

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ,  
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ  
ΣΠΟΥΔΩΝ:  
«ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

**ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ**  
**ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΣΙΑΜΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ, ΓΕΩΛΟΓΟΣ Α.Π.Θ.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΤΑΘΑΚΗΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ, 2015

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ,  
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ  
ΣΠΟΥΔΩΝ:

«ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

## **ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ** **ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΣΙΑΜΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ, ΓΕΩΛΟΓΟΣ Α.Π.Θ.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΤΑΘΑΚΗΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ.  
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΕΡΑΚΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ.  
ΣΕΡΑΦΕΙΜ ΠΟΛΥΖΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΤΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ, 2015

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών με τίτλο Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Περιβάλλοντος του τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Σκοπός της έρευνας ήταν η επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων, μέσω εξειδικευμένων γεωλογικών δεικτών, με σκοπό τον εντοπισμό σημαντικών ορυκτών πόρων και κατ' επέκταση κοιτασμάτων, με βάση την γεωχημική τους σύσταση. Η δορυφορική εικόνα λήφθηκε από τον δορυφόρο LANDSAT – 5/TM, ενώ η περιοχή που επιλέχθηκε για την πραγματοποίηση της έρευνας ήταν η Βορειοκεντρική Εύβοια, η οποία έχει σημαντικό κοιτασματολογικό ενδιαφέρον, με σημαντικές επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες μέχρι σήμερα.

Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης, με την χρησιμοποίηση βασικών εννοιών και την ανάλυση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στην συνέχεια γίνεται αναδρομή των δορυφόρων LANDSAT, με ταυτόχρονη ανάλυση των εφαρμογών κάθε μίας φασματικής ζώνης. Επίσης γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση, όσον αφορά τις εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης στην επιστήμη της Κοιτασματολογίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, δίνεται έμφαση στην φασματική απόκριση των φυσικών αντικειμένων καθώς επίσης των ορυκτών και των πετρωμάτων που παρατηρούνται πάνω στην επιφάνεια της Γης. Στην συνέχεια στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η περιοχή έρευνας, με γνώμονα τα διοικητικά όρια και με βάση την γεωμορφολογία και την γεωλογία της περιοχής, δίνοντας ταυτόχρονα αναφορά στην παρουσία κοιτασμάτων στην ερευνητική περιοχή.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η προεπεξεργασία και επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων, η οποία πραγματοποιήθηκε, μέσω των λογισμικών προγραμμάτων ERDAS IMAGINE 9.2, ArcGIS 10.1 (ArcMap) και Quantum GIS 2.4.0. Στην συνέχεια εφαρμόστηκαν κατάλληλοι συνδυασμοί χρωμάτων και εξειδικευμένοι φασματικοί λόγοι – γεωλογικοί δείκτες, με σκοπό την καλύτερη δυνατή εξαγωγή αποτελεσμάτων, όσον αφορά τον εντοπισμό των γεωχημικών στοιχείων της περιοχής, όπως των οξειδίων του σιδήρου και αργιλίου αντίστοιχα. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε αποτίμηση ακρίβειας μεταξύ επιλεγμένων δειγματοληπτικών σημείων και των γεωλογικών δεικτών, μέσω του συντελεστή συσχέτισης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, με βάση τους εφαρμοσμένους δείκτες, δίνεται η ερμηνεία των αποτελεσμάτων, όπου θα μας οδηγήσει επί της ουσίας, όχι μόνο στην ορυκτολογική εξερεύνηση, αλλά και στον εντοπισμό των κοιτασμάτων της περιοχής, ενώ τέλος στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο δίνονται τα τελικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

**Λέξεις Κλειδιά:** Τηλεπισκόπηση, Φασματική Απόκριση, LANDSAT, Φασματικός Λόγος, Ορυκτολογική Εξερεύνηση, Οξείδια του Σιδήρου

## **ABSTRACT**

### **Geological Indices for locating Mineral Resources**

This thesis was carried out of the Postgraduate Studies Program entitled Spatial Analysis and Environmental Management of Engineering Department of Planning and Regional Development School of Engineering, University of Thessaly.

The purpose of the survey was to process satellite images through specialized geological indices, to identify significant mineral resources and thus deposits, based on their geochemical composition. The satellite image was taken from the satellite LANDSAT - 5/TM, while the area chosen for the conduct of the investigation was the North – Central Evia, which has a significant interest in ore geology, with significant surface mining activities to date.

Initially in the first chapter is a bibliographic review on the science of Remote Sensing, using basic concepts and analysis of the electromagnetic spectrum. Subsequently becomes flashback satellites LANDSAT, with simultaneous analysis of applications each spectral band. Furthermore is literature review concerning the Remote Sensing applications in the science of Ore Geology.

In the second chapter, the emphasis in the spectral response of natural objects as well as minerals and rocks observed on the Earth's surface. Subsequently in the third chapter discusses the research area, in the light of administrative boundaries based on geomorphology and geology of the region, while giving reference to the presence of deposits in the research area.

The fourth chapter describes the preprocessing and processing of satellite data, conducted by the software ERDAS IMAGINE 9.2 programs, ArcGIS 10.1 (ArcMap) and Quantum GIS 2.4.0. Subsequently applied suitable color combinations and specialized spectral reasons - geological indices in order to best export results in the identification of geochemical elements of the region, such as iron and aluminum oxides respectively. In addition, an accurate valuation between selected sampling points and geological indices via the correlation coefficient.

In the fifth chapter, based on the applied indices, given the interpretation of results, which will lead us on the merits, not only in mineral exploration, but also in identifying deposits in the region, while finally the sixth and final chapter of the final conclusions are given thesis.

**Keywords:** Remote Sensing, Spectral Response, LANDSAT, Band Ratio, Mineral Exploration, Iron Oxides



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Για τους σκοπούς της έρευνας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτριο Σταθάκη, Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και επιβλέποντα της διπλωματική μου εργασίας για την πολύτιμη βοήθεια και εμπιστοσύνη που έδειξε προς το πρόσωπο μου καθ' όλη την διάρκεια της έρευνας. Ευχαριστώ τον κ. Γιάννη Φαρασλή, Διδάκτορα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την συνεργασία που είχαμε, αλλά και για τις πολύτιμες συμβουλές που μου έδωσε για την περάτωση της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Απόστολο Δημουλά, Γεωλόγο – Υδρογεωλόγο της υπηρεσίας τεχνικών έργων της Περιφερειακής Ενότητας Μαγνησίας και Σποράδων, όπου κατά την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας στήριξε το έργο μου, δίνοντας πολύτιμες βοήθειες στην γεωλογία της περιοχής.

Να ευχαριστήσω επίσης τον κ. Βασίλη Μέλφο, Γεωλόγο – Κοιτασματολόγο και Επίκουρο Καθηγητή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, για την βοήθεια που μου έδωσε, όσον αφορά την κοιτασματολογία της περιοχής, όπως επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κ. Δημήτριο Οικονομίδη, Λέκτορα του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης που με δέχτηκε στο γραφείο του και μου έδωσε πολύτιμες συμβουλές, όσον αφορά την γεωλογική τηλεπισκόπηση. Να ευχαριστήσω τον κ. Αλέξανδρο Μπέλεση και τους συνεργάτες του για την παροχή γεωλογικών χαρτών καθώς επίσης και την εταιρεία ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε. και πιο συγκεκριμένα τον κ. Σωτήριο Κουκουμτζή, Γεωλόγο της υπηρεσίας για την τηλεφωνική επικοινωνία που είχαμε, δίνοντας μου σημαντικές πληροφορίες για την περιοχή στην οποία ερευνήθηκε.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξη που είχα κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ .....</b>	<b>7</b>
1.1 ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ .....	7
1.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ .....	9
1.3 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ LANDSAT .....	11
1.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ .....	15
<b>2.ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ.....</b>	<b>17</b>
2.1. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ .....	17
2.2. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ .....	19
2.3. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ .....	22
<b>3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ .....</b>	<b>25</b>
3.1. ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΟΡΙΑ.....	25
3.2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....	25
3.3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....	27
3.4. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ Ν. ΕΥΒΟΙΑΣ.....	29
3.4.1. <i>Fe – Ni ΟΥΧΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ.....</i>	<i>29</i>
3.4.2. <i>ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΜΑΓΝΗΣΙΤΗ – ΛΕΥΚΟΛΙΘΟΥ.....</i>	<i>32</i>
3.4.3. <i>ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΒΩΞΙΤΗ .....</i>	<i>34</i>
<b>4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....</b>	<b>36</b>
4.1. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	36
4.2. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΨΕΥΔΕΧΡΩΜΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	38
4.2.1. <i>ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ RGB: 4 – 7 – 2.....</i>	<i>39</i>
4.2.2. <i>ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ RGB: 5 – 4 – 1 .....</i>	<i>40</i>
4.2.3. <i>ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ RGB: 7 – 5 – 4.....</i>	<i>42</i>
4.2.4. <i>ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ RGB: 7 – 3 – 5.....</i>	<i>43</i>
4.3. ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ & ΔΕΙΚΤΕΣ .....	44
4.3.1. <i>ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗ NDVI .....</i>	<i>45</i>
4.3.2. <i>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ.....</i>	<i>46</i>
4.3.2.1. <i>ΔΕΙΚΤΕΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ .....</i>	<i>47</i>
4.3.2.2. <i>ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΡΓΙΛΙΟΥ .....</i>	<i>60</i>

4.4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ.....	68
4.4.1. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ RGB: 3/5 – 3/1 – 5/7 .....	68
4.4.2. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ RGB: 3/5 – 4/1 – 5/7 .....	69
4.5. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ .....	73
<b>5. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>77</b>
<b>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>79</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>80</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 .....</b>	<b>84</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 .....</b>	<b>89</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1. ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΤΟΥ LANDSAT - 5/TM.....	13
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2. ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΤΟΥ LANDSAT - 7/ETM+.....	14
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3. ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ LANDSAT - 5/TM & 7/ETM+ .....	14
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΩΝ FE - ΝΙ ΟΥΧΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ.....	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2. ΜΕΣΗ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (WT%) ΤΟΥ FE - ΝΙ ΟΥΧΟΥ ΛΑΤΕΡΙΤΗ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΦΑΣΕΩΝ .....	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΕ Κ.Β.% .....	32
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	32
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (LANDSAT - 5/TM) ..	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. ΤΙΜΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ.....	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ .....	76

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1.1. ΡΟΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ (ΑΣΤΑΡΑΣ ΣΤΟ GUPTA, 2003).....	10
ΕΙΚΟΝΑ 1.2. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ (ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ) .....	10
ΕΙΚΟΝΑ 1.3. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ ΜΕΤΑΞΥ 10-8 Μ - 102 Μ (ΑΣΤΑΡΑΣ ΣΤΟ GUPTA, 2003).....	11
ΕΙΚΟΝΑ 2.1. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ (SABINS, 1999) .....	17
ΕΙΚΟΝΑ 2.2. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ (GUPTA, 2003) .....	18

ΕΙΚΟΝΑ 2.3. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΤΟΥ LANDSAT - 7/ETM+ (CIAMPALINI Κ.Α. ΣΤΟ USGS).....	20
ΕΙΚΟΝΑ 2.4. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΤΟΥ LANDSAT - 5/TM (SABINS, 1999).....	21
ΕΙΚΟΝΑ 2.5. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ (Α, Β: GAFFEY, 1986 & 1987 Γ: HARNER & GILMORE, 2015) .....	21
ΕΙΚΟΝΑ 2.6. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΑΙΜΑΤΙΤΗ, ΤΟΥ ΛΕΙΜΩΝΙΤΗ, ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΤΗ, ΤΟΥ ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗ ΚΑΙ ΤΟΥ ΧΑΡΤΣΒΟΥΡΓΙΤΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΤΟΥ LANDSAT - 5/TM (ABRAMS Κ.Α. ΣΤΟ HUNT Κ.Α., 1971 & 1974) .....	23
ΕΙΚΟΝΑ 2.7. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ (KHAN & MAHMOOD, 2008).....	24
ΕΙΚΟΝΑ 2.8. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΞΑΛΛΟΙΩΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΤΟΥ LANDSAT - 5/TM (SABINS, 1999) .....	24
ΕΙΚΟΝΑ 3.1. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΧΗΜΑ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΔΩΝ ΖΩΝΩΝ. RH: ΜΑΖΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ, SM: ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ, CR: ΠΕΡΙΡΟΔΟΠΙΚΗ ΜΑΖΑ, (PE: ΖΩΝΗ ΠΑΙΟΝΙΑΣ, PA: ΖΩΝΗ ΠΑΙΚΟΥ, AL: ΖΩΝΗ ΑΛΜΩΠΙΑΣ) = ΖΩΝΗ ΑΞΙΟΥ, PL: ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ, AC: ΑΤΤΙΚΟ – ΚΥΚΛΑΔΙΚΗ ΖΩΝΗ, SP: ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ, PK: ΖΩΝΗ ΠΑΡΝΑΣΣΟΥ – ΓΚΙΩΝΑΣ, P: ΖΩΝΗ ΠΙΝΔΟΥ, G: ΖΩΝΗ ΓΑΒΡΟΒΟΥ – ΤΡΙΠΟΛΗΣ, I: ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ, PX: ΖΩΝΗ ΠΑΞΩΝ Η ΠΡΟΑΠΟΥΛΙΑ, AU : ΕΝΟΤΗΤΑ <<ΤΑΛΕΑ ΌΡΗ – ΠΛΑΚΩΔΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ>> ΠΙΘΑΝΟΝ ΤΗΣ ΙΟΝΙΟΥ ΖΩΝΗΣ. ....	27
ΕΙΚΟΝΑ 3.2. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΦΕΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΓΚΑΡΤΖΟΣ Κ.Α. ΣΤΟ ROBERTSON & SHALLO, 2000) .....	29
ΕΙΚΟΝΑ 3.3. ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε. (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	31
ΕΙΚΟΝΑ 3.4. ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΤΕΡΝΑ – ΛΕΥΚΟΛΙΘΟΙ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	33
ΕΙΚΟΝΑ 3.5. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΒΩΞΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (ΒΑΒΕΛΙΔΗΣ Κ.Α. ΣΤΟ ΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1979) .....	35
ΕΙΚΟΝΑ 4.1. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT – 5/TM (ΕΓΣΑ 87) (USGS).....	37
ΕΙΚΟΝΑ 4.2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ, ΜΕΣΩ LANDSAT – 5/TM (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	38
ΕΙΚΟΝΑ 4.3. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT – 5/TM ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ 321 (RGB) (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	39
ΕΙΚΟΝΑ 4.4. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT – 5/TM ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ 472 (RGB) (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	40
ΕΙΚΟΝΑ 4.5. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT – 5/TM ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ 541 (RGB) (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	41
ΕΙΚΟΝΑ 4.6. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT – 5/TM ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ 741 (RGB) (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	42
ΕΙΚΟΝΑ 4.7. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT – 5/TM ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ 742 (RGB) (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	42

ΕΙΚΟΝΑ 4.8. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT – 5/TM ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ 754 (RGB) (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	43
ΕΙΚΟΝΑ 4.9. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT – 5/TM ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ 735 (RGB) (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	44
ΕΙΚΟΝΑ 4.10. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ 3/1 – ΤΑ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΙΣ ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ)..	48
ΕΙΚΟΝΑ 4.11. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΗΝ ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΒΟΙΑ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	49
ΕΙΚΟΝΑ 4.12. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	49
ΕΙΚΟΝΑ 4.13. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΥΜΗΣ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	50
ΕΙΚΟΝΑ 4.14. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ 5/4 – ΤΑ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΙΣ ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ). 52	
ΕΙΚΟΝΑ 4.15. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΗΝ ΟΡΟΣΕΙΡΑ ΤΗΣ ΔΙΡΦΥΣ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	52
ΕΙΚΟΝΑ 4.16. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΟ ΚΑΝΤΗΛΙΟ ΟΡΟΣ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	53
ΕΙΚΟΝΑ 4.17. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	53
ΕΙΚΟΝΑ 4.18. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΥΜΗΣ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	54
ΕΙΚΟΝΑ 4.19. Α: ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ 3/4, Β: ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ 7/4 (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	55
ΕΙΚΟΝΑ 4.20. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ 3/5 – ΤΑ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΙΣ ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ). 57	
ΕΙΚΟΝΑ 4.21. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	58
ΕΙΚΟΝΑ 4.22. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΟ ΚΑΝΤΗΛΙΟ ΟΡΟΣ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	58
ΕΙΚΟΝΑ 4.23. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	59
ΕΙΚΟΝΑ 4.24. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΥΜΗΣ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	59
ΕΙΚΟΝΑ 4.25. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ 5/7 – ΤΑ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΙΣ ΣΚΟΤΕΙΝΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ)61	
ΕΙΚΟΝΑ 4.26. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΒΟΙΑ, ΜΕ ΕΝΤΟΝΕΣ ΚΟΚΚΙΝΕΣ ΑΠΟΧΡΩΣΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	62
ΕΙΚΟΝΑ 4.27. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ, ΜΕ ΕΝΤΟΝΕΣ ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΠΟΧΡΩΣΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) ...	62
ΕΙΚΟΝΑ 4.28. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ, ΜΕ ΕΝΤΟΝΕΣ ΚΟΚΚΙΝΕΣ ΑΠΟΧΡΩΣΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) 63	
ΕΙΚΟΝΑ 4.29. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΥΜΗΣ, ΜΕ ΕΝΤΟΝΕΣ ΚΟΚΚΙΝΕΣ ΑΠΟΧΡΩΣΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) 63	

ΕΙΚΟΝΑ 4.30. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ 7/5 – ΤΑ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΙΣ ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).	65
ΕΙΚΟΝΑ 4.31. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΒΟΙΑ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	65
ΕΙΚΟΝΑ 4.32. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	66
ΕΙΚΟΝΑ 4.33. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	66
ΕΙΚΟΝΑ 4.34. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΥΜΗΣ, ΜΕ ΙΩΔΕΣ ΧΡΩΜΑ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	67
ΕΙΚΟΝΑ 4.35. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ 3/5, 3/1, 5/7 (RGB) (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	69
ΕΙΚΟΝΑ 4.36. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ 3/5, 4/1, 5/7 (RGB) (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	70
ΕΙΚΟΝΑ 4.37. ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΒΟΙΑ – ΤΑ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΙΣ ΚΟΚΚΙΝΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	71
ΕΙΚΟΝΑ 4.38. ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ – ΤΑ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΙΣ ΚΟΚΚΙΝΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	71
ΕΙΚΟΝΑ 4.39. ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ – ΤΑ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΙΣ ΚΟΚΚΙΝΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	72
ΕΙΚΟΝΑ 4.40. ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΥΜΗΣ – ΤΑ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΙΣ ΚΟΚΚΙΝΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ)	72
ΕΙΚΟΝΑ 4.41. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΣΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΧΑΡΤΗ (ΦΥΛΛΟ ΨΑΧΝΑ – ΠΗΛΙΟ, Ι.Γ.Μ.Ε.).....	73

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΕΙΚΤΗ 3/1 (IRON OXIDE) (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	75
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΕΙΚΤΗ 5/4 (FERROUS MINERALS) (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	75
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.3. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΕΙΚΤΗ 3/5 (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	75
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΕΙΚΤΗ 7/5 (CLAY RATIO) (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ).....	76

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

ΧΑΡΤΗΣ 3.1. ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΌΡΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	25
ΧΑΡΤΗΣ 3.2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	26
ΧΑΡΤΗΣ 3.3. ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ (ΒΑΒΕΛΙΔΗΣ Κ.Α. ΣΤΟ ΑΛΜΠΑΝΤΑΚΗΣ, 1979).....	31

ΧΑΡΤΗΣ 3.4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ Β. ΕΥΒΟΙΑΣ, ΣΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Η ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΜΑΓΝΗΣΙΤΗ (ΓΚΑΡΤΖΟΣ, 1990) .....	33
ΧΑΡΤΗΣ 4.1. ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	46
ΧΑΡΤΗΣ 4.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ 3/1 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	50
ΧΑΡΤΗΣ 4.3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ 5/4 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	54
ΧΑΡΤΗΣ 4.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΛΟΓΩΝ 7/4 & 3/4 (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	56
ΧΑΡΤΗΣ 4.5. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ 3/5 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	60
ΧΑΡΤΗΣ 4.6. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ 5/7 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	64
ΧΑΡΤΗΣ 4.7. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ 7/5 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ) .....	67

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

## 1.1 ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Τα τελευταία χρόνια η σχέση των σύγχρονων κοινωνιών με τις Ορυκτές Πρώτες Ύλες (Ο.Π.Υ.) γίνεται ολοένα και περισσότερο άμεση, καθώς η διαθεσιμότητα των Ο.Π.Υ. βοηθά την βιώσιμη λειτουργία, την ευημερία και την πρόοδο που πρέπει να έχει μία σύγχρονη κοινωνία στις μέρες μας. Οικονομικά αναπτυσσόμενες περιοχές (Κίνα, Ινδία, ΝΑ Ασία, Λατινική Αμερική, Ρωσία) αυξάνουν όλο και περισσότερο την ζήτηση των Ο.Π.Υ., λόγω της πολύ μεγάλης κατανάλωσης. Η Ελλάδα με την σειρά της, αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο ποσοστό στις εξαγωγές, συμβάλλοντας εξίσου σημαντικά στην Ελληνική οικονομία.

