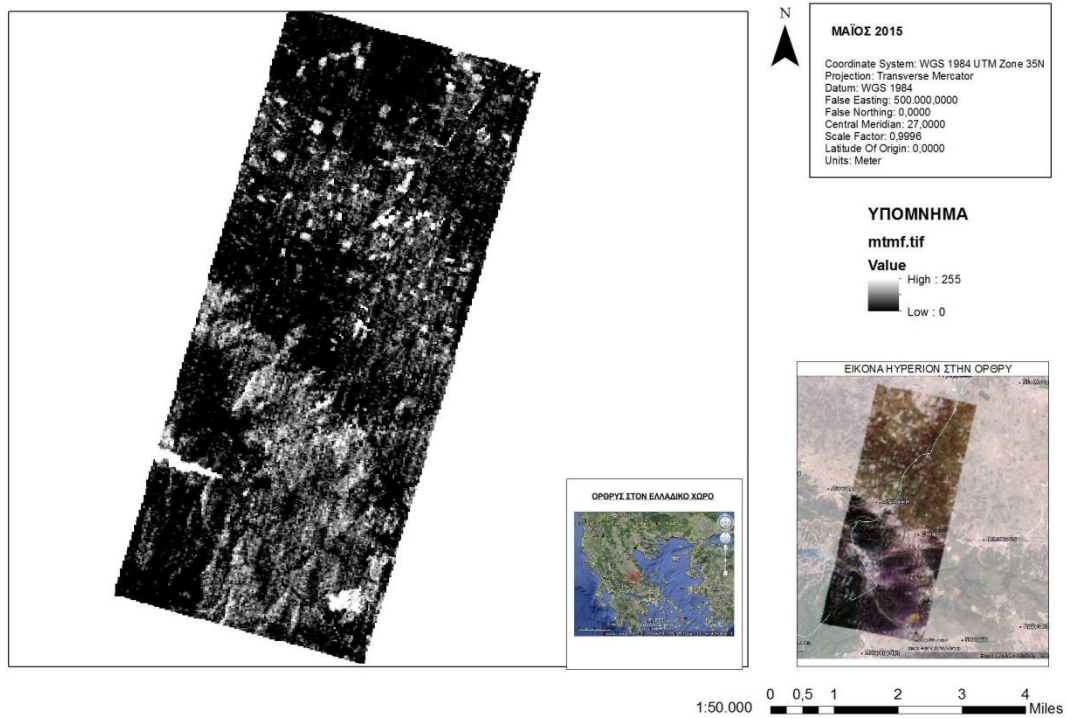
Εικόνα 61 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης.

ΨΕΥΔΕΓΧΡΩΜΗ ΕΙΚΟΝΑ MINIMUM NOISE FRACTION (MNF)



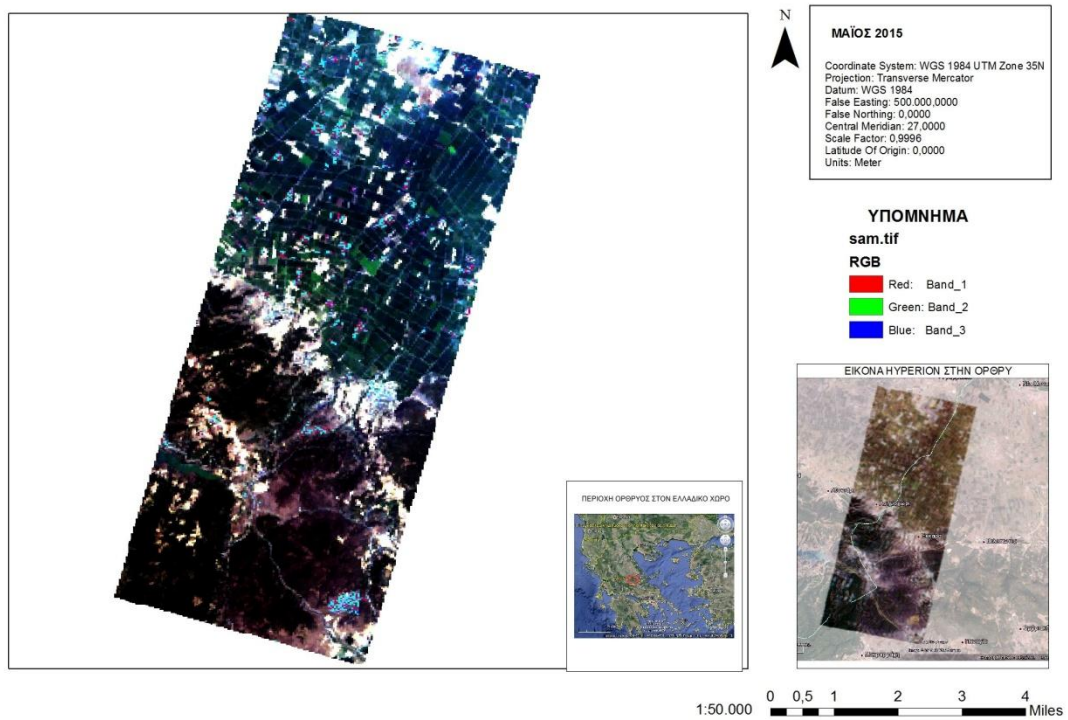
Εικόνα 62 Προέκυψε από την τεχνική mnf που αναλύθηκε παραπάνω . Πραγματοποιήθηκε στα κανάλια του swir.