Έτσι λοιπόν η αναζήτηση και ο εντοπισμός γεωλογικών σχηματισμών οικονομικού ενδιαφέροντος, θεωρείται επιβεβλημένη, όπου τα τελευταία χρόνια αυξάνεται με αμείωτους ρυθμούς. Μία από τις επιστήμες που συμβάλλουν σημαντικά στην αναζήτηση και στον εντοπισμό κοιτασμάτων, είναι αυτή της Γεωπληροφορικής και πιο συγκεκριμένα η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης, όπου αποτελεί μία σύγχρονη τεχνική μέθοδος, αξιοποιώντας τις πολύτιμες πληροφορίες που μπορούμε να αντλήσουμε μέσα από μία επεξεργασία δορυφορικών εικόνων, δίνοντας ταυτόχρονα αξιόπιστα αποτελέσματα.

Σαφέστατα, η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης έχει εφαρμοστεί ουκ ολίγες φορές στο παρελθόν, στο εξωτερικό και στην Ελλάδα, για τον εντοπισμό σημαντικών κοιτασμάτων, όπου με τη πάροδο του χρόνου γίνεται πιστευτή σε ένα τεράστιο κύκλο επιστημόνων. Αυτό βέβαια οδηγεί στον εκσυγχρονισμό της συγκεκριμένης επιστήμης, βοηθώντας σε ένα τεράστιο βαθμό έναν σημαντικό κλάδο Γεωεπιστημών, όπως αυτός της Γεωλογίας.

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης ασχολείται με την μελέτη της ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή ανακλάται από τα αντικείμενα της Γης. Συγκεκριμένα η μελέτη των φαινομένων και των αντικειμένων που παρατηρούμε στην επιφάνεια της Γης γίνονται από απόσταση. Η συλλογή, η ανάλυση και η ερμηνεία πληροφοριών πραγματοποιείται μέσω καταγραφικών οργάνων που δεν έχουν επαφή με το υπό μελέτη αντικείμενο. Η καταγραφή αυτών των πληροφοριών δίνονται σε μορφή εικόνας από καταγραφικά συστήματα που μεταφέρονται από αεροπλάνα ή από δορυφορικά συστήματα.

Εάν θέλουμε αποκλειστικά να αναζητηθεί ό ακριβής ορισμός της συγκεκριμένης επιστήμης, μπορούμε να αναφέρουμε ότι **η Τηλεπισκόπηση ορίζεται ως η διαδικασία καταγραφής της ενέργειας, η οποία ανακλάται ή εκπέμπεται από ένα αντικείμενο** (Συλλαίος στο Holz, 1973, Lillesand κ.α., 1987). Επίσης σημαίνει **η συλλογή και καταγραφή πληροφοριών για αντικείμενα με τα οποία τα συστήματα καταγραφής δεν έχουν φυσική επαφή μεταξύ τους** (Συλλαίος στο Sabins, 1978).



Η Αμερικάνικη Εταιρεία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης έχει αναφέρει ότι η **Φωτογραμμετρία και Τηλεπισκόπηση είναι η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνολογία της απόκτησης αξιόπιστων πληροφοριών, για φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον, με την διαδικασία της καταγραφής, της μέτρησης και της ενέργειας εικόνων και ψηφιακών αναπαραστάσεων της ενέργειας, η οποία καταγράφεται από συστήματα ανιχνευτών, που δεν βρίσκονται σε άμεση επαφή με τα αντικείμενα αυτά**, ενώ σύμφωνα με το Εθνικό Κέντρο Τηλεπισκόπησης (NRSC) της Αγγλίας **Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη της απόκτησης της ανάλυσης (ερμηνείας) πληροφοριών, για το περιβάλλον της Γης, από ανιχνευτές χωρίς φυσική επαφή με το περιβάλλον.**

Τα πλεονεκτήματα της Τηλεπισκόπησης σε σχέση με άλλες μεθόδους συλλογής δεδομένων και, κυρίως αυτών που χρησιμοποιούν μόνο εργασία υπαίθρου, είναι (Συλλαίος στο Thownshend, 1981):

1. Η ικανότητα χωρικής αντίληψης (spatial comprehensiveness) των δεδομένων των δορυφορικών εικόνων, σε σχέση με αυτά τα οποία συλλέγονται με εργασία υπαίθρου.
2. Η κάλυψη διαφόρων περιοχών είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί γρήγορα και, κατά συνέπεια, γίνεται δυνατή η σύγκριση μεταξύ των δεδομένων από διάφορες περιοχές (comparability of data).
3. Η συνοπτική απεικόνιση (synoptic views) μεγάλων περιοχών σε μία δορυφορική εικόνα καθιστά δυνατή την ταυτοποίηση ευρείας κλίμακας διαφοροποιήσεων των φυσιογραφικών στοιχείων της περιοχής.
4. Η δυνατότητα διαχρονικών λήψεων (multidate images) από τους δορυφόρους δίνει την ευκαιρία να μελετηθούν δυναμικά φαινόμενα, να γίνουν διαχρονικές συγκρίσεις και να καταγράφονται στοιχεία ή φαινόμενα σε συνεχή βάση (monitoring).
5. Η λήψη των εικόνων, σε πολλές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (πολυφασματικές λήψεις – multispectral images), δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να ανιχνεύσει διαφορές μεταξύ βιοφυσικών στοιχείων επιφάνειας, οι οποίες, πολλές φορές, δεν είναι δυνατόν να γίνουν αντιληπτές με την λύση μιας μόνο φασματικής ζώνης.

Αυτό όμως που αξίζει να επισημάνουμε είναι ότι δεν πρέπει να αναιρούνται και οι κλασικές μέθοδοι συλλογής δεδομένων, όπου έχουν ως βασικό εργαλείο την εργασία υπαίθρου, η οποία με την σειρά της πολλές φορές είναι σημαντική και αναγκαία, όπως για παράδειγμα η δειγματοληψία εδάφους και πετρωμάτων για περαιτέρω εργαστηριακές μελέτες, αλλά η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης, όμως υπερέχει σε άλλους είδους περιπτώσεις, όπως σε μελέτες χρήσεις/κάλυψης Γης κ.α.

Η εφαρμογή μίας τέτοια είδους επιστήμης μπορεί κάλλιστα να μας δώσει μία σημαντική συλλογή δεδομένων, μέσω της καταγραφής αυτών, δίνοντας επί της ουσίας διάφορα είδη δεδομένων. Τα βιοφυσικά χαρακτηριστικά, τα οποία μπορούν

να καταγραφούν άμεσα ή έμμεσα με τηλεπισκοπικές μεθόδους είναι (Συλλαίος, 2000) :

- Χωρική θέση
- Υψόμετρο
- Χρώμα
- Φασματική συμπεριφορά της χλωροφύλλης
- Βιομάζα
- Ποσοστό υγρασίας της βλάστησης
- Ποσοστό υγρασίας του εδάφους
- Θερμοκρασία
- Υφή, δομή διαφόρων στοιχείων

Εκτός από την ποιοτική προσέγγιση, για να γίνει δυνατή και η εφαρμογή των ποσοτικών μεθόδων, πρέπει ο αναλυτής να έχει υπόψη του (Συλλαίος στο Jensen, 1986):

1. Τη διακριτική ικανότητα των διαφόρων τύπων απεικονιστών
2. Τη φασματική συμπεριφορά των διαφόρων στοιχείων της επιφάνειας της Γης, στις διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
3. Τη σωστή εφαρμογή των διαφόρων τεχνικών ανάλυσης εικόνας, για την εξαγωγή βιοφυσικών και υβριδικών πληροφοριών.

Τέλος ένα ιδεατό σύστημα Τηλεπισκόπησης θα περιελάμβανε τα εξής (Μηλιαρέσης, 2000):

1. Μια ομοιόμορφη πηγή ενέργειας.
2. Μια αμελητέα και άνευ επιδράσεων ατμόσφαιρα.
3. Τις φασματικές υπογραφές, δηλαδή την μοναδική αλληλεπίδραση της ύλης και της ενέργειας στην επιφάνεια της Γης.
4. Έναν τέλειο δέκτη.
5. Ένα σύστημα διαχείρισης – επεξεργασίας δεδομένων.
6. Ένα τέλειο γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα.

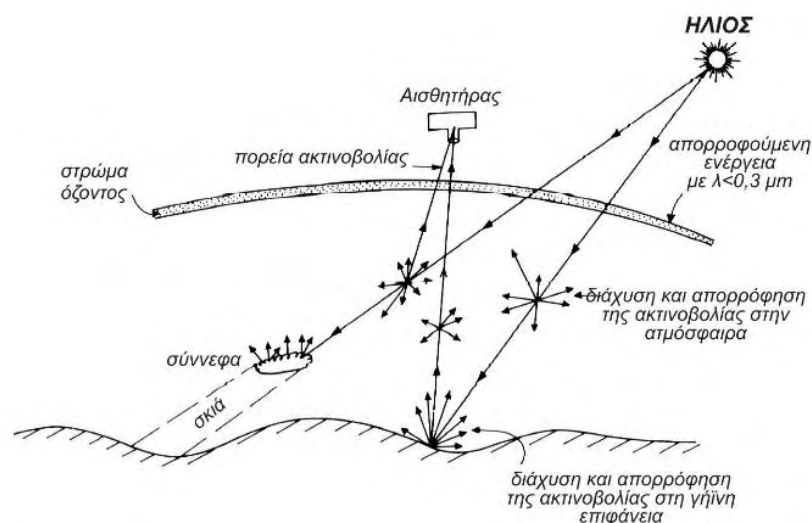
## **1.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ**

Η ταξινόμηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπου γίνεται σύμφωνα με το μήκος κύματος ή τη συχνότητα, συμπεριλαμβάνοντας τις κοσμικές ακτίνες (ακτίνες  $\chi$ ), το οπτικό φάσμα και τα ραδιοκύματα αποτελούν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Από την ηλιακή ακτινοβολία δημιουργείται ένα τμήμα του φάσματος, όπου όταν διέρθει από την ατμόσφαιρα προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης ανακλάται και καταγράφεται στον δέκτη. Επίσης ένα τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από την Γη και επανεκπέμπεται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος, όπου έχουμε την θερμική ακτινοβολία (Εικ. 1.1).

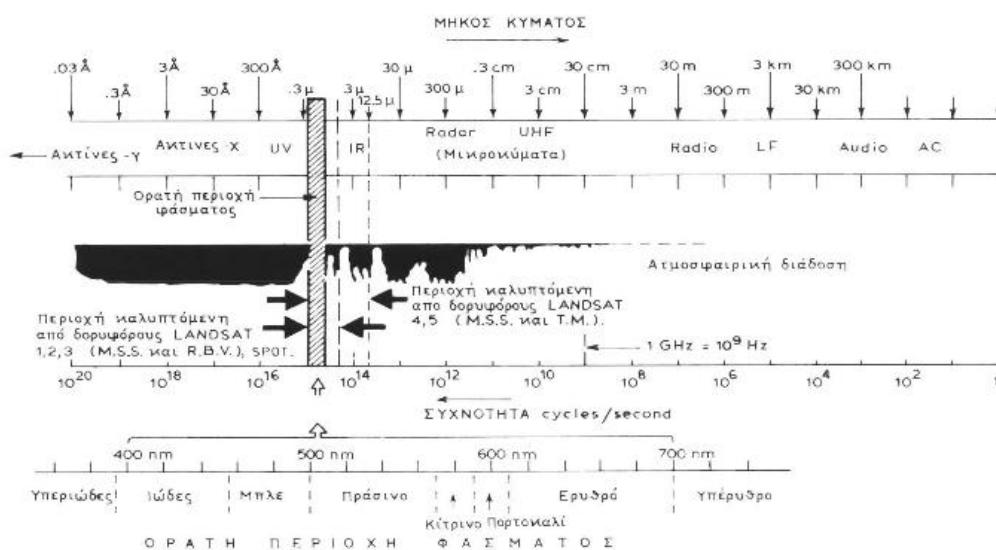
Οι βασικές ιδιότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι (Συλλαίος, 2000):

1. Διαδίδεται σε ευθεία γραμμή.
2. Η ένταση μειώνεται, όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή.
3. Οι δέσμες διάδοσης δεν επηρεάζουν η μία την άλλη.
4. Ανακλάται από λείες επιφάνειες κατοπτρικά (Νόμος Snell).
5. Ανακλάται από τραχιές επιφάνειες προς όλες τις κατευθύνσεις.
6. Διαθλάται, όταν περνά από ένα διαφανές υλικό σε ένα άλλο (Σύλλαϊος στο Sleen, 1982).

Τα κύρια τμήματα του φάσματος, μειωμένου του μήκους κύματος είναι τα ραδιοκύματα (συμπεριλαμβανομένων των μικροκυμάτων), το υπέρυθρο (IR) (κοντινό, μέσο και μακρινό), το ορατό, το υπεριώδες (UV) φάσμα, οι ακτίνες χ και οι ακτίνες γ (Εικ. 1.2).



**Εικόνα 1.1. Ροή ενέργειας στην περιοχή του ανακλώμενου ηλιακού φάσματος (Αστάρης στο Gupta, 2003)**

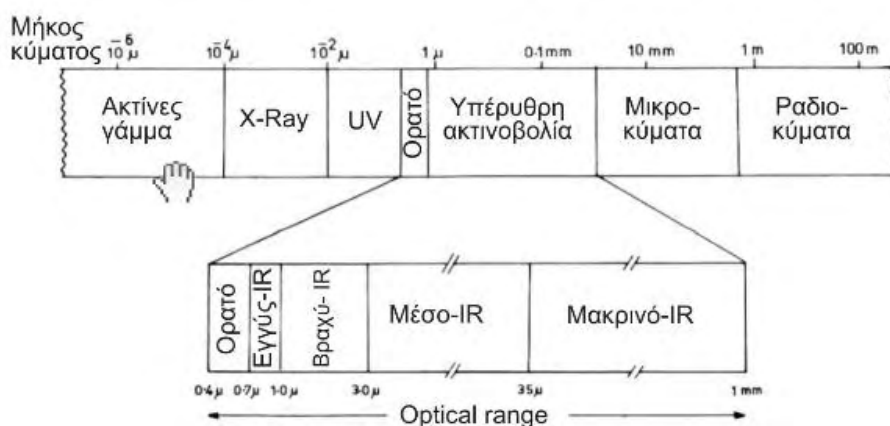


**Εικόνα 1.2. Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα (Τροποποιημένο από διάφορους συγγραφείς)**

Οι περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον στις αεροφωτογραφίες και στους πολυφασματικούς σαρωτές είναι οι εξής (Ασάρας, 2006):

1. Το ορατό τμήμα (VIS/Visible), με μήκη κύματος μεταξύ  $0,4 - 0,75 \mu\text{m}$ .
2. Το υπέρυθρο τμήμα (IR/INFRARED), με μήκη κύματος μεταξύ  $0,75 - 16 \mu\text{m}$ .

Αναλυτικά το μπλε ( $B = 0,4 - 0,5 \mu\text{m}$ ), το πράσινο ( $G = 0,5 - 0,6 \mu\text{m}$ ) και το κόκκινο ( $R = 0,6 - 0,75 \mu\text{m}$ ) φάσμα αποτελούν το ορατό φάσμα, ενώ το εγγύς υπέρυθρο φάσμα (NEAR IR =  $0,75 - 1 \mu\text{m}$ ) καθώς επίσης το βραχύ (SWIR =  $1 - 3 \mu\text{m}$ ), το μέσο (MID - IR =  $3 - 35 \mu\text{m}$ ) και το μακρινό (FAR - IR =  $35 \mu\text{m} - 1 \text{mm}$ ) υπέρυθρο φάσμα ανήκουν στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Το MID - IR και το FEAR - IR αποτελούν το θερμικό υπέρυθρο τμήμα (Thermal - IR) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Εικ. 2.3).



Εικόνα 1.3. Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα μεταξύ  $10^{-8} \mu - 10^2 \text{ m}$  (Ασάρας στο Gupta, 2003)

### 1.3 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ LANDSAT

Η λήψη δορυφορικών δεδομένων – εικόνων γίνεται μέσω δορυφορικών συστημάτων, όπου τις χρησιμοποιούμε για την επεξεργασία τους, με αποτέλεσμα να αντλήσουμε πολύτιμες πληροφορίες πάνω στην επιφάνεια της Γης. Μέχρι σήμερα υπάρχουν διάφοροι δορυφόροι παρατήρησης, οι οποίοι περιστρέφονται γύρω από την Γη. Μερικοί από αυτούς είναι:

- Δορυφόρος LANDSAT
- Δορυφόρος ASTER
- Δορυφόρος TERRA
- Δορυφόρος SPOT
- Δορυφόρος IKONOS
- Δορυφόροι πολικής τροχιάς NOAA
- Γεωστάσιμοι δορυφόροι (Meteosat MSG)

Οι δορυφόροι LANDSAT άρχισαν να λειτουργούν από το 1972, με τους δορυφόρους LANDSAT 1 – 3 να εκτοξεύονται στις 23/7/1972, 22/1/1975 και 5/3/1978 αντίστοιχα.

Ο χρόνος που κάλυπταν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης ήταν 18 ημέρες, μεταφέροντας έναν πολυφασματικό σαρωτή (MSS: Multispectral scanner), τρεις εικονοληπτικές κάμερες τηλεοράσεως, τύπου RBV (Return Beam Vidicon cameras) και ένα σύστημα καταγραφής (αποθήκευσης) των δεδομένων (Video tape recorders) και μετάδοσης στους επίγειους σταθμούς τηλεμετρικά.

Συγκεκριμένα ο πολυφασματικός σαρωτής (MSS) ήταν ένα ραδιόμετρο τεσσάρων φασματικών καναλιών, το οποίο σάρωνε την γήινη επιφάνεια και κατέγραφε την ένταση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας των αντικειμένων και φαινομένων πάνω στην επιφάνεια της Γης.

Μετά την επιτυχία που σημείωσαν οι προηγούμενοι δορυφόροι, μία δεκαετία αργότερα εκτοξεύτηκαν οι δορυφόροι LANDSAT 4 – 5 στις 16/7/1982 και 1/3/1984 αντίστοιχα, με τον χρόνο κάλυψης να πραγματοποιείται σε 16 ημέρες. Χαρακτηριστικά ο χρόνος διέλευσης από τον Ισημερινό ήταν 9,39' π.μ. και σε κάθε τροχιά του δορυφόρου σαρώνονταν ζώνη πλάτους 185 χλμ. Οι δύο διαδοχικές ζώνες σάρωσης του Ισημερινού απείχαν 171,5 χλμ, με επικάλυψη 7,3%, όπου αυξάνονταν προς τους πόλους. Για παράδειγμα στο 20<sup>0</sup> παράλληλο γινόταν 12,9%, στον 40<sup>0</sup> παράλληλο 29% και στον 80<sup>0</sup> παράλληλο 83,9% αντίστοιχα. Οι δύο δορυφόροι επίσης είχαν διαφορά πτήσεως 180<sup>0</sup>, με αποτέλεσμα κάθε σημείο της Γης να σαρώνονταν κάθε 8 ημέρες είτε από τον LANDSAT – 4 είτε από τον LANDSAT – 5.

Οι διαφορές που παρουσίασαν σε σχέση με τους προηγούμενους δορυφόρους ήταν στο γεγονός ότι μετέφεραν 2 σαρωτές, οι οποίοι ήταν οι εξής:

1. Τον πολυφασματικό σαρωτή MSS, ο οποίος κατέγραφε την πράσινη, την κόκκινη και δύο κοντινές υπέρυθρες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (0,63 – 0,69 μm και 0,76 – 0,9 μm), έχοντας διακριτική ικανότητα 80 μέτρα.
2. Τον πολυφασματικό σαρωτή TM (Thematic Mapper), δηλαδή τον θεματικό χαρτογράφο που είναι ένας βελτιωμένος σαρωτής, ο οποίος προσφέρει 7 φασματικές ζώνες, παρουσιάζοντας χωρική ανάλυση 30 μέτρων και ραδιομετρική ευαισθησία, με 256 διαβαθμίσεις του τεφρού.

Τέλος μετά την αποτυχία του LANDSAT – 6 (εκτόξευση 1993), όπου χάθηκε στο διάστημα (Αστάρας στο Τσακίρη – Στρατή, 2004), το 1999 εκτοξεύτηκε ο LANDSAT – 7 που φέρει έναν ενισχυμένο πολυφασματικό σαρωτή ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) και μία επιπλέον παγχρωματική φασματική ζώνη (PAN), με χωρική ανάλυση 15 μέτρα (Αστάρας στο Kramer, 2002). Παρακάτω παρουσιάζονται σε πίνακες το εύρος της κάθε μίας φασματικής ζώνης των δορυφόρων LANDSAT – 5 και 7 καθώς επίσης τις κύριες εφαρμογές και την χωρική ανάλυση αυτών (Πιν. 1.1, 1.2 & 1.3).

**Πίνακας 1.1. Φασματικές Ζώνες του LANDSAT - 5/TM**

<b>ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</b>
<b>Φασματική ζώνη 1:</b> (Band 1, 0,45 – 0,52 μm, μπλε – πράσινη)	Κατάλληλη να διεισδύει μέσα στις υδάτινες μάζες και να δίδει πληροφορίες για την θολότητα τους και άλλες παραμέτρους. Επίσης είναι κατάλληλη για την χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών, τη διάκριση της βλάστησης από το έδαφος και το διαχωρισμό μεταξύ κωνοφόρων και φυλλοβόλων δένδρων.
<b>Φασματική ζώνη 2:</b> (Band 2, 0,52 – 0,60 μm, πράσινη)	Κατάλληλη για τη μέτρηση της ορατής πράσινης ακτινοβολίας που καθορίζει την υγιή βλάστηση.
<b>Φασματική ζώνη 3:</b> (Band 1, 0,63 – 0,69 μm, ερυθρή)	Κατάλληλη για τη διάκριση μεταξύ διαφόρων ειδών βλάστησης λόγω διαφορετικής απορρόφησης της από την χλωροφύλλη των φυτών.
<b>Φασματική ζώνη 4:</b> (Band 3, 0,76 – 0,90 μm, ηλιακή υπέρυθρη)	Κατάλληλη για τον υπολογισμό της βιομάζας και την οριοθέτηση των υδάτινων μαζών.
<b>Φασματική ζώνη 5:</b> (Band 5, 1,55 – 1,75 μm, ηλιακή υπέρυθρη)	Κατάλληλη για τον υπολογισμό της υγρασίας στα φυτά και στο έδαφος καθώς και το διαχωρισμό της νεφοκάλυψης από τα χιόνια.
<b>Φασματική ζώνη 6:</b> (Band 6, 10,40 – 12,25 μm, θερμική υπέρυθρη)	Κατάλληλη για την συλλογή θερμικών στοιχείων (θερμική χαρτογράφηση) στους γεωλογικούς σχηματισμούς, τη χαρτογράφηση περιοχών με διαφορετική υγρασία εδάφους και συλλογή πληροφοριών για τις υποβαθμισμένες φυτοκοινωνίες. Η ζώνη αυτή, συμπληρώνει τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τις άλλες φασματικές ζώνες.
<b>Φασματική ζώνη 7:</b> (Band 7, 2,08 – 2,35 μm, ηλιακή υπέρυθρη)	Κατάλληλη για τη διάκριση των διαφόρων τύπων πετρωμάτων και για υδροθερμική χαρτογράφηση.

*(Πηγή: Αστάρας, 2006)*

**Πίνακας 1.2. Φασματικές Ζώνες του LANDSAT - 7/ETM+**

ΖΩΝΗ	ΦΑΣΜΑΤΙΚΟ ΕΥΡΟΣ	ΚΥΡΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
1	0,45 – 0,52 μm	Χαρτογράφηση παράκτιων υδάτων, εδαφών/βλάστησης, διάκριση φυλλοβόλων/κωνοφόρων δέντρων.
2	0,52 – 0,60 μm	Ανάκλαση της πράσινης ακτινοβολίας από την υγιή βλάστηση.
3	0,63 – 0,69 μm	Απορρόφηση χλωροφύλλης για την διάκριση μεταξύ διαφορετικών ειδών φυτών.
4	0,76 – 0,90 μm	Μετρήσεις βιομάζας, οριοθέτηση υδάτινων μαζών.
5	1,55 – 1,75 μm	Μέτρηση της υγρασίας της βλάστησης, διάκριση μεταξύ χιονιού και σύννεφων.
6	10,40 – 12,25 μm	Θερμική χαρτογράφηση
7	2,08 – 2,35 μm	Υδροθερμική χαρτογράφηση
8	0,50 – 0,90 μm (PAN)	Χαρτογράφηση

(Πηγή: Αστάρας, 2006)

**Πίνακας 1.3. Χωρική Ανάλυση των Δορυφόρων LANDSAT - 5/TM & 7/ETM+**

ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ	ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (m)	
	LANDSAT – 5/TM	LANDSAT – 7/ETM+
1	30	30
2	30	30
3	30	30
4	30	30
5	30	30
6	120	60
7	30	30
8	-	15

(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

#### **1.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ**

Τα τελευταία χρόνια ολοένα και περισσότερο η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό σημαντικών γεωλογικών σχηματισμών οικονομικού ενδιαφέροντος. Παραδείγματα εφαρμογής έχουν πραγματοποιηθεί σε πολλές χώρες, ακόμα και στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Χαλκιδικής για τον εντοπισμό μεταλλευμάτων Μολύβδου, Ψευδαργύρου, Μαγγανίου και Χαλκού, με λήψη δορυφορικών εικόνων από τον πολυφασματικό σαρωτή LANDSAT 4 – 5/TM (Τσόμπος & Καλογερόπουλος, 1989).

Στο εξωτερικό παραδείγματα εφαρμογής έχουμε για τον εντοπισμό σιδηρομεταλλευμάτων στην Δυτική Σαχάρα και Νοτιοδυτική Αλγερία, με χρήση δορυφορικών εικόνων από τον LANDSAT – 7/ETM+ (Ciampalini κ.α., 2012, 2013), όπως επίσης για τον ίδιο σκοπό στην Δυτική Λιβύη (Alasta, 2011). Στην Τουρκία και πιο συγκεκριμένα στην λεκάνη απορροής Kelkit η μέθοδος της Τηλεπισκόπησης εφαρμόστηκε για τον εντοπισμό σημαντικών ποσοτήτων οξειδίων του σιδήρου και σιδηρούχων μεταλλευμάτων, με χρήση δορυφορικών εικόνων από τον LANDSAT – 7/ETM+ (Dogan, 2009), ενώ για τον ίδιο σκοπό χρησιμοποιήθηκε και στην Αίγυπτο και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή Tushka (Sarajlic, 2012). Επίσης στην Ανατολική έρημο της Αιγύπτου και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή του Wadi Barramiya, με την χρήση δορυφορικών εικόνων από τον LANDSAT – 7/ETM+ χαρτογραφήθηκαν τα σερπεντινιτικά πετρώματα τα οποία φιλοξενούν κοιτάσματα μαγνησίτη.

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης έχει επίσης εφαρμογή και στην χαρτογράφηση λατεριτικών κοιτασμάτων, τα οποία περιέχουν σημαντικές ποσότητες σιδήρου και νικελίου, όπως στην Βόρεια και Βορειοανατολική Βραζιλία, όπου χρησιμοποιήθηκαν εικόνες από τον LANDSAT – 5/TM (Hartwig & Caboclo, 2012). Παρόμοια έρευνα πραγματοποιήθηκε και στην περιοχή της Βόρειας Ταϊλάνδης και πιο συγκεκριμένα στην λεκάνη Phrae, όπου η χαρτογράφηση των συγκεκριμένων κοιτασμάτων έγινε με την χρήση δορυφορικών εικόνων (LANDSAT – 7/ETM+) (Soe κ.α., 2008). Σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και η επιστημονική έρευνα στο Βόρειο Σουδάν, στην περιοχή Abidiya, όπου με την βοήθεια δορυφορικών εικόνων (LANDSAT – 7/ETM+) πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική εξερεύνηση (mineral exploration), πλούσια σε οξείδια του σιδήρου και υδροξύλια, μέσα σε εξαλλοιωμένες ζώνες πετρωμάτων (Khidir & Babikir, 2013). Για τον ίδιο σκοπό πραγματοποιήθηκε έρευνα και στην Ιαπωνία, γύρω από το ηφαίστειο Kuju (Mia & Fujimitsu, 2012).

Τεράστιο ενδιαφέρον για την επιστημονική κοινότητα αποτέλεσε η εφαρμογή της συγκεκριμένης επιστήμης, όσον αφορά την χαρτογράφηση οφειολιθικών πετρωμάτων, με σκοπό την γεωλογική χαρτογράφηση, μέσω της ορυκτολογικής και πετρογραφικής εξερεύνησης. Τέτοιου είδους έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί στα γνωστά οφειολιθικά συμπλέγματα του Ομάν (Abrams κ.α., 1988), του Πακιστάν (Muslim Bagh) (Khan κ.α., 2007, 2008) και του Νότιου Ιράν (Soghan) (Pournamdari κ.α., 2014), όπου για τους σκοπούς των συγκεκριμένων ερευνών χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες από τους δορυφόρους ASTER και LANDSAT TM.



Η χρήση και των δύο δορυφόρων ταυτόχρονα χρησιμοποιήθηκε επίσης για την χαρτογράφηση λατεριτικών κοιτασμάτων στις χώρες της Ερυθραίας και της Σουηδικής Αραβίας (Deller, 2007), ενώ έρευνες πραγματοποιήθηκαν μόνο με την χρήση των δορυφόρων ASTER. Ορισμένα παραδείγματα εφαρμογής έχουμε στην Ινδία και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή Jharkhand, με σκοπό την χαρτογράφηση βωξιτικών κοιτασμάτων (Guhaa κ.α., 2013) και στην περιοχή Behabad στο Ιράν, με στόχο τον εντοπισμό και την χαρτογράφηση μεταλλευμάτων μολύβδου και ψευδαργύρου (Molan & Behnia, 2012). Οι δορυφόροι ASTER αξιοποιήθηκαν και στην περιοχή του Ομάν για την χαρτογράφηση των γνωστών οφειολιθικών πετρωμάτων (Rajendran κ.α., 2013, 2014, Rajendran & Nasir, 2014). Αξίζει να επισημανθεί ότι η χρήση και των δύο δορυφόρων θεωρείται σημαντική για τον εντοπισμό γεωλογικών σχηματισμών που έχουν υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση σε πορφυριτικά κοιτάσματα χαλκού και επιθερμικά κοιτάσματα χρυσού αντίστοιχα (Sabins, 1999, Pour & Hashim, 2012).

Γενικά ο ρόλος της Τηλεπισκόπησης είναι πολύ σημαντικός στην εξερεύνηση ορυκτών πόρων (Mineral Resources). Η σύγχρονη αυτή μέθοδος μπορεί να βοηθήσει άμεσα και γρήγορα στην οριοθέτηση μεταλλοφόρων περιοχών σε ακόμη μεγαλύτερες εκτάσεις, με αποτέλεσμα να απομονωθούν από άλλες μη ενδιαφερόμενες περιοχές για την πραγματοποίηση περαιτέρω εξερευνήσεων. Επομένως η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης διαδραματίζει έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στον αποτελεσματικό εντοπισμό ορυκτών πόρων, μειώνοντας αισθητά το κόστος της αναζήτησης και της έρευνας (Gupta, 1991). Επίσης μπορεί να αποτελέσει σημαντική πηγή πληροφοριών, όσον αφορά την χωροθέτηση μεταλλευτικών και λατομικών εργασιών (Άρθρο 85 – Μεταλλευτικού Κώδικα). Η ορυκτολογική εξερεύνηση πραγματοποιείται σε τέσσερα στάδια, τα οποία είναι τα εξής (Gupta, 1991):

1. Περιφερειακή αναγνώριση ή επισκόπηση.
2. Προκαταρκτικές έρευνες.
3. Λεπτομερής εξερεύνηση στην επιφάνεια του εδάφους και εξερεύνηση στο υπέδαφος.
4. Λεπτομερής εξερεύνηση στο υπέδαφος και ερμηνεία δεδομένων.

Η λήψη εικόνων, είτε μέσα από δορυφόρους, είτε μέσα από αεροφωτογραφίες ορισμένης κλίμακας, αποτελούν την πιο σημαντική πηγή δεδομένων για περεταίρω έρευνα μία περιοχής, σε συνδυασμό με άλλου είδους εκτενής έρευνες (γεωλογικές, γεωφυσικές, γεωχημικές, τοπογραφικές). Η επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί, όχι μόνο με την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης αλλά και σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) που αποτελεί εξίσου μία πολύ σημαντική επιστήμη στον τομέα της Γεωπληροφορικής. Οι τεχνικές επεξεργασίας των γεωβάσεων (Geodatabase), όπου δημιουργούνται μέσω του GIS και των δορυφορικών δεδομένων, μπορεί να αποδειχθούν αποτελεσματικές. Η υψηλή ανάλυση δορυφορικών δεδομένων χρησιμοποιείται επίσης για την παρακολούθηση επιφανειακών εξορυκτικών δραστηριοτήτων και των επιδράσεων στην επιφάνεια της Γης από τις υπόγειες εξορυκτικές δραστηριότητες (Gupta, 1991).

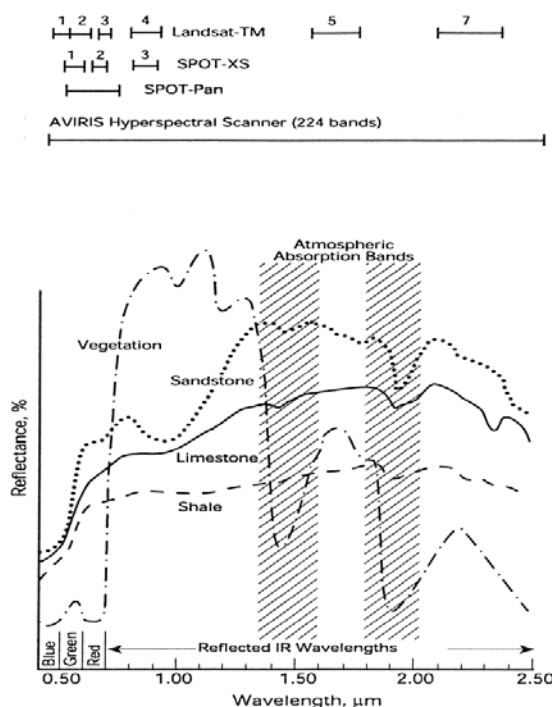
## 2.ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

### 2.1. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες, διαπιστώνεται ότι οι δορυφόροι LANDSAT – 5/TM και LANDSAT – 7/ETM+ ουσιαστικά δεν παρουσιάζουν διαφορές, όσον αφορά το εύρος και την χρησιμότητα των φασματικών ζωνών, παρά μόνο σε μία (6<sup>η</sup> – θερμική φασματική ζώνη), όπου έχουμε διαφορετική χωρική ανάλυση, όπως επίσης και στην παρουσία μίας παγχρωματικής ζώνης σε έναν από τους δύο δορυφόρους (LANDSAT – 7/ETM+).

Τα μήκη κύματος κάθε μίας ζώνης, έχει άμεση σχέση με την ανακλαστικότητα των αντικειμένων που παρατηρούμε στην επιφάνεια της Γης, η οποία εκφράζεται με ένα επί τις εκατό (%) ποσοστό, με αποτέλεσμα να διαμορφώνονται βασικοί τύποι αντικειμένων, όπως είναι η βλάστηση, το έδαφος (συμπεριλαμβανομένου και τα πετρώματα) και οι υδάτινες επιφάνειες.

Γενικότερα, τα φυσικά χαρακτηριστικά κάθε αντικειμένου δείχνουν πόσο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας, κάθε μήκος κύματος, ανακλάται καθορίζοντας τη φασματική κατανομή (Spectral Distribution) της ακτινοβολίας που ανακλάται από το αντικείμενο. Αυτή η ανακλώμενη ενέργεια με την χαρακτηριστική φασματική κατανομή για κάθε αντικείμενο που αναφέρεται ως η φασματική ταυτότητα (Spectral Signature) ή φασματική απόκριση (Spectral Response) του αντικειμένου, καταγράφεται κατάλληλα από τους διάφορους δέκτες (sensors), όπως των προαναφερθέντων δορυφόρων ή και άλλων αερομεταφορών (Αστάρας, 2006).

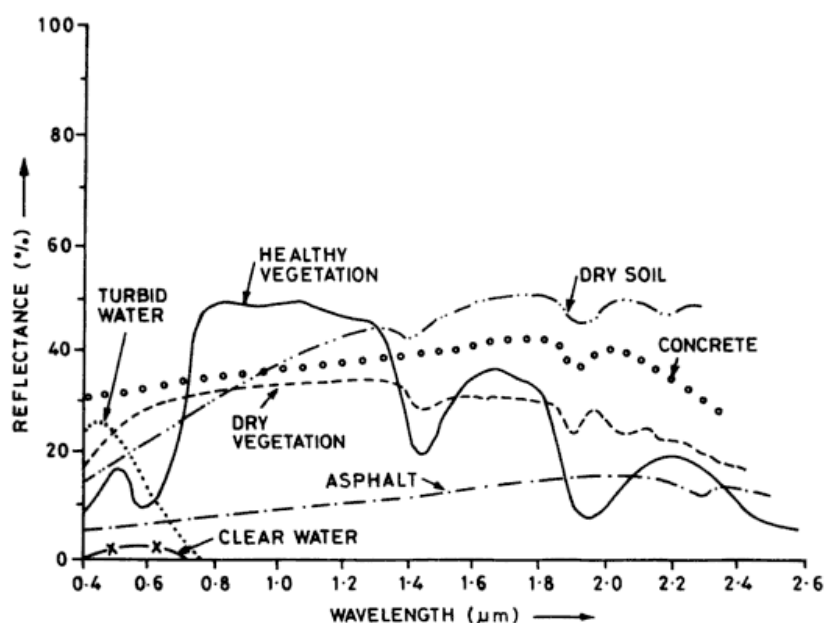


Εικόνα 2.1. Φασματική Απόκριση Βλάστησης και Ιζηματογενών Πετρωμάτων (Sabins, 1999)

Η εικόνα 2.1 μας δείχνει την φασματική απόκριση της βλάστησης και τριών συνηθισμένων ιζηματογενών πετρωμάτων (ψαμμίτης, ασβεστόλιθος και αργιλικός σχιστόλιθος αντίστοιχα). Στον κάθετο άξονα έχουμε την ανακλαστικότητα των υλικών, ενώ στον οριζόντιο άξονα έχουμε τα μήκη κύματος από το ορατό (0,4 – 0,7 μm) έως και ένα μέρος του υπέρυθρου φάσματος (0,7 – 3 μm).

Σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η φασματική απόκριση και άλλων φυσικών αντικειμένων σύμφωνα με την εικόνα 2.2, η οποία κυμαίνεται από το ορατό μέχρι το βραχύ υπέρυθρο φάσμα (VNIR – SWIR). Συγκεκριμένα τα καθαρά νερά παρουσιάζουν χαμηλή ανακλαστικότητα σε σχέση με τα θολά νερά, όπου εκεί είναι υψηλότερη, λόγω της παρουσίας αιωρούμενης ιλύος. Η ανακλαστικότητα του εδάφους διέπεται από έναν αριθμό παραγόντων, όπως το μητρικό πέτρωμα, το είδος και το βαθμό αποσάθρωσης, την περιεκτικότητα από πλευράς υγρασίας και την βιομάζα. Τα εδάφη που παρουσιάζουν μικρή ανακλαστικότητα από το ορατό προς το εγγύς υπέρυθρο (VNIR), οφείλονται από την παρουσία άλλων συστατικών, όπως της υγρασίας και των οξειδίων του σιδήρου (Gupta, 1991). Μικρή ανακλαστικότητα παρουσιάζουν εδάφη πλούσια σε οργανικές ουσίες, λόγω στις υδρόφιλες ιδιότητες των οργανικών ουσιών, όπως επίσης και αργιλλώδη εδάφη (βαριά), όπου συγκρατούν νερό για περισσότερη διάρκεια σε σχέση με τα αμμώδη εδάφη.

Στην περίπτωση της βλάστησης η ανακλαστικότητα είναι υψηλή στο υπέρυθρο φάσμα μεταξύ 0,7 – 1,35 μm, διότι βασίζεται στην ανοικτή δομή (μορφολογία των κυττάρων) των φύλλων. Ο αέρας με την σειρά του παίζει σημαντικό ρόλο, όπου υπάρχει στα μεσοδιαστήματα μεταξύ της κυτταρικής μεμβράνης και του σπογγώδους ιστού του μεσόφυλλου, στο φυτά. Η αναλογία μεταξύ αυτών είναι πολύ σημαντική, καθότι όσο περισσότερος αέρας υπάρχει, τόσο μεγαλύτερη ανακλαστικότητα θα έχουμε στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος (Αστάρας, 2006).



Εικόνα 2.2. Φασματική Απόκριση Φυσικών Αντικειμένων (Gupta, 2003)

## **2.2. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

Η παρουσία ορυκτών πόρων στην επιφάνεια της Γης μας οδηγεί στον εντοπισμό τους, μέσω της φασματικής απόκρισης. Η συγκέντρωση αυτών των ορυκτών δημιουργεί γεωλογικούς σχηματισμούς οικονομικού ενδιαφέροντος, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως κοιτάσματα, με αποτέλεσμα να επιτρέπεται η εκμετάλλευσή τους. Οι ορυκτές πρώτες ύλες διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Μεταλλικά ορυκτά.
2. Μη μεταλλικά ορυκτά.
3. Ορυκτά καύσιμα.

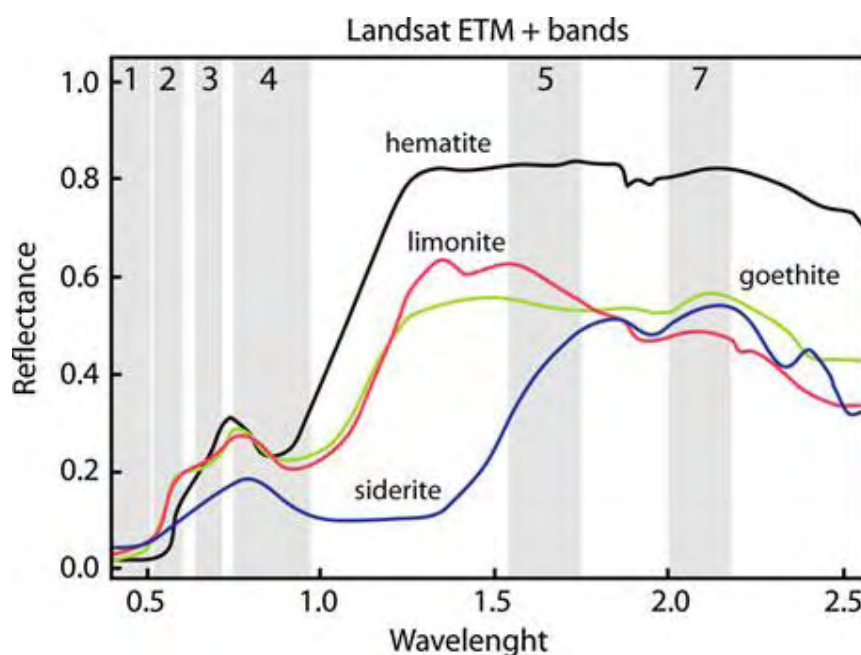
Αν σε ένα κοιτάσμα συμμετέχουν μεταλλικά ορυκτά, είτε ως αυτοφυή, είτε ως ενώσεις μετάλλων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην μεταλλουργία, τότε χαρακτηρίζεται ως μεταλλοφόρο κοιτάσμα (Ore Deposits) ή κοιτάσμα μεταλλευμάτων. Στην περίπτωση που υπάρχουν μη μεταλλικά ορυκτά ή πετρώματα που είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμα, τότε χαρακτηρίζονται ως βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα (π.χ. Μάρμαρα, Μπετονίτης, Άργιλος κ.α.). Αξίζει να αναφερθεί ότι η παρουσία των ορυκτών πόρων που παρατηρείται σε εδάφη, είτε με μορφή καλύμματος πάνω σε ένα πέτρωμα, είτε με μορφή απόθεσης μέσα σε κοιλότητες πετρωμάτων, προέρχεται από μία μακροχρόνια σειρά φυσικοχημικών διεργασιών (αποσάθρωση και διάβρωση), όπως έχουμε στην περίπτωση των λατεριτικών και βωξιτικών κοιτασμάτων.

Η παρουσία σιδήρου στους ορυκτούς πόρους, αποτελεί το πιο σημαντικό συστατικό στην φασματική περιοχή του ορατού και εγγύς υπέρυθρου φάσματος (VNIR). Συγκεκριμένα τα ιόντα τρισθενούς σιδήρου ( $\text{Fe}^{3+}$ ) παρουσιάζουν χαμηλή ανακλαστικότητα στην περιοχή του μπλε φάσματος ( $0,4 - 0,5 \mu\text{m}$ ), ενώ γενικά αυξάνεται προς το υπέρυθρο φάσμα, με μέγιστη εμφάνιση στα  $1,3 - 1,6 \mu\text{m}$ . Συνήθως τα ιόντα τρισθενούς σιδήρου εμφανίζουν απορροφητικότητα στα  $0,4 \mu\text{m}$ ,  $0,5 \mu\text{m}$ ,  $0,7 \mu\text{m}$  και  $0,8 \mu\text{m}$ , ενώ τα ιόντα δισθενούς σιδήρου ( $\text{Fe}^{2+}$ ) στα  $0,43 \mu\text{m}$ ,  $0,45 \mu\text{m}$ ,  $0,55 \mu\text{m}$ ,  $0,57 \mu\text{m}$ ,  $1,0 \mu\text{m}$  και  $1,8 - 2,0 \mu\text{m}$ . Τέτοιου είδους σιδηρούχα ορυκτά, τα οποία περιέχουν οξειδία του σιδήρου είναι ο αιματίτης ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ο λειμωνίτης ( $\text{FeO} \cdot \text{OH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) και ο γκαιτίτης ( $\text{FeO} \cdot \text{OH}$ ) (Εικ. 2.3). Επίσης στην συγκεκριμένη φασματική περιοχή εμφανίζουν απορροφητικότητα και άλλα μεταλλικά στοιχεία, όπως το μαγγάνιο ( $\text{Mn}^{2+}$ ) ( $0,34 \mu\text{m}$ ,  $0,37 \mu\text{m}$ ,  $0,41 \mu\text{m}$ ,  $0,45 \mu\text{m}$ , και  $0,55 \mu\text{m}$ ), ο χαλκός (Cu) ( $0,8 \mu\text{m}$ ), το νικέλιο (Ni) ( $0,4 \mu\text{m}$ ,  $0,74 \mu\text{m}$  και  $1,25 \mu\text{m}$ ) και το χρώμιο (Cr) ( $0,35 \mu\text{m}$ ,  $0,45 \mu\text{m}$  και  $0,55 \mu\text{m}$ ), με τον χρωμίτη ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) να αποτελεί την πιο χαρακτηριστική περίπτωση (Gupta, 1991).

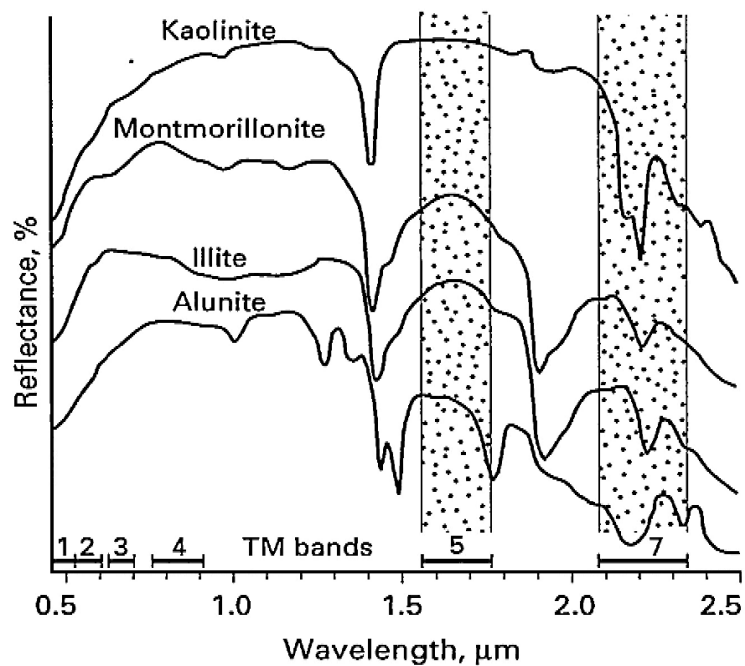
Στο βραχύ υπέρυθρο φάσμα (SWIR) τα υδροξύλια και τα ανθρακικά ιόντα, αποτελούν την πιο σημαντική ομάδα ανιόντων που ανήκουν στην συγκεκριμένη φασματική περιοχή. Υδροξύλια υπάρχουν σε αργιλικά ορυκτά, όπως ο καολίνιτης (καολίνη) ( $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ), ο αλουνίτης, ο ιλλίτης ( $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})\text{Al}_2[(\text{OH})_2]\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$ ), ο μοντμοριλλονίτης ( $\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), το διάσπορο ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) κ.α., όπου

σχετίζονται με υδροθερμικές ζώνες εξαλλοίωσης (Hydrothermal Alteration Zones). Ειδικότερα στα 1,6  $\mu\text{m}$  παρουσιάζεται μέγιστη ανακλαστικότητα, ενώ στα 2,1 – 2,4  $\mu\text{m}$  χαρακτηρίζεται από έντονη απορροφητικότητα, με χαμηλή ανακλαστικότητα στην φασματική ζώνη 7, όπου προκύπτει στη παρουσία ιόντων υδροξυλίων σε συνδυασμό με αργίλιο και μαγνήσιο (π.χ.  $\text{Al} - \text{OH}$  και  $\text{Mg} - \text{OH}$ ), γεγονός που είναι σύνηθες σε αργιλικά και ένυδρα πυριτικά ορυκτά (Gupta, 1991). Ως εκ' τούτο ο λόγος ευρύ φασμάτων (1,55 – 1,75/2,2 – 2,24), αποτελεί μία ισχυρή παράμετρος στον προσδιορισμό της παρουσίας αργλικών ορυκτών (Gupta στο Abrams κ.α., 1977) (Εικ. 2.4).

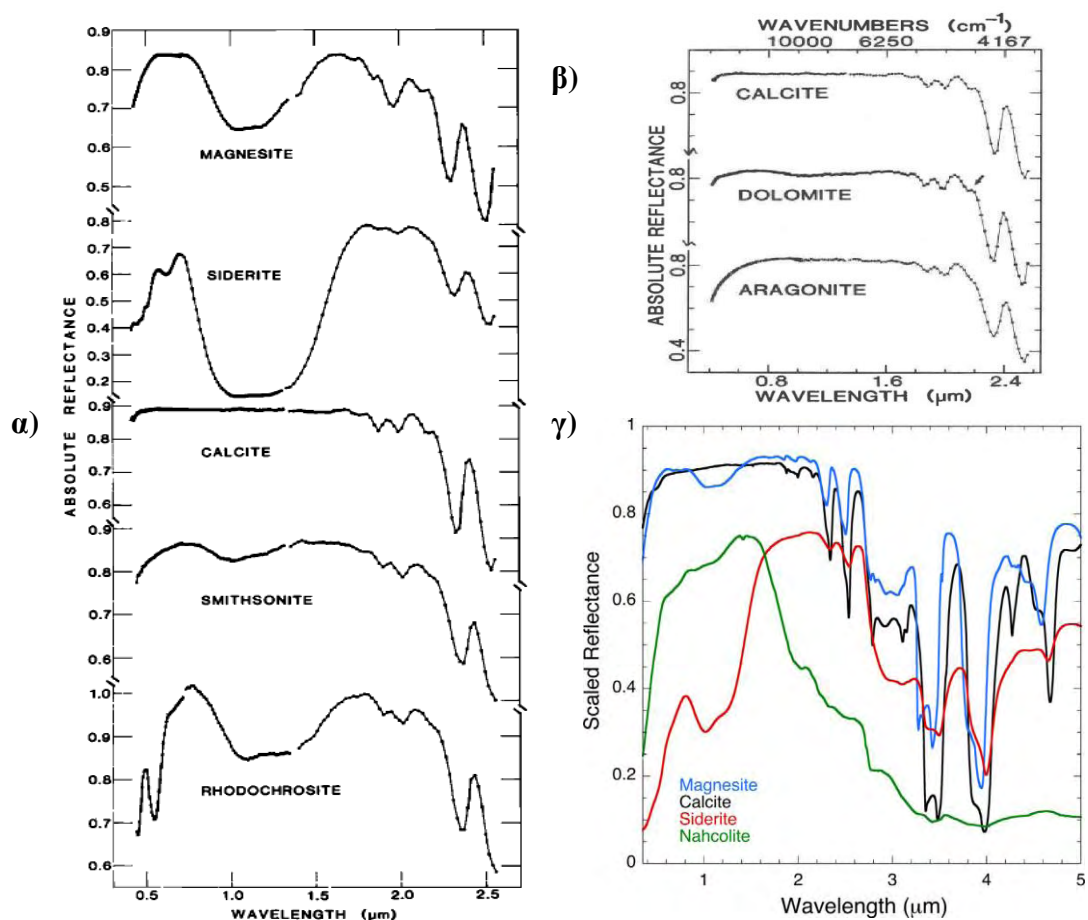
Στην περίπτωση των ανθρακικών ορυκτών, όπως του ασβεστίτη ( $\text{CaCO}_3$ ), του μαγνησίτη – λευκόλιθου ( $\text{MgCO}_3$ ), του δολομίτη ( $(\text{Ca} - \text{Mg}) \text{CO}_3$ ) και του σιδηρίτη ( $\text{FeCO}_3$ ) η απορροφητικότητα εμφανίζεται επίσης στο βραχύ υπέρυθρο φάσμα και πιο συγκεκριμένα στα 1,9  $\mu\text{m}$ , 2,0  $\mu\text{m}$ , 2,16  $\mu\text{m}$ , 2,35  $\mu\text{m}$ , και 2,55  $\mu\text{m}$ . Συγκεκριμένα στα 1,9  $\mu\text{m}$  η απορροφητικότητα μπορεί να προκύπτει από την αλληλεπίδραση των μορίων νερού, ενώ στα 2,35  $\mu\text{m}$  εμφανίζεται μία απορροφητικότητα, η οποία είναι όμοια με αυτή των αργλικών ορυκτών. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα 1,4  $\mu\text{m}$ , 2,35  $\mu\text{m}$  και 2,5  $\mu\text{m}$  μπορεί να θεωρηθούν διαγνωστικές τιμές για τα ανθρακικά ορυκτά. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στα ανθρακικά ορυκτά του σιδηρίτη και του ροδοχρωσίτη ( $\text{MnCO}_3$ ), όπου η απορροφητικότητα τους εμφανίζεται και στην περιοχή του ορατού και εγγύς υπέρυθρου φάσματος (Gutpra, 1991) (Εικ. 2.5, α, β, γ). Τέλος αυτό που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι τα ανθρακικά και αργιλικά ορυκτά παρουσιάζουν απορροφητικότητα και στο μέσο υπέρυθρο φάσμα (MIR), όπου αποτελεί μέρος του θερμικού υπέρυθρου φάσματος (TIR), με τα ανθρακικά στα 3,4  $\mu\text{m}$ , 3,9  $\mu\text{m}$ , 4,7  $\mu\text{m}$ , 7  $\mu\text{m}$ , 9  $\mu\text{m}$ , 11 – 12  $\mu\text{m}$  και 13 – 15  $\mu\text{m}$ , και τα αργιλικά στα 11  $\mu\text{m}$ .



**Εικόνα 2.3. Φασματική Απόκριση Ορυκτών Σιδήρου σε σχέση με τις Φασματικές Ζώνες του LANDSAT - 7/ETM+ (Ciampalini κ.α. στο USGS)**



Εικόνα 2.4. Φασματική Απόκριση Αργιλικών Ορυκτών σε σχέση με τις Φασματικές Ζώνες του LANDSAT - 5/TM (Sabins, 1999)



Εικόνα 2.5. Φασματική Απόκριση Ανθρακικών Ορυκτών (α, β: Gaffey, 1986 & 1987 γ: Harner & Gilmore, 2015)

### **2.3. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ**

Η φασματική απόκριση των πετρωμάτων εξαρτάται από τα φάσματα των ορυκτών συστατικών τους, δίνοντας ουσιαστικά μία σημαντική ποσότητα πληροφοριών, όσον αφορά τους ορυκτολογικούς και λιθολογικούς χαρακτήρες του εδάφους. Όπως στην περίπτωση των ορυκτών, έτσι και στην περίπτωση των πετρωμάτων η ταυτότητα διαφαίνεται μεταξύ του ορατού, του εγγύς, του βραχύ και του μέσου υπέρυθρου φάσματος.

Τα πετρώματα ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμό τους διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Πυριγενή Πετρώματα (Πλουτωνικά, Φλεβικά και Ηφαιστειακά).
2. Ιζηματογενή Πετρώματα.
3. Μεταμορφωμένα Πετρώματα.

Στα πυριγενή πετρώματα και πιο συγκεκριμένα στα βασικά πετρώματα (Mafic Rocks), τα οποία περιέχουν σίδηρο, πυροξένους, αμφίβολοι και μαγνητίτη και επομένως ιόντα δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου, εμφανίζουν απορροφητικότητα στα 0,7  $\mu\text{m}$  και 1,0  $\mu\text{m}$ . Στα υπερβασικά πετρώματα (Ultramafic Rocks) που περιέχουν μεγαλύτερη ποσότητα σιδήρου, όπως ο πυροξενίτης, η απορροφητικότητα εμφανίζεται στα 0,7  $\mu\text{m}$ , 1,0  $\mu\text{m}$  και 2,0  $\mu\text{m}$ , ενώ ο δουνίτης απορροφητικότητα στα 1,0  $\mu\text{m}$  (Gupta, 1991).

Στα ιζηματογενή πετρώματα γενικά με την παρουσία υδροξυλίων και της υγρασίας η απορροφητικότητα εμφανίζεται μεταξύ στα 1,4  $\mu\text{m}$  και 1,9  $\mu\text{m}$ . Οι αργιλικοί σχιστόλιθοι έχουν επιπλέον απορρόφηση μεταξύ 2,1  $\mu\text{m}$  και 2,4  $\mu\text{m}$ , εξαιτίας της παρουσίας των υδροξυλίων του αργίλου και του μαγνησίου (Al – OH & Mg – OH). Στην περίπτωση των ψαμμιτικών πετρωμάτων, όπου υπάρχουν μικρές ποσότητες οξειδίων του σιδήρου, η απορροφητικότητα παρουσιάζεται στα 0,87  $\mu\text{m}$ , ενώ στην περίπτωση των ασβεστολιθικών ψαμμιτικών πετρωμάτων η απορροφητικότητα παρουσιάζεται στα 1,9  $\mu\text{m}$  και 2,35  $\mu\text{m}$ , όπως και στους καθαρούς ασβεστόλιθους, λόγω της παρουσίας ανθρακικών ορυκτών. Επίσης στους δολομίτες, εξαιτίας της αντικατάστασης του μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) σε σίδηρο ( $\text{Fe}^{2+}$ ), η απορροφητικότητα είναι ίδια με αυτή των ιόντων δισθενούς σιδήρου (1  $\mu\text{m}$ ) (Gupta, 1991).

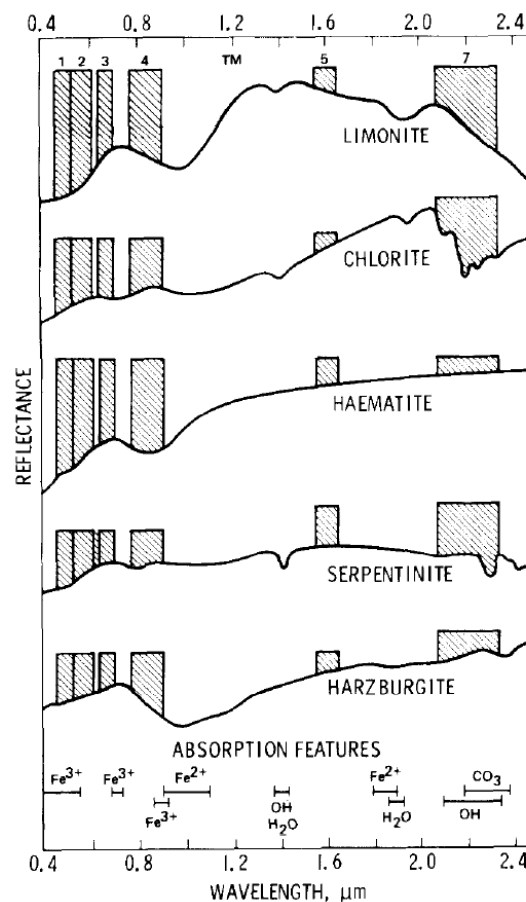
Στα μεταμορφωμένα πετρώματα μεγάλο ενδιαφέρον υπάρχει στους σχιστόλιθους με κεροστύλβη και τρεμολίτη, λόγω της παρουσίας ιόντων δισθενούς σιδήρου. Το μάρμαρο, ο σχιστόλιθος και ο χαλαζίτης παρουσιάζουν απορροφητικότητα ίδια με αυτή των υδροξυλίων και των μορίων νερού (1,4  $\mu\text{m}$  & 1,9  $\mu\text{m}$ ), με το μάρμαρο να έχει ίδια απορροφητικότητα με αυτή των ανθρακικών ορυκτών (1,9  $\mu\text{m}$  & 2,35  $\mu\text{m}$ ) (Gupta, 1991).

Τα πετρώματα που έχουν υποστεί εξαλλοίωση (Alteration Zones) αποτελούν ξεχωριστή περίπτωση στην φασματική απόκριση των πετρωμάτων, καθώς θεωρείται σημαντική στην ορυκτολογική εξερεύνηση, η οποία χαρακτηρίζεται από μία αφθονία

ορυκτών, όπως ο καολινίτης, ο μοντμοριλλονίτης, ο σερεκίτης, ο μοσχοβίτης, ο βιοτίτης, ο χλωρίτης, το επίδοτο, ο αλουνίτης, ο ζεόλιθος, ο χαλαζίας, ο αλβίτης, ο πυροφυλλίτης, ο γκαιτίτης, ο αιματίτης, ο ιαροσίτης, ο ασβεστίτης, ο σερπεντίνης κ.α. Αυτά τα ορυκτά που σχετίζονται με ζώνες εξαλλοίωσης χωρίζονται στις εξής κατηγορίες (Gupta, 1991):

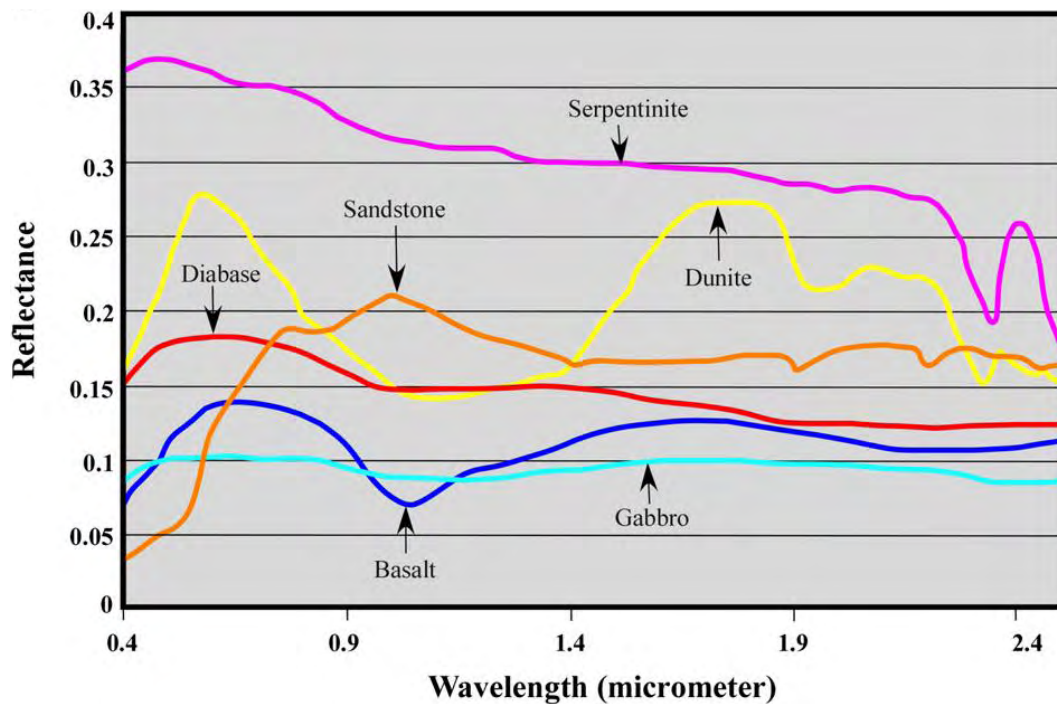
1. Οξείδια του Σιδήρου.
2. Υδροξύλια & μέταλλα υδροξειδίων.
3. Αργιλικά (Φυλλοπηριτικά).
4. Ανθρακικά
5. Χαλαζίες – Άστριοι.

Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ανάλογα με την ορυκτολογική σύσταση αυτών των πετρωμάτων θα έχουμε αντίστοιχα και την ανάλογη φασματική απόκριση. Παρακάτω στην εικόνα 2.6 δείχνει την σύγκριση ορυκτών οξειδίων του σιδήρου (αιματίτης, λειμωνίτης) και χλωρίου (χλωρίτης) με τα πετρώματα του σερπεντινίτη και του χαρτσβουργίτη, ενώ στην εικόνα 2.7 δείχνει την φασματική απόκριση ορισμένων πετρωμάτων. Τέλος στην εικόνα 2.8 μας δείχνει την σύγκριση των φασματικών αποκρίσεων μεταξύ των εξαλλοιωμένων και μη πετρωμάτων.

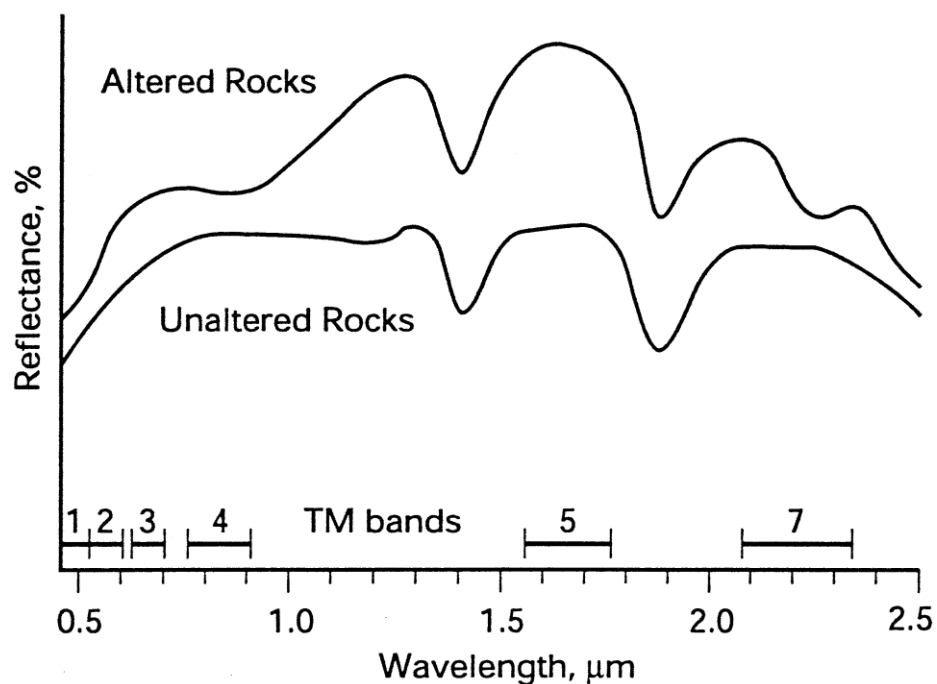


**Εικόνα 2.6. Φασματική Απόκριση του Αιματίτη, του Λειμωνίτη, του Χλωρίτη, του Σερπεντινίτη και του Χαρτσβουργίτη σε σχέση με τις Φασματικές Ζώνες του LANDSAT - 5/TM (Abrams κ.α. στο Hunt κ.α., 1971 & 1974)**





Εικόνα 2.7. Φασματική Απόκριση ορισμένων Πετρωμάτων (Khan & Mahmood, 2008)



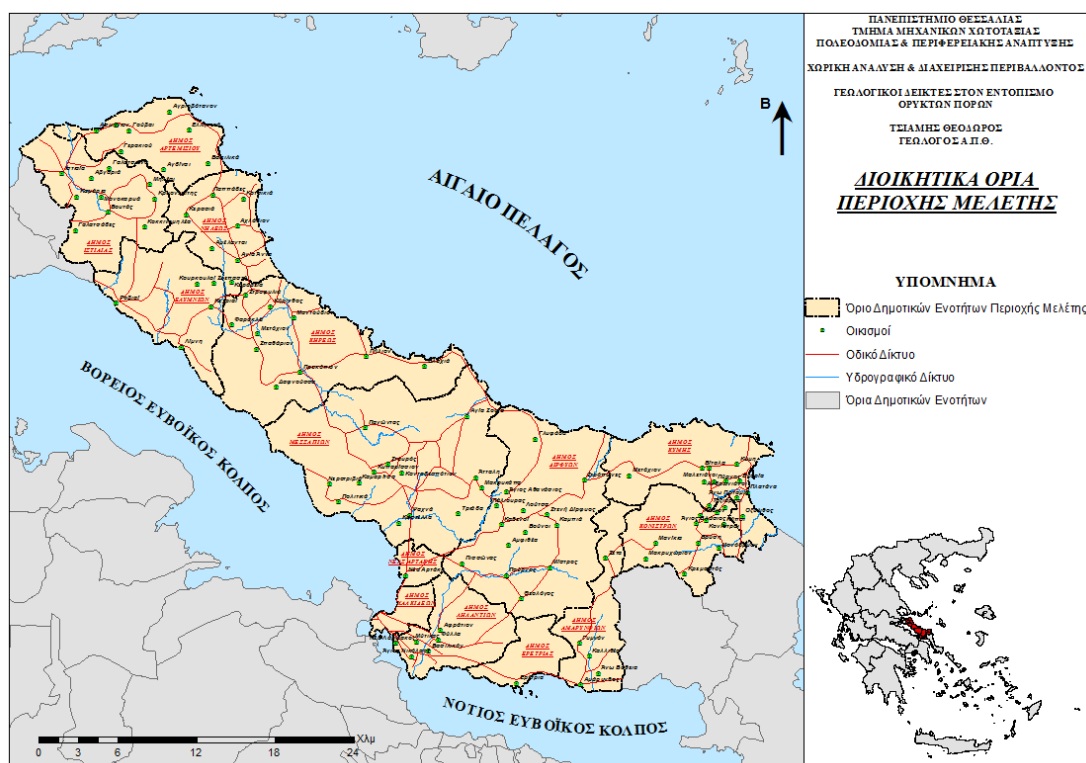
Εικόνα 2.8. Φασματική Απόκριση Εξαλλοιωμένων και μη Πετρωμάτων σε σχέση με τις Φασματικές Ζώνες του LANDSAT - 5/TM (Sabins, 1999)

### 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

#### 3.1. ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΟΡΙΑ

Η περιοχή έρευνας εμπίπτει στην Αποκεντρωμένη Διοίκηση Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας, ενώ ανήκει στην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας και πιο συγκεκριμένα στην Περιφερειακή Ενότητα Εύβοιας.

Σύμφωνα με τον Καλλικρατικό Νόμο (Ν.3852/2010) στην περιοχή έρευνας εντάσσονται οι Δήμοι Ιστιαίας – Αιδηψού (στο μεγαλύτερο μέρος), Μαντουδίου – Λίμνης – Αγίας Άννας, Διρφύων – Μεσσαπίων, Ερέτριας, Κύμης – Αλιβερίου (Βόρειο τμήμα) και Χαλκιδέων, όπου εκεί ανήκει η Πρωτεύουσα του Νομού Εύβοιας, Χαλκίδα. Επίσης από τους παραπάνω Δήμους η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει τις Δημοτικές ενότητες, όπως οι Δήμοι Αρτεμισίου, Ιστιαίας, Νηλέως, Ελυμνίων, Κηρέως, Μεσσαπίων, Διρφύων, Νέας Αρτάκης, Χαλκιδέων, Ληλαντίων, Ερέτριας, Αμαρυνθίων, Κονιστρών και Κύμης (Χάρτης. 3.1).



Χάρτης 3.1. Διοικητικά Όρια Περιοχής Μελέτης (Ιδία Επεξεργασία)

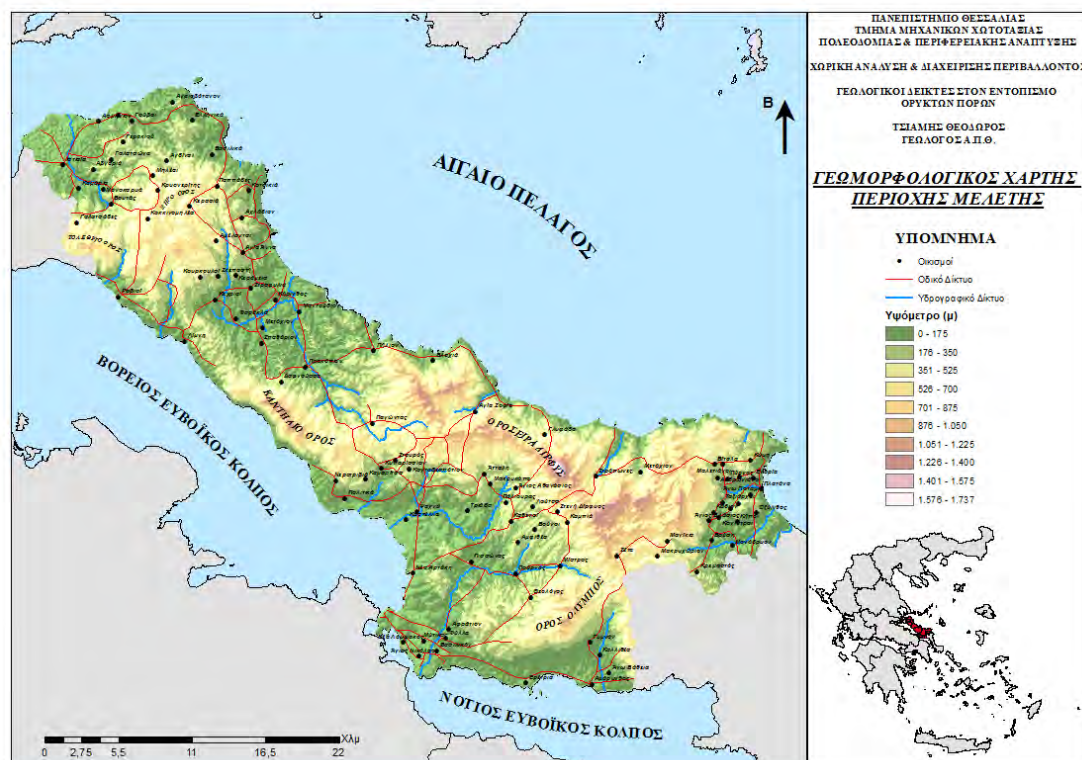
#### 3.2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στην Βορειοκεντρική Εύβοια, μεταξύ των προαναφερθέντων δημοτικών ενότητων. Η συνολική έκταση της περιοχής είναι 3.008,2 Km<sup>2</sup>, με πληθυσμό που ανέρχεται στους 150.444 σύμφωνα με την απογραφή του ΕΣΥΕ το 2001.

Η γεωμορφολογία της περιοχής αποτελείται, κυρίως από ορεινούς όγκους με χαρακτηριστική αυτής της Οροσειράς Δίρφυς, η οποία επεκτείνεται σε όλη την Κεντροανατολική Εύβοια, έχοντας υψόμετρο που φτάνει τα 1.743 μέτρα. Στην Βόρεια Εύβοια και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Ιστιαίας διακρίνονται οι Όροι Τολέθριο και Ξηρό, με υψόμετρα που φτάνουν τα 970 και 991 μέτρα αντίστοιχα, ενώ μεταξύ των Δήμων Κηρέως και Μεσσαπίων και στα παράλια του Βόρειου Ευβοϊκού Κόλπου διακρίνεται το Καντήλιο Όρος, με υψόμετρο που φτάνει τα 1.243 μέτρα. Τέλος στην Κεντρική Εύβοια και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Ερέτριας έχουμε το ορεινό όγκο του Ολύμπου, όπου έχει υψόμετρο που φτάνει τα 1.172 μέτρα.

Η περιοχή έρευνας παρουσιάζει επίσης και μικρές πεδινές περιοχές, κυρίως στην Βόρεια Εύβοια και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Ιστιαίας και του Μαντουδίου, όπου βρίσκεται στον Δήμο Κηρέως, αλλά και στην Κεντρική Εύβοια μεταξύ των Δήμων Μεσσαπίων, Δίρφυς, Νέας Αρτάκης και Χαλκιδέων, όπως επίσης και στην περιοχή της Ερέτριας, παράλια του Νότιου Ευβοϊκού Κόλπου.

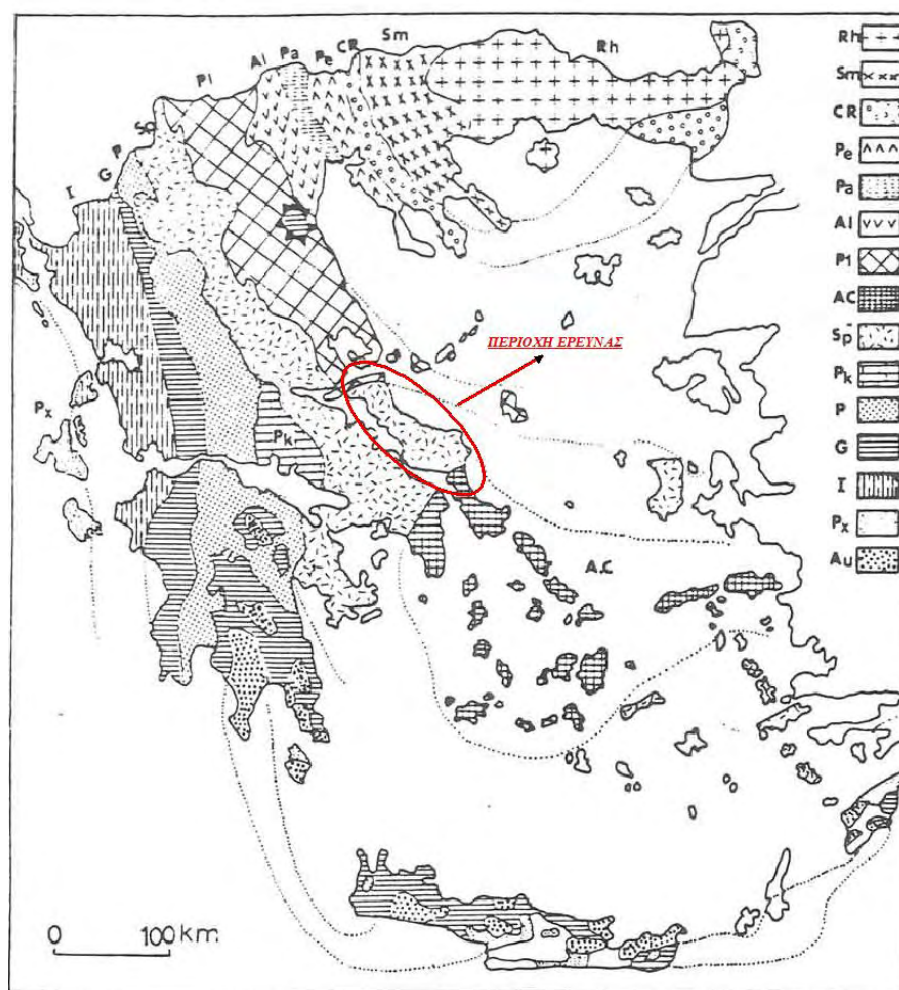
Όσον αφορά το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, αυτό χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρούς ποταμούς. Στην Βόρεια Εύβοια και από το Ξηρό Όρος πηγάζονται οι ποταμοί Συπιάδας και Γερανίας που καταλήγουν στον Βόρειο Ευβοϊκό Κόλπο και ο ποταμός Μηλεύς, με τελικό προορισμό στο Αιγαίο Πέλαγος. Ο ποταμός Κηρέας ενώνεται με τον ποταμό Νηλέα, όπου επίσης καταλήγουν στο Αιγαίο Πέλαγος, ενώ στην περιοχή της Κεντρικής Εύβοιας ο ποταμός Λήλας πηγάζεται από την Οροσειρά της Δίρφυς, όπου καταλήγει στον Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο (Χάρτης 3.2).



**Χάρτης 3.2. Γεωμορφολογία της Περιοχής Μελέτης (Ιδία Επεξεργασία)**

### 3.3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή έρευνας και γενικότερα η Κέντρική και Βόρεια Εύβοια ανήκει στην Υποπελαγονική Γεωτεκτονική Ζώνη, η οποία με την σειρά της ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες, όπου κατέχουν τα εσωτερικά τόξα των Ελληνίδων οροσειρών (Μουντράκης, 1985). Επίσης, σύμφωνα με νεότερες απόψεις, η περιοχή έρευνας υπάγεται στην Πελαγονική Ζώνη μη μεταμορφωμένων σχηματισμών, διότι θεωρείται ότι οι δύο ζώνες, δηλαδή η Υποπελαγονική και η Πελαγονική αντίστοιχα, συγκροτούν μία ενιαία ζώνη, με την πρώτη να συμπίπτει γεωγραφικά με την Πελαγονική Ζώνη μη μεταμορφωμένων σχηματισμών και την δεύτερη με την Πελαγονική Ζώνη μεταμορφωμένων σχηματισμών (Κατσικάτσος, 1992) (Εικ. 3.1).



Εικόνα 3.1. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων Ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική Μάζα, CR: Περιροδοπική Μάζα, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική Ζώνη, Ac: Αττικό – Κυκλαδική Ζώνη, Sp: Υποπελαγονική Ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, I: Ιόνιος Ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα <<Ταλέα Όρη – Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι>> πιθανόν της Ιονίου Ζώνης.

(Μουντράκης κ.α. 1983)



Στρωματογραφικά η ευρύτερη περιοχή δομείται αρχικά από το Παλαιοζωικό και συνάμα προαλπικό κρυσταλλικό υπόβαθρο που αποτελείται από γνευσίους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες και παρεμβολές μαρμάρων καθώς επίσης και ιζηματογενή ή ημιμεταμορφωμένα στρώματα Παλαιοζωικής ηλικίας.

Οι αλπικοί σχηματισμοί που συγκροτούν την τεκτονική και στρωματογραφική σειρά της περιοχής είναι ως εξής :

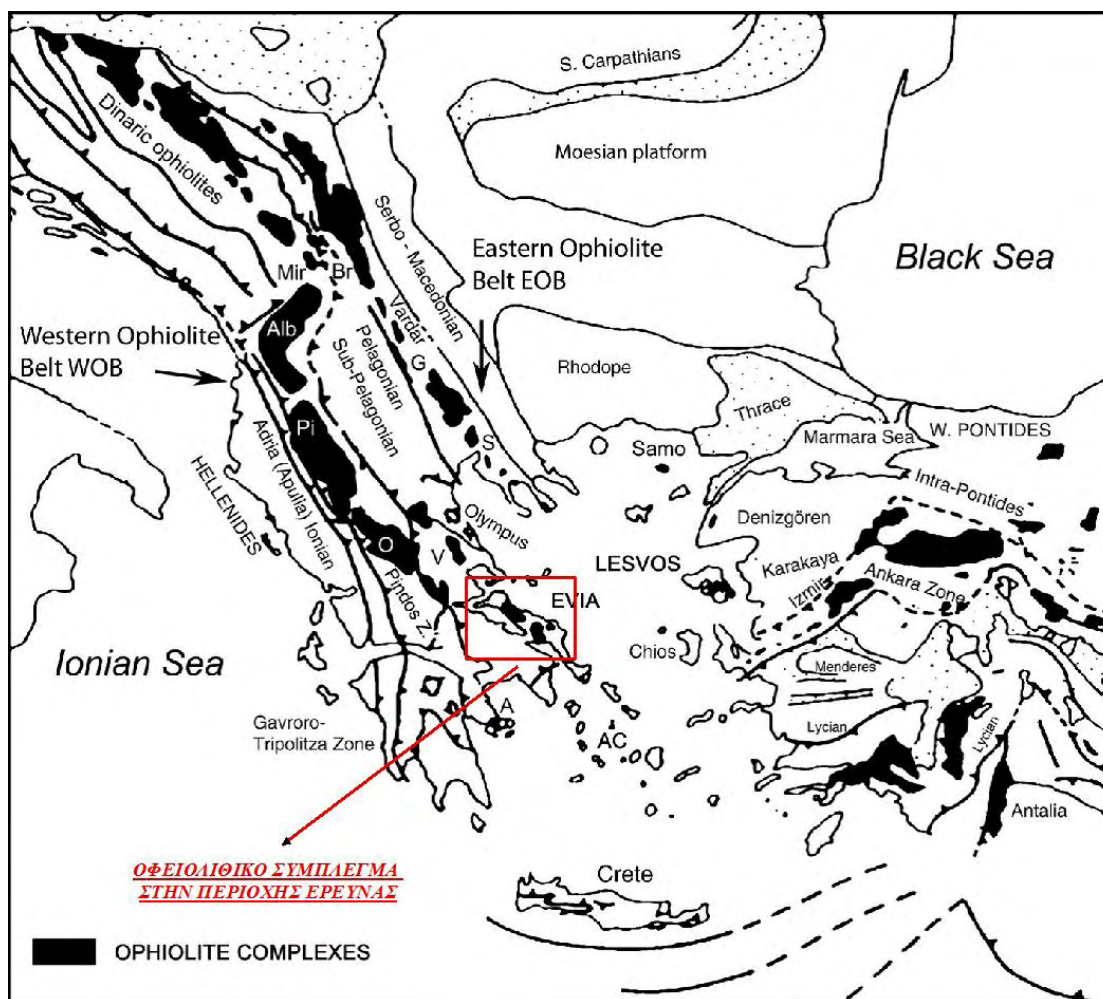
- Τριαδικά Ιζήματα, από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, πυριτικούς ή νηριτικούς ασβεστόλιθους, με χαρακτηριστικούς τους κόκκινους, αμμωνιτόφορους ασβεστόλιθους της φάσης Hallstatt και τεφρούς συχνά ωολιθικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες.
- Σχιστοκερατολιθική Διάπλαση και Οφειόλιθοι.
- Ιουρασικοί Πελαγικοί – Νηριτικοί Ασβεστόλιθοι.
- Μεσο – Ανω Κρητιδικοί επικλυσιογενείς σχηματισμοί, από ασβεστόλιθους και ιζήματα φλύσχη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι βασικό χαρακτηριστικό της Υποπελαγονικής Γεωτεκτονικής Ζώνης, το οποίο παρατηρείται και στην περιοχή μελέτης, είναι οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες και η συνοδεύουσα σχιστοκερατολιθική διάπλαση που έχει μεγάλη εξάπλωση. Σύμφωνα με την γεωτεκτονική εξέλιξη οι οφειόλιθοι χαρακτηρίζονται σαν η εξωτερική (δυτική) οφειολιθική λωρίδα της Ελλάδας γνωστή ως ERO.

Η σχιστοκερατολιθική διάπλαση συνίσταται από λεπτόκοκκα ιζήματα δηλαδή κόκκινους, πράσινους, μαύρους αργλικούς σχιστόλιθους, ραδιολαριτικούς κερατόλιθους, μάργες, λεπτόκοκκους ψαμμίτες, πηλίτες, παρεμβολές λεπτόκοκκων πελαγικών ασβεστόλιθων, ενώ μέσα στην διάπλαση βρίσκονται παρεμβολές οφειολιθικών σωμάτων, με αποτέλεσμα να ονομάζεται και **σχιστοκερατολιθική με οφειολίθους διάπλαση**.

Ο κύριος όγκος των οφειολίθων, παρότι που βρίσκεται στην ανώτερη στάθμη της εν' λόγω διάπλασης, εντούτοις όμως στην βάση παρατηρείται σχηματισμός τεκτονικών οφειολιθικών μιγμάτων (mélanges) (Μουντράκης, 1985). Τα κυριότερα πετρώματα που εμφανίζονται είναι βασικά και υπερβασικά πετρώματα, όπως, περιδοτίτες, σερπεντινίτες, χαρτσβουργίτες, δουνίτες, λερζόλιθοι, νορίτες, γάββροι, διαβάσες, δολερίτες, βασάλτες, pillow lavas, κ.α. Στην περιοχή μελέτης, τέτοιου είδους πετρώματα παρατηρούνται στην Βόρεια Εύβοια και πιο συγκεκριμένα στις περιοχές του χωριού Παππάδες, Τρούπι και Μαντουδίου, αλλά και στην Κεντρική Εύβοια στις περιοχές της Νέας Αρτάκης και της Κύμης (Εικ. 3.2).

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι οι οφειόλιθοι και η σχιστοκερατολιθική διάπλαση είναι επωθήμενες πάνω στους Ιουρασικούς Νηριτικούς ασβεστόλιθους, με μορφή τεκτονικού καλύμματος (Ηωελληνικό), το οποίο αναλύεται γενικά σε μία κατώτερη ενότητα από ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς και μία ανώτερη ενότητα, επωθήμενη στην κατώτερη, από οφειολιθικούς σχηματισμούς (Κατσικάτσος, 1986).



Εικόνα 3.2. Τοποθέτηση Οφειολιθικών Συμπλεγμάτων στην ευρύτερη περιοχή (Γκάρτζος κ.α. στο Robertson & Shallo, 2000)

### 3.4. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ Ν. ΕΥΒΟΙΑΣ

Η ιδιαίτερη έμφαση που δόθηκε στο παραπάνω υποκεφάλαιο, όσον αφορά την ύπαρξη των οφειολιθικών πετρωμάτων, έγινε διότι έχουν άμεση σχέση με γεωλογικούς σχηματισμούς οικονομικού ενδιαφέροντος, παίζοντας ουσιαστικά καταλυτικό ρόλο στην δημιουργία αυτών. Έτσι λοιπόν ο Νομός Εύβοιας συγκαταλέγεται στις περιοχές με αρκετά μεγάλο κοιτασματολογικό ενδιαφέρον, με έντονη εξορυκτική δραστηριότητα τα τελευταία χρόνια. Παρακάτω παρουσιάζονται τα σημαντικότερα κοιτάσματα της ευρύτερης περιοχής :

#### 3.4.1. Fe – Ni ΟΥΧΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

Σημαντικό στοιχείο των σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων είναι η συνύρπαξη του νικελίου, σιδήρου, χρωμίου και κοβαλτίου, πράγμα που οφείλεται από τον τρόπο γέννησης αυτών, δηλαδή από την λατεριτική αποσάθρωση των οφειολιθικών πετρωμάτων.

Τα περισσότερα αποθέματα βρίσκονται στην Υποπελαγονική και Πελαγονική Γεωτεκτονική ζώνη, όπου οι ασβεστόλιθοι του Ανώτερου Κρητιδικού κάλυψαν τα λατεριτικά κοιτάσματα. Όσα μεταλλεύματα που καλύφθηκαν απλώς από τους ασβεστόλιθους και παρέμειναν στο μητρικό πέτρωμα ονομάζονται αυτόχθονα, όπως έχουμε στην περίπτωση της Κεντρικής Εύβοιας, ενώ όσα μετακινήθηκαν και αποτέθηκαν σε λεκάνες του υποβάθρου ονομάζονται αλλόχθονα.

Κύριες φάσεις του μεταλλεύματος στην Κεντρική Εύβοια είναι ο αιματίτης, ο χαλαζίας, ο χλωρίτης, ο ιλλίτης και ο χρωμίτης. (Πίν. 3.1). Η περιεκτικότητα του νικελίου συνήθως κυμαίνεται από 0,4% - 1,2%, όμως στην περιοχή της Κεντρικής Εύβοιας το κυριότερο Ni – ούχο ορυκτό είναι ο χλωρίτης με μέση περιεκτικότητα σε NiO 5,15% (Πίν. 3.2). Παρατηρώντας τους παρακάτω πίνακες το 79% του Ni που εμπεριέχεται στο μέταλλευμα είναι ενδομημένο στο κρυσταλλικό πλέγμα του χλωρίτη, ο οποίος συμμετέχει με 18% στην ορυκτολογική σύσταση του λατερίτη. Στον αιματίτη, ο οποίος συμμετέχει με 45% στο μέταλλευμα εμπεριέχεται το 16% του Ni και στον ιλλίτη που συμμετέχει με 10%, το 5% (Μπόσκος, 2007).

**Πίνακας 3.1. Ορυκτολογική Σύσταση Λατεριτικών Fe - Ni ούχων Μεταλλευμάτων στην Κεντρική Εύβοια**

<i><b>ΟΡΥΚΤΟ</b></i>	<i><b>ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ %</b></i>	<i><b>ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ</b></i>
ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ	30 – 60 %	45
ΧΑΛΑΖΙΑΣ	5 – 30 %	21
ΧΛΩΡΙΤΗΣ	10 – 30 %	18
ΙΛΛΙΤΗΣ	5 – 10 %	10
ΧΡΩΜΙΤΗΣ	< 5 %	4

(Πηγή : Μπόσκος, 2007)

**Πίνακας 3.2. Μέση Χημική Σύσταση (wt%) του Fe - Ni ούχου Λατερίτη και των κύριων Ορυκτολογικών Φάσεων**

	<i><b>ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ</b></i>	<i><b>ΧΛΩΡΙΤΗΣ</b></i>	<i><b>ΙΛΛΙΤΗΣ</b></i>	<i><b>ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ</b></i>	<i><b>ΧΡΩΜΙΤΗΣ</b></i>
SiO <sub>2</sub>	32	28,90	46,26	2,88	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,5	20,50	26,33	2,02	33,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46	20,84	7,50	91,49	17,80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,1	1,94	2,72	2,28	36,93
MgO	3,4	9,94	3,16	-	13,12
K <sub>2</sub> O	0,8	0,70	8,89	-	-
NiO	1,16	5,15	0,59	0,42	0,09

(Πηγή : Μπόσκος, 2007)

Γενικά στην Ελλάδα έχουν εντοπιστεί περισσότερες από 110 εμφανίσεις Fe – Ni ούχων αποθέσεων, όπου τα κοιτάσματα της περιοχής Αρτάκης Εύβοιας θεωρείται οικονομικά πολύ σημαντικά (Τσιραμπίδης στο Αλεβίζος, 1997). Η μοναδική μεταλλευτική εταιρεία που δραστηριοποιείται στην εξόρυξη Fe – Ni ούχων μεταλλευμάτων στην Κεντρική Εύβοια (Παγώντας) (Εικ. 3.3) είναι η ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε., μία από τις μεγαλύτερες μεταλλουργικές βιομηχανίες της χώρας και από τις μεγαλύτερες του είδους στην Ευρώπη, όπου παραμένει ο μοναδικός παραγωγός νικελίου στην Ε.Ε. από εγχώρια μεταλλεύματα. Άλλες περιοχές που θεωρούνται



εξίσου σημαντικές είναι στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Εύβοιας, όπως στην περιοχή της Κύμης (Χάρτης 3.3). Γενικά σε όλη την Ελλάδα τα βεβαιωμένα αποθέματα νικελίου είναι περίπου 1,392 εκατ. τόνοι και η ακαθάριστη αξία τους 19,965 δις € (Τσιραμπίδης & Φιλιππίδης 2012).



**Εικόνα 3.3. Μεταλλευτική δραστηριότητα της εταιρείας ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε. (Ιδία Επεξεργασία)**



**Χάρτης 3.3. Μεταλλοφόρες περιοχές στην Κεντρική Εύβοια (Βαβελίδης κ.α. στο Αλμπαντάκης, 1979)**



### 3.4.2. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΜΑΓΝΗΣΙΤΗ – ΛΕΥΚΟΛΙΘΟΥ

Ο μαγνησίτης ή λευκόλιθος είναι ανθρακικό ορυκτό του μαγνησίου ( $\text{MgCO}_3$ ). Τα υδατικά διαλύματα που δημιούργησαν τα κοιτάσματα μαγνησίτη στη Βόρεια Εύβοια προξένησαν εξαλλοιώσεις στα υπερβασικά πετρώματα της περιοχής (Γκάρτζος 1986, Σερέλης 1989) (Χάρτης 3.4). Τα κοιτάσματα αυτά και οι συνδεδεμένες εξαλλοιώσεις καθορίζονται από τα κανονικά ρήγματα και τις αντίστοιχες ρηξιγενείς ζώνες της περιοχής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα μικροκρυσταλλικά ή κρυπτοκρυσταλλικά κοιτάσματα της ερευνητικής περιοχής ανήκουν σε έναν συγκεκριμένο τύπο μαγνησίτη – λευκόλιθο που ονομάζεται **Kraubath – type** (Redlich, 1909), όπου επί της ουσίας σχηματίζονται και παρουσιάζονται με την μορφή φλεβών ή φλεβιδίων (Pohl, 1990).

Τα εξαλλοιωμένα υπερβασικά πετρώματα προέρχονται, κυρίως από χαρτζβουργίτες και δουνίτες με το πρώτο να κυριαρχεί σε σχέση με το δεύτερο πέτρωμα, όσον αφορά την αναλογία τους σύμφωνα με πετρογραφικές μελέτες και χημικές αναλύσεις. Η χημική σύσταση αυτών των πετρωμάτων είναι η τυπική των υπερβασικών πετρωμάτων αλπικού τύπου όπως παρατηρούμε και στους παρακάτω πίνακες (Πίν. 3.3, 3.4). Επίσης η δίτηρη μαγνησία που παράγεται είναι άριστης ποιότητας.

Πίνακας 3.3. Χημική Σύσταση των Πετρωμάτων σε κ.β. %

ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ	Κ.β. %
MgO	40 – 48
SiO <sub>2</sub>	34 – 42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,6 – 9,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 1

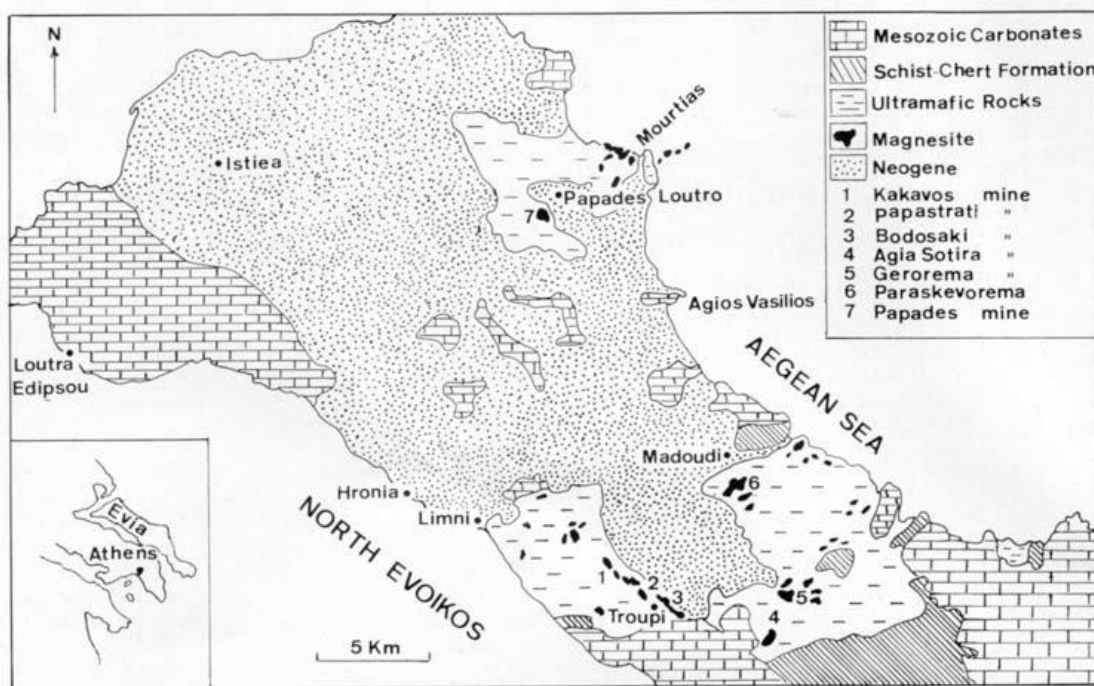
(Πηγή : Γκάρτζος, 1986)

Πίνακας 3.4. Χημική Σύσταση των Πετρωμάτων με βάση την Περιεκτικότητα

ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ %
MgO	46,7 %
SiO <sub>2</sub>	1,9 %
CaO	0,5 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2 %

(Πηγή: Τσιραμπίδης & Φιλλιπίδης, 2012)

Γενικά τα μεγαλύτερα φλεβικού τύπου κοιτάσματα υπάρχουν στη Χαλκιδική (Βασιλικά, Βάβδος, Πολύγυρος, Γερακινή, Ορμύλια, κ.α.) και είναι τα μοναδικά σε εκμετάλλευση. Παρόμοια κοιτάσματα υπάρχουν στη Βόρεια Εύβοια (Μαντούδι, Προκόπι, Λίμνη, Τρούπι, Παππάδες, Βλαχία, Μαρκάτες), αλλά και στην Κεντρική Εύβοια στις περιοχές της Αρτάκης (Αφράτι, Πισσώνας) και της Κύμης (Πετισούνα). Επίσης, εμφανίσεις μαγνησίτη υπάρχουν στο Γομάτι και Ν. Ρόδα Χαλκιδικής, Νιγρίτα, Κοζάνη, Γρεβενά, Αταλάντη, Ερμιόνη, Λέσβο κ.α. Τα ιζηματογενή κοιτάσματα μαγνησίτη στην Ελλάδα, που δεν εκμεταλλεύονται, βρίσκονται στη λεκάνη Σερβίων – Αιανής και στη Βαρβάρα και Καρκάρα Χαλκιδικής, όπου φιλοξενούνται μέσα σε αργιλομαργαϊκά ιζήματα.



**Χάρτης 3.4. Γεωλογικός χάρτης της Β. Εύβοιας, στον οποίο φαίνεται η εξάπλωση των υπερβασικών πετρωμάτων και τα κυριότερα κοιτάσματα μαγνησίτη (Γκάρτζος, 1990)**

Η νέα εταιρεία ΤΕΡΝΑ – ΛΕΥΚΟΛΙΘΟΙ του ομίλου επιχειρήσεων ΓΕΚ – ΤΕΡΝΑ πραγματοποιεί εξορύξεις μαγνησίτη – λευκόλιθου στη Βορειοκεντρική Εύβοια (Εικ. 3.4). Τέλος τα ενδεικτικά αποθέματα μαγνησίτη είναι 280 εκατ. τόνοι σε όλη την χώρα (170 εκατ. τόνοι στη Χαλκιδική, 70 εκατ. τόνοι στα Σέρβια Κοζάνης και 40 εκατ. τόνοι στην Εύβοια) και η συνολική ακαθάριστη αξία τους 9,8 δις € (Τσιραμπίδης & Φιλιππίδης 2013).



**Εικόνα 3.4. Μεταλλευτική δραστηριότητα της εταιρείας ΤΕΡΝΑ – ΛΕΥΚΟΛΙΘΟΙ (Ιδία Επεξεργασία)**

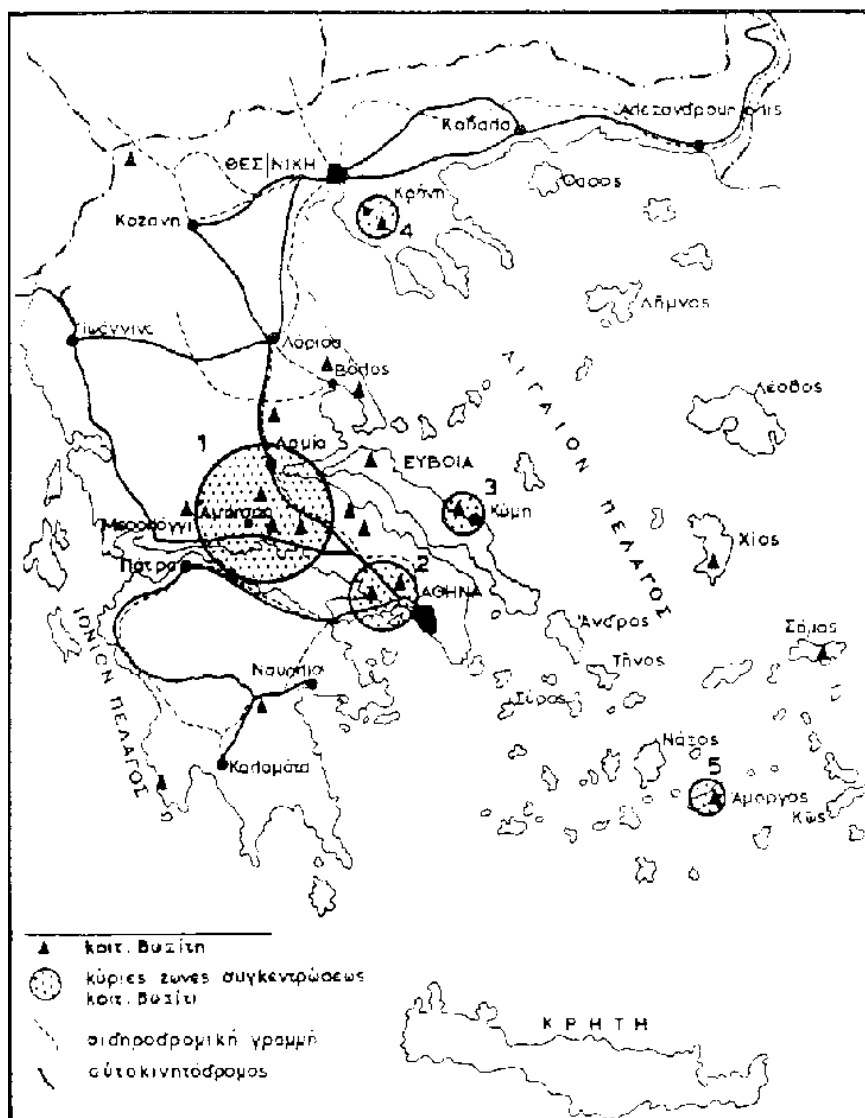
### 3.4.3. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΒΩΞΙΤΗ

Τα Ελληνικά βωξιτικά κοιτάσματα οφείλουν την γέννηση τους από την λατεριτική αποσάθρωση των οφειολιθικών ή άλλων αργιλλοπυριτικών πετρωμάτων, με επακόλουθο τη μεταφορά και την αλλόχθονη ιζηματογένεση. Αποτελεί το κυριότερο μετάλλευμα αργιλίου, όπου ορυκτολογικά αποτελείται από (Βαβελίδης κ.α., 2004):

- **Υδροξείδια του Αργιλίου**, με βασικότερα ορυκτά τον μπαιμίτη, το διάσπορο και τον γιψίτη, όπου στο κοιτάσμα υπάρχει καθαρό ένα από αυτά ή συνδυασμός αυτών (μπαιμίτης + διάσπορο, γιψίτης + μπαιμίτης, διάσπορο + γιψίτης).
- **Υδροξείδια ή Οξείδια του Σιδήρου**, με βασικότερα ορυκτά τον γκαιτίτη, τον λεπιδοκρίτη, τον λειμωνίτη και τον αιματίτη. Στα συγκεκριμένα ορυκτά οφείλονται κυρίως και τα διάφορα χρώματα του βωξίτη.
- **Υδροαργιλλοπυριτικά ορυκτά**, με βασικότερα ορυκτά τον καολίνη και τον αλουσίτη.

Οι Ελληνικοί βωξίτες περιέχουν κυρίως μπαιμίτη ή διάσπορο και όχι γιψίτη. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βρίσκονται στις Ζώνες Παρνασσού – Γκιώνας και Ανατολικής Ελλάδας (Πελαγονική & Υποπελαγονική). Πιο συγκεκριμένα έχουμε τα κοιτάσματα του Καλλίδρομου, της Λοκρίδας, του Δομοκού, της Νοτιοανατολικής Θεσσαλίας (Αγνατέρη, Δυτικό Πήλιο, Ανατολική Όθρυς), της Μάνδρας – Ελευσίνας και της Σκοπέλου. Επίσης υπάρχουν και σε άλλες γεωλογικές ζώνες, όπως στο Όρος Κατσίκια (Χαλκιδική) στην Αμοργό, στο Νότιο τμήμα της Χίου, στην Ναύπακτο – Ανατολική Πελοπόννησος και Βροντερού στην περιοχή της Πρέσπας. Όσον αφορά στην ερευνητική περιοχή βωξιτικά κοιτάσματα έχουμε στην Βόρεια και Κεντρική Εύβοια, με την περιοχή της Κύμης να αποτελεί την πιο χαρακτηριστική περίπτωση (Εικ. 3.5).

Η εκμετάλλευση των βωξιτικών κοιτασμάτων στην Ελληνική εξορυκτική βιομηχανία αποτελεί θεμελιώδη τομέα του ορυκτού πλούτου της Ελλάδος, καθώς είναι μεταξύ των σπουδαιότερων πηγών μη μεταλλουργικού βωξίτη σε όλο τον κόσμο. Εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα υπάρχουν στις περιοχές των ορέων Παρνασσού, Γκιώνας και Ελικώνα, ενώ οικονομικά ασήμαντες εμφανίσεις βωξιτικών κοιτασμάτων έχουμε στους Όρους του Καλλίδρομου, της Οιτής και της Όθρυς καθώς επίσης στην Σκόπελο, στην Ελευσίνα και στην Εύβοια (Τσιραμπίδης & Φιλιππίδης 2012). Η S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε., η ΔΕΛΦΟΙ ΔΙΣΤΟΜΟΝ Α.Μ.Ε., θυγατρική της ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ Α.Ε. και η ΕΛΜΙΝ Α.Ε. είναι οι μοναδικές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην εξόρυξη του βωξιτικού κοιτάσματος, με την συνολική παραγωγή και των τριών εταιρειών για το έτος 2011, να φτάνει στους 2,3 εκατ. τόνους. Τα ενδεικτικά αποθέματα αλουμινίου στην Ελλάδα είναι περίπου 2,5 εκατ. τόνοι και η ακαθάριστη αξία τους 4,04 δις € (Τσιραμπίδης & Φιλιππίδης 2012).



Εικόνα 3.5. Τοποθέτηση βωξιτικών κοιτασμάτων στην Ελλάδα (Βαβελίδης κ.α. στο Νικολάου, 1979)

## 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 4.1. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Για τους σκοπούς της έρευνας η λήψη της δορυφορικής εικόνας έγινε από τον Αμερικάνικη Γεωλογική Υπηρεσία (USGS) και από τον πολυφασματικό σαρωτή LANDSAT – 5/TM, όπου η ημερομηνία λήψης έγινε στις 24 Ιουλίου 2009 (Βλ. Παράρτημα 2). Στην δορυφορική εικόνα, εκτός από την περιοχή έρευνας, εμφανίζονται οι περιοχές της Θεσσαλίας και πιο συγκεκριμένα ο Νομός Μαγνησίας μαζί με τα νησιά των Σποράδων και ένα μεγάλο μέρος της Στερεάς Ελλάδας. Παρακάτω δίνονται μερικά από τα χαρακτηριστικά της εικόνας (Πιν. 4.1).

**Πίνακας 4.1. Χαρακτηριστικά της Δορυφορικής Εικόνας (LANDSAT - 5/TM)**

<b>LANSAT SCENE IDENTIFIER</b>	LT51830332009205MOR00
<b>SPACECRAFT IDENTIFIER</b>	LANDSAT – 5
<b>DAY/NIGHT</b>	DAY
<b>DATE ACQUIRED</b>	24/07/2009
<b>STAR TIME</b>	2009:205:08:53:30.02025
<b>STOP TIME</b>	2009:205:08:53:56.63325
<b>SUN ELEVATION</b>	61.4156967
<b>SUN AZIMUTH</b>	124.82512081
<b>CLOUD COVER</b>	0
<b>MAP PROJECTION LEVEL 1</b>	UTM
<b>DATUM</b>	WGS84
<b>ELLIPSOID</b>	WGS84
<b>GRID CELL SIZE REFLECTIVE</b>	30
<b>GRID CELL SIZE THERMAL</b>	30

(Πηγή: USGS)

Στην προεπεξεργασία της εικόνας αρχικά, μέσω του λογισμικού προγράμματος, ERDAS IMAGINE 9.2, επιλέγονται και συνδυάζονται (Layer Stack) όλα τα φασματικά κανάλια πλην του έξι, δηλαδή του θερμικού υπέρυθρου, όπου δεν είναι απαραίτητη για την συγκεκριμένη εργασία. Η εικόνα κατά την λήψη της ήταν γεωαναφερμένη στο Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα (WGS84), πράγμα το οποίο



οδηγήθηκε σε αλλαγή του συστήματος αναφοράς (Reproject Image) στο αντίστοιχο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα (EGSA87), με ταυτόχρονη αναδόμηση της εικόνας με την μέθοδο της πλησιέστερης γειτονίας (Εικ. 4.1).



**Εικόνα 4.1. Δορυφορική Εικόνα LANDSAT – 5/TM (ΕΓΣΑ 87) (USGS)**

Στην συνέχεια για να απομονωθεί η περιοχή έρευνας, επιλέχθηκε η εντολή Clip, μέσω του λογισμικού προγράμματος ArcGIS 10.1 (Data Management Tools → Raster → Raster Processing → Clip), με όρια των προαναφερθέντων Δημοτικών Ενότητων (Εικ. 4.2).

Οι τεχνικές ενίσχυσης και βελτίωσης των εικόνων (Image Enhancement), αποτελεί μία συνηθισμένη μέθοδος επεξεργασίας, με σκοπό την εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών σε πολλές επιστήμες (Γεωλογία, Περιβαλλοντολογία, Γεωπονία κ.α.). Από τις τεχνικές αυτές η καλύτερη θεωρείται η ενίσχυση των εικόνων με την μέθοδο της Αντίθεσης – Φωτεινότητας (Contrast Enhancement), με ταυτόχρονη επέκταση του Ιστογράμματος (Histogram stretching), μέσω της Ιστογραμμικής Εξισορρόπησης (Histogram Equalization) και της γραμμικής επέκτασης του Ιστογράμματος (Linear Contrast Stretching), οι οποίες αποτελούν κοινές μεθόδους επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων (Gupta, 1991). Στην περιοχή έρευνας οι συγκεκριμένοι

μέθοδοι εφαρμόστηκαν σε όλες τις επιλεγμένες εικόνες που δημιουργήθηκαν, για την επίτευξη όσον τον δυνατόν καλύτερων αποτελεσμάτων.



**Εικόνα 4.2. Περιοχή Έρευνας, μέσω LANDSAT – 5/TM (Ιδία Επεξεργασία)**

#### **4.2. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΨΕΥΔΕΧΡΩΜΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Για την παραγωγή σύνθετων χρωματικών αποτελεσμάτων θα πρέπει να γίνουν διάφοροι συνδυασμοί όλων των φασματικών καναλιών του θεματικού χαρτογράφου που έχουν επιλεγθεί (Band Combination), έτσι ώστε να αναζητηθούν φαινόμενα και αντικείμενα πάνω στην επιφάνεια της Γης.

Ο συνδυασμός που μας δίνει την πραγματική εικονική διάσταση είναι αυτή του 3 – 2 – 1 (RGB) (Εικ. 4.3), αλλά στην περιοχή έρευνας θα αναζητηθούν άλλοι συνδυασμοί φασματικών καναλιών για να προσδιοριστούν όλα εκείνα τα αντικείμενα που μας ενδιαφέρουν. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο (Βλ. Κεφ. 3), ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ύπαρξη οφειολιθικών πετρωμάτων στην ερευνητική περιοχή, όπου με την σειρά τους αποτελούν την βασική πηγή ορυκτών πόρων και κατ' επέκταση κοιτασμάτων στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Εύβοιας. Όμως δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη μέθοδος χαρτογράφησης αυτών των πετρωμάτων στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και αυτό διότι οι οφειόλιθοι αποτελούνται από μία μεγάλη ποικιλία λιθολογικών και ορυκτολογικών χαρακτηριστικών (Khan κ.α., 2007).

Αξίζει να επισημανθεί ότι για τους σκοπούς της έρευνας, η τεχνική βελτίωση των εικόνων πραγματοποιήθηκε, μέσω της Ιστογραμμικής Εξισορρόπησης, όπου έδωσε αξιόπιστα και ασφαλή αποτελέσματα. Παρακάτω δίνονται όλοι οι συνδυασμοί φασματικών καναλιών που έχουν εφαρμοστεί στην περιοχή έρευνας.



**Εικόνα 4.3. Δορυφορική εικόνα LANDSAT – 5/TM με συνδυασμό 321 (RGB) (Ιδία Επεξεργασία)**

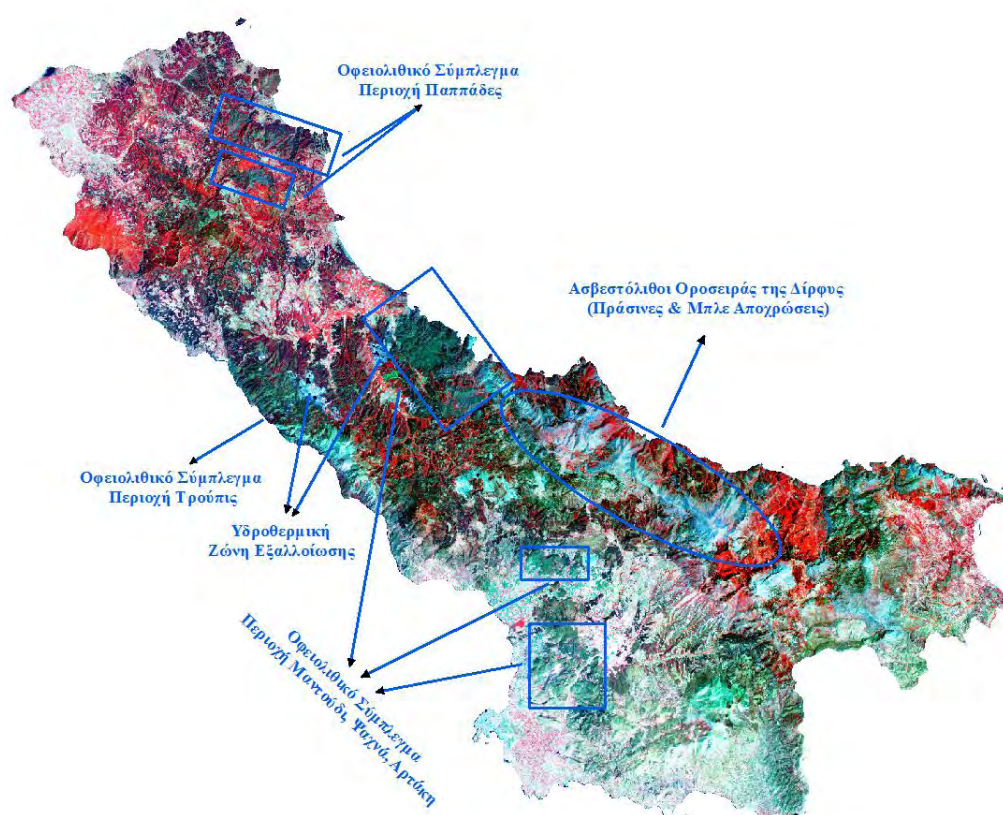
#### **4.2.1. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ RGB: 4 – 7 – 2**

Για τους σκοπούς της έρευνας ένας κατάλληλος συνδυασμός είναι αυτός του 4 – 7 – 2 (RGB), όπου μας αποδίδει το μέγιστο εύρος χρωματικών υπογραφών και θεωρείται ο ιδανικός για γεωλογικές εφαρμογές σε ημίξερές περιοχές (Βασιλοπούλου στο Sabins, 1997) (Εικ. 4.4). Αυτό ο τύπος συνδυασμού εφαρμόστηκε στην περιοχή Kyushu, της Ιαπωνίας και πιο συγκεκριμένα στο ηφαίστειο Kuju, με σκοπό την ορυκτολογική χαρτογράφηση της περιοχής, πλούσια σε οξείδια του σιδήρου και υδροξυλίων μέσα σε υδροθερμικές ζώνες εξαλλοίωσης, με αξιόπιστα αποτελέσματα (Mia & Fujimitsu, 2012).

Παρατηρώντας την δορυφορική εικόνα, με τον συγκεκριμένο συνδυασμό διακρίνονται περιοχές έντονου ανάγλυφου, γυμνά εδάφη, πετρώματα, γεωργικές εκτάσεις καθώς επίσης και περιοχές με πυκνή και αραιή βλάστηση. Τα γυμνά πετρώματα και τα εδάφη εμφανίζονται με πράσινες ως λευκές αποχρώσεις, ενώ η φυσική βλάστηση και οι γεωργικές εκτάσεις με αποχρώσεις του ερυθρού. Στην



Βόρεια Εύβοια, το οφειολιθικό σύμπλεγμα στην περιοχή του Μαντουδίου και του Τρούπι εμφανίζεται με βαθιές πράσινες αποχρώσεις, ενώ στην περιοχή Παππάδες τα αντίστοιχα πετρώματα δεν διακρίνονται ξεκάθαρα. Ίδια εμφάνιση παρατηρείται και στην Κεντρική Εύβοια, στις περιοχές Ψαχνά και Αρτάκη, ενώ στην περιοχή της Κύμης δεν διαφαίνεται η ύπαρξη αυτών των πετρωμάτων. Ακόμα ένα χαρακτηριστικό αυτού του συνδυασμού είναι ο εντοπισμός περιοχών υδροθερμικής εξαλλοίωσης, όπως εμφανίζεται από τις μπλε αποχρώσεις, μέσα στις επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες του οφειολιθικού συμπλέγματος, στα βόρεια της περιοχής. Οι ίδιες αποχρώσεις εμφανίζονται και σε αρκετές περιοχές της Οροσειράς της Δίρφους, μέσα στους ασβεστόλιθους, όπου κατά βάση έχουν πράσινες αποχρώσεις, όπως διαφαίνεται και στις περιοχές των ορεινών όγκων Καντήλιο και Όλυμπος.



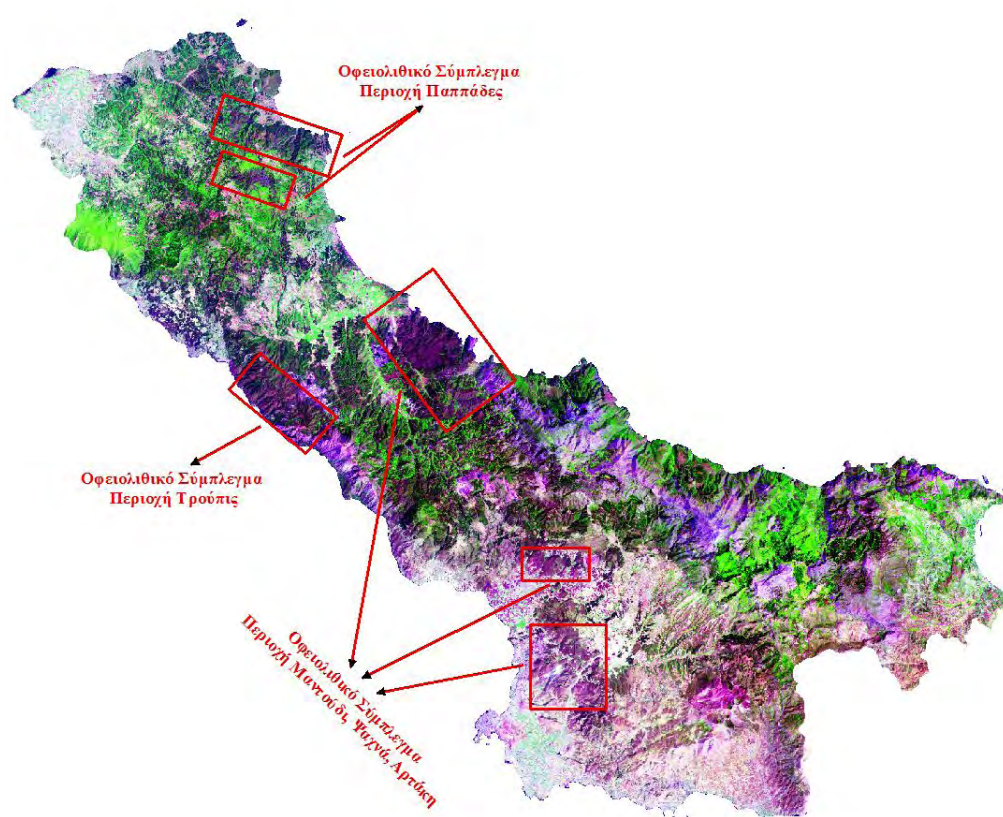
**Εικόνα 4.4. Δορυφορική εικόνα LANDSAT – 5/TM με συνδυασμό 472 (RGB) (Ιδία Επεξεργασία)**

#### **4.2.2. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ RGB: 5 – 4 – 1**

Για την εντοπισμό των οφειολιθικών πετρωμάτων, εφαρμόστηκε ο συνδυασμός 5 – 4 – 1 (RGB), όπου έχει εφαρμοστεί στο Νότιο Ιράν, με σκοπό την χαρτογράφηση των οφειλιθικών πετρωμάτων του Soghan (Pournamdari κ.α, 2014). Όπως και στον προηγούμενο συνδυασμό έτσι και εδώ διακρίνονται περιοχές έντονου ανάγλυφου, γυμνά εδάφη, πετρώματα, γεωργικές εκτάσεις καθώς επίσης και περιοχές με πυκνή και αραιή βλάστηση. Στην ανάλυση της εικόνας, οι δασικές και γεωργικές εκτάσεις

διακρίνονται με πράσινες αποχρώσεις, ενώ τα γυμνά πετρώματα εμφανίζονται με ανοιχτές μωβ αποχρώσεις.

Σε σχέση με το προηγούμενο συνδυασμό το οφειολιθικό σύμπλεγμα της ερευνητικής μας περιοχής διακρίνεται επίσης καθαρά σε όλες τις περιοχές, ακόμα και στην Βόρεια Εύβοια και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή Παππάδες, με σκούρες μωβ αποχρώσεις. Όσον αφορά στις περιοχές που έχουν υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση μέσα στις επιφανειακές εξορύξεις, η απόχρωσή τους είναι ίδια με αυτή των γυμνών πετρωμάτων, επιβεβαιώνοντας ότι ο συγκεκριμένος συνδυασμός είναι κατάλληλος μόνο για τον εντοπισμό οφειολιθικών πετρωμάτων (Εικ. 4.5).

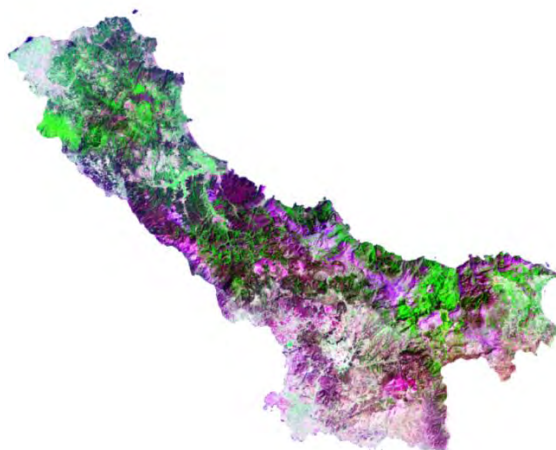


**Εικόνα 4.5. Δορυφορική εικόνα LANDSAT – 5/TM με συνδυασμό 541 (RGB) (Ιδία Επεξεργασία)**

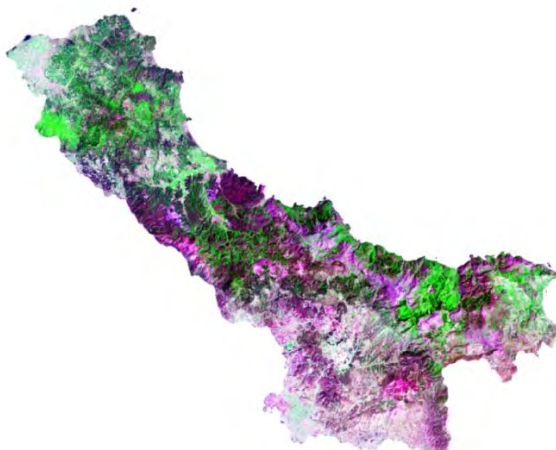
Εάν πρέπει να αναζητηθούν και να εφαρμοστούν παρόμοιοι συνδυασμοί φασματικών εικόνων, με αυτή του 5 – 4 – 1 (RGB), χωρίς να αλλάξει επί της ουσίας η διάκριση όλων των αντικειμένων, μπορούμε να αναφέρουμε τον συνδυασμό 7 – 4 – 1 (RGB), όπου έχει εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό των οφειολιθικών πετρωμάτων στους λόφους του Ανατολικού Σουδάν, παράλια της ερυθράς θάλασσας (Pournambari στο Utke κ.α., 1993) (Εικ. 4.6).

Επίσης ένας ακόμη παρόμοιος συνδυασμός που μπορεί να εφαρμοστεί στην ερευνητική μας περιοχή, είναι αυτός του 7 – 4 – 2 (RGB), όπου έχει εφαρμοστεί για την χαρτογράφηση του οφειολιθικού συμπλέγματος (Muslim Bagh) στο Πακιστάν

(Khan κ.α., 2007). Χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου συνδυασμού είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση λατεριτικών κοιτασμάτων, πράγμα που δεν μπορεί να συμβεί στην ερευνητική μας περιοχή, διότι δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, όσον αφορά την απόχρωση που εμφανίζεται στις επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες, στην περιοχή της Παγώντας και είναι ίδια με αυτή των γυμνών πετρωμάτων. Γεγονός που συμβαίνει και στους δύο προηγούμενους συνδυασμούς (Εικ. 4.7).



**Εικόνα 4.6. Δορυφορική εικόνα LANDSAT – 5/TM με συνδυασμό 741 (RGB) (Ιδία Επεξεργασία)**



**Εικόνα 4.7. Δορυφορική εικόνα LANDSAT – 5/TM με συνδυασμό 742 (RGB) (Ιδία Επεξεργασία)**

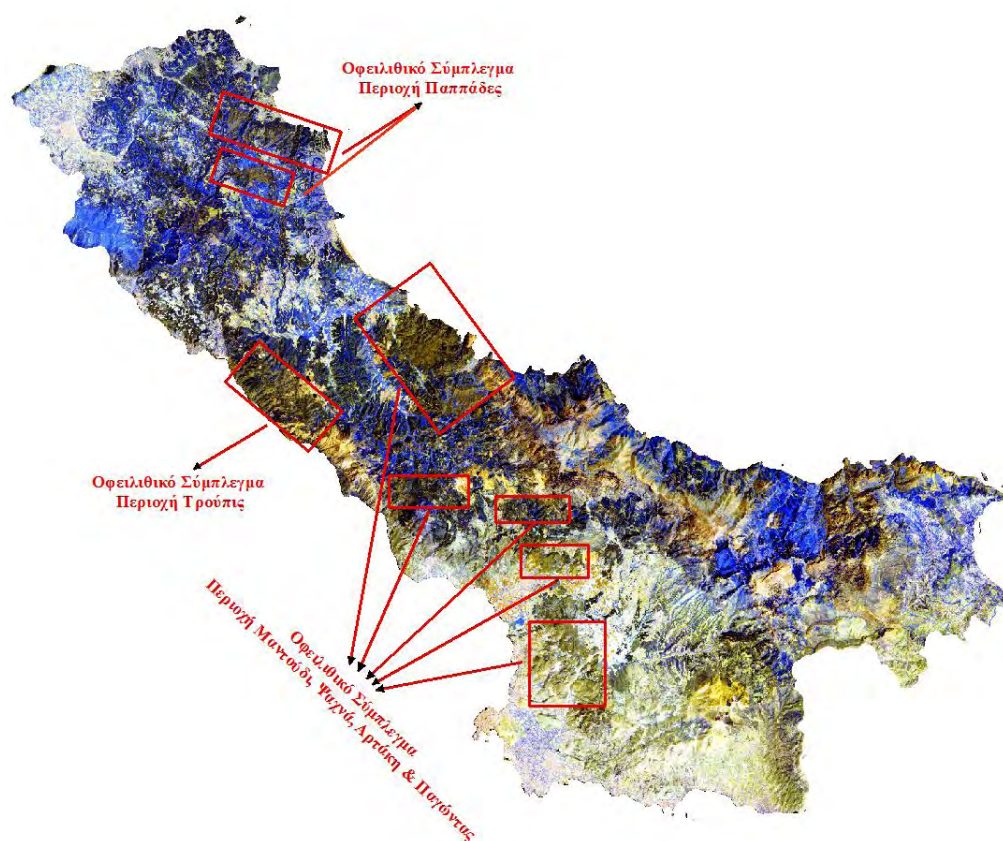
#### **4.2.3. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ RGB: 7 – 5 – 4**

Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην εφαρμογή του συνδυασμού 7 – 5 – 4 (RGB), όπου θεωρείται κατάλληλος για τον εντοπισμό οφειλιτικών πετρωμάτων. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός εφαρμόστηκε αποτελεσματικά στο Ομάν για την χαρτογράφηση των γνωστών οφειλιτικών πετρωμάτων της περιοχής (Rothery κ.α., 1988). Με μπλε αποχρώσεις διακρίνονται οι δασικές και γεωργικές εκτάσεις, ενώ τα εδάφη με λευκές



αποχρώσεις. Τα ασβεστολιθικά πετρώματα στην Οροσειρά της Δίρφης καθώς επίσης και στα Όροι Καντήλιο και Όλυμπος εμφανίζονται με ανοικτές καφέ αποχρώσεις. Όσον αφορά στις περιοχές, όπου έχουμε επιφανειακές εξορύξεις, οι εδαφικές αποχρώσεις είναι ίδιες με αυτές των ασβεστόλιθων.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην απόχρωση των οφειλιθικών πετρωμάτων της ερευνητικής περιοχής, όπου εμφανίζονται με σκούρες καφέ αποχρώσεις. Η διάκριση τους γίνεται αισθητή στις περιοχές του Μαντουδίου και του Τρούπι, όπως και στις περιοχές Ψαχνά και Αρτάκη, ενώ στην περιοχή Παππάδες τα αντίστοιχα πετρώματα, όπως και στον συνδυασμό 4 – 7 – 2 (RGB), έτσι και εδώ δεν διακρίνονται ξεκάθαρα. Η ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου συνδυασμού σε σχέση με τους προηγούμενους είναι ότι διακρίνονται και άλλες εμφανίσεις οφειλιθικών πετρωμάτων στην Κεντρική Εύβοια και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Παγώντας, γύρω από τις επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες, επιβεβαιώνοντας ότι ο συνδυασμός είναι κατάλληλος και συνάμα αποτελεσματικός για τον εντοπισμό και την χαρτογράφηση αυτών των πετρωμάτων (Εικ. 4.8).

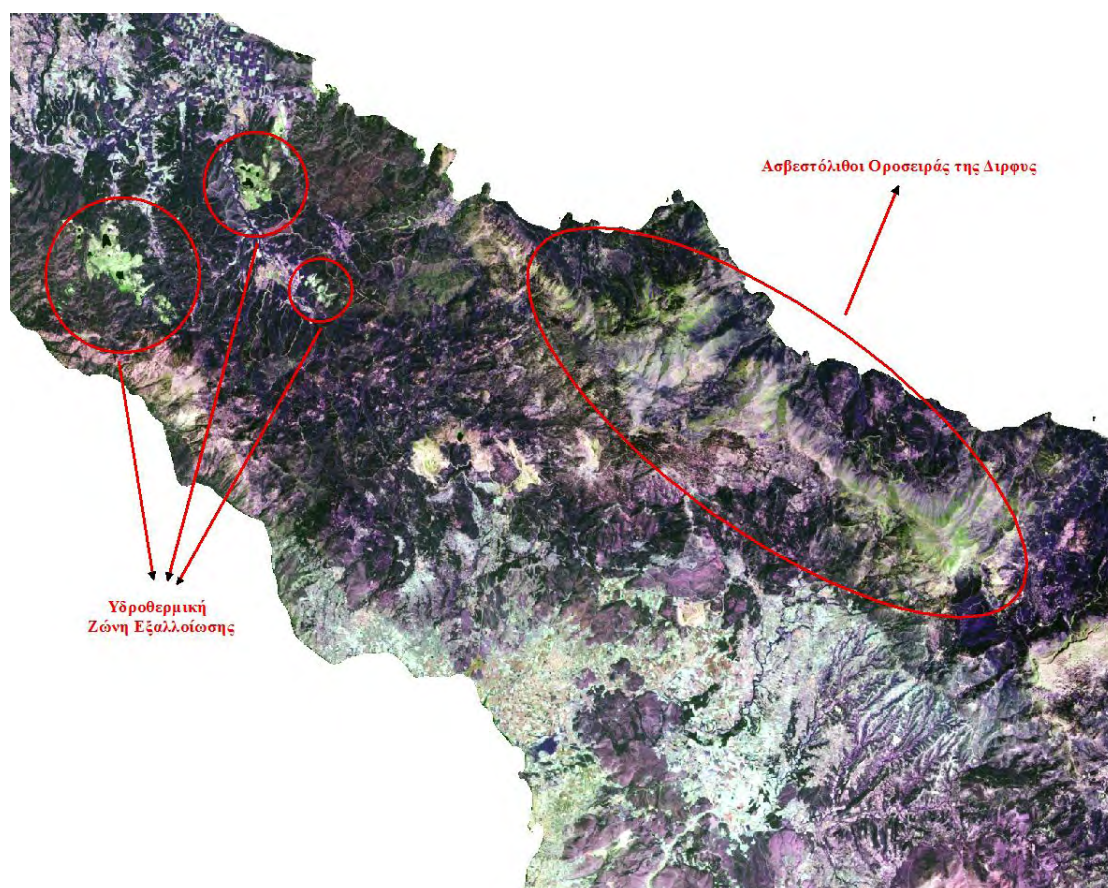


**Εικόνα 4.8. Δορυφορική εικόνα LANDSAT – 5/TM με συνδυασμό 754 (RGB) (Ιδία Επεξεργασία)**

#### **4.2.4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ RGB: 7 – 3 – 5**

Στην παρούσα έρευνα εφαρμόστηκαν και άλλοι συνδυασμοί φασματικών καναλιών, αλλά εκείνος ο συνδυασμός, ο οποίος προτείνεται, είναι αυτός του 7 – 3 – 5 (RGB),

με σκοπό να δοθεί περισσότερη έμφαση στην εμφάνιση των περιοχών, όπου έχουμε υδροθερμική εξαλλοίωση. Αυτές εμφανίζονται με πράσινες αποχρώσεις, μέσα στις επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες του οφειολιθικού συμπλέγματος, στα βόρεια της περιοχής (Μαντούδι & Τρούπι). Οι ίδιες αποχρώσεις εμφανίζονται και σε αρκετές περιοχές της Οροσειράς της Δίρφους, μέσα στους ασβεστόλιθους (Εικ. 4.9).



**Εικόνα 4.9. Δορυφορική εικόνα LANDSAT – 5/TM με συνδυασμό 735 (RGB) (Ιδία Επεξεργασία)**

Το οφειολιθικό σύμπλεγμα της ερευνητικής περιοχής δεν διακρίνεται ξεκάθαρα, αλλά όμως αυτό δεν συμβαίνει με την πυκνή βλάστηση και τις γεωργικές εκτάσεις, οι οποίες διακρίνονται με αποχρώσεις του μωβ, ενώ η αραιή με αποχρώσεις του πράσινου. Όσον αφορά τις εδαφικές εκτάσεις, αυτές διακρίνονται με λευκές αποχρώσεις. Αυτός ο συνδυασμός μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλος για την χαρτογράφηση περιοχών που είναι καλυμμένες με βλάστηση, όπως επίσης και για την χαρτογράφηση εδαφικών εκτάσεων.

### **4.3. ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ & ΔΕΙΚΤΕΣ**

Οι φασματικοί λόγοι (Band Ratios) αποτελούν μία από τις πιο χρήσιμες μαθηματικές πράξεις που μπορούν να εφαρμοστούν στις δορυφορικές εικόνες. Η δημιουργία νέων εικόνων μας οδηγεί στην εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών, διότι μειώνουν σε ένα βαθμό την επίδραση του ανάγλυφου και των σκιάσεων (ατμοσφαιρική διάχυση) στις προκύπτουσες εικόνες. Επιπλέον εάν επιλεγούν

κατάλληλα φασματικά κανάλια τότε ο λόγος ενισχύει την αντίθεση των επιφανειακών υλικών των οποίων οι φασματικές καμπύλες παρουσιάζουν αντίθετη συμπεριφορά στα συγκεκριμένα κανάλια (π.χ. μέγιστο στο ένα κανάλι και ελάχιστο στο άλλο) (Μηλιαρέσης, 2000).

Σε έρευνες για την διάκριση φυσικών αντικειμένων, όπως η βλάστηση, αλλά και γεωλογικών σχηματισμών οικονομικού ενδιαφέροντος οι φασματικοί λόγοι παίζουν τον δικό τους σημαντικό ρόλο για την ανάδειξη πληροφοριών. Στην περιοχή έρευνας θα αναζητηθούν και θα εφαρμοστούν παρακάτω διάφοροι τύποι φασματικών λόγων (Γεωλογικοί Δείκτες) για την διάκριση των κοιτασμάτων της ευρύτερης περιοχής, μέσω της γεωχημικής τους σύστασης. Το χαρακτηριστικό όλων των κοιτασμάτων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο (Βλ. Κεφ. 3), είναι η παρουσία σιδηρούχων και αργιλικών ορυκτών, δηλαδή υδροξειδίων ή οξειδίων του σιδήρου και του αργίλου, λαμβάνοντας υπόψη τις φασματικές αποκρίσεις (Βλ. Κεφ. 2), με αποτέλεσμα να αποτελέσει βασικό οδηγό στην σωστή χρησιμοποίηση γεωλογικών δεικτών.

#### **4.3.1. ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI**

Ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς ή αλλιώς NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) είναι ο δείκτης που χρησιμοποιείται περισσότερο από όλους τους άλλους δείκτες, όσον αφορά την απεικόνιση της βλάστησης σε μία περιοχή έρευνας. Συνδέεται με τον δείκτη RVI (Ratio Vegetation Index) με την παρακάτω σχέση:

$$NDVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}$$

Όπου RVI ορίζεται ο λόγος του εγγύς υπέρυθρου (IR) με το υπέρυθρο (R), με εύρος τιμών από το 0 έως το άπειρο. Τα χαρακτηριστικά του δείκτη βλάστησης NDVI είναι ότι βασίζεται σε λόγους καναλιών καθώς επίσης το εύρος τιμών μεταβάλλεται από -1 έως 1. Ο υπολογισμός γίνεται από την παρακάτω σχέση:

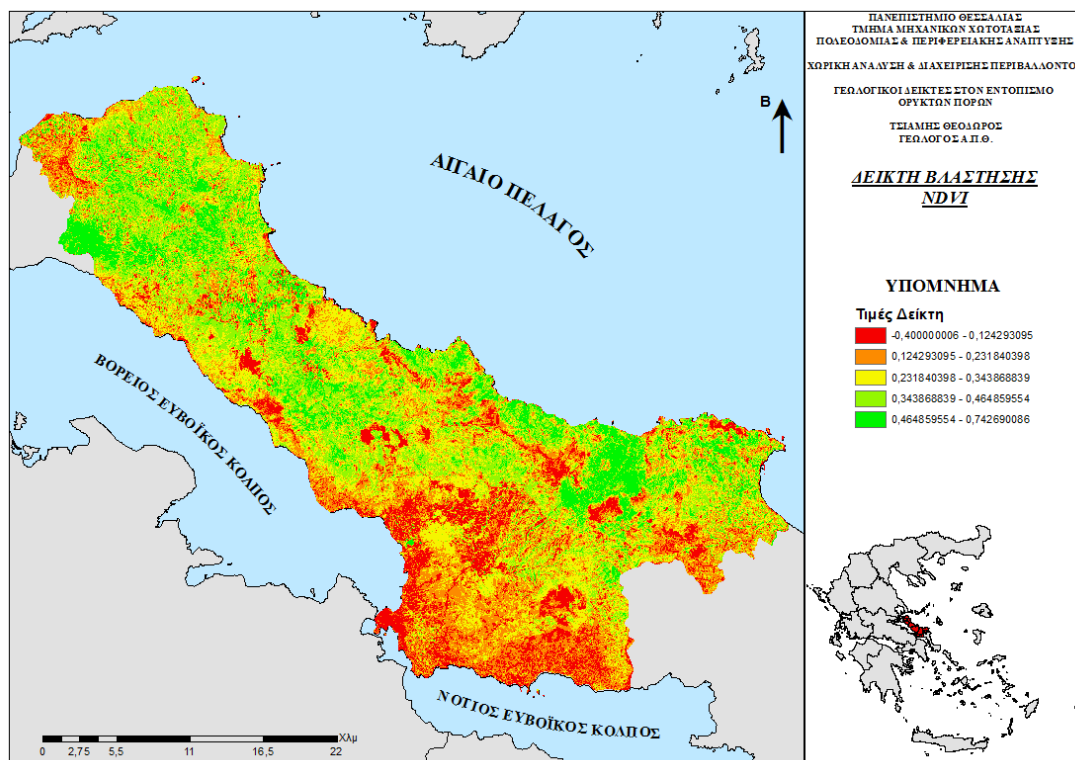
$$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red} = \frac{Band\ 4 - Band\ 3}{Band