ΧΑΡΤΗΣ (MTMF) MIXTURE TUNED MATCHED FILTERING

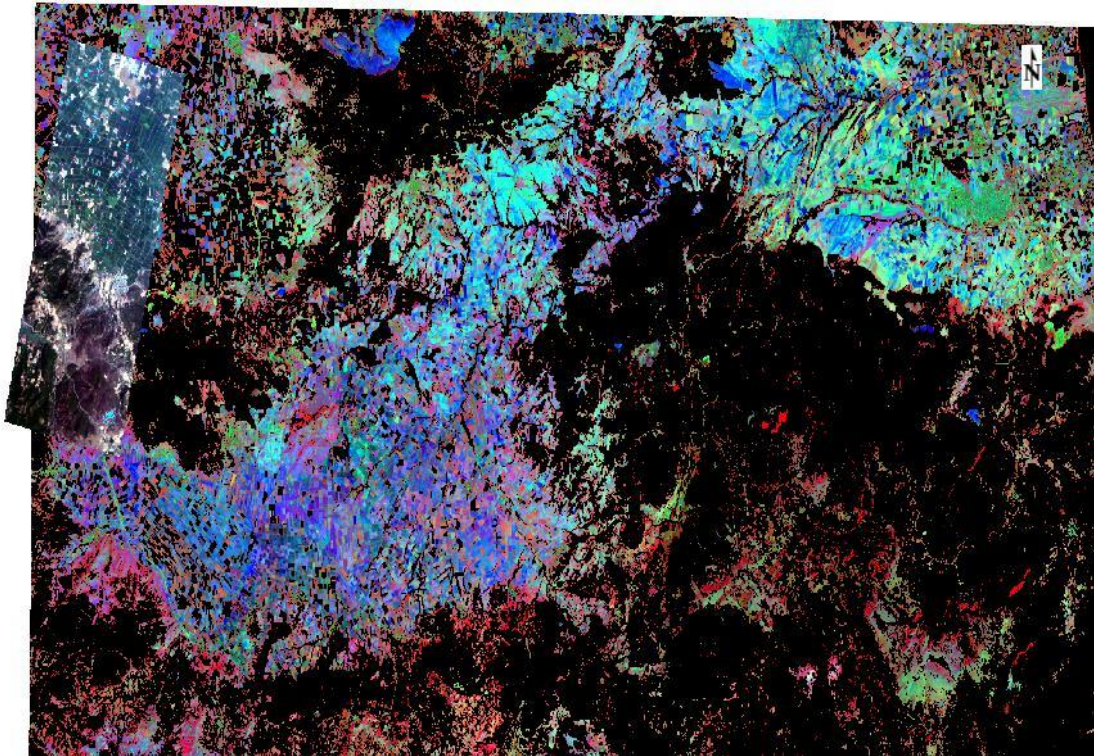


Εικόνα 63 Προέκυψε από την τεχνική MTMF.

ΧΑΡΤΗΣ (SAM) SPECTRAL ANGLE MAPPER



Εικόνα 64 χρώματα cyan carbon, magenta cassiterite, brown kaolinite, green nickeline, purple opal.



Εικόνα 65 Η γεωαναφερμένη εικόνα sam (hyperion) επάνω στην εικόνα με τα ορυκτά της εξαλλοίωσης (επάνω αριστερά). RGB 6/7-4/2-6/5 (αργίλικά-οξειδία του σιδήρου- σιδηρούχα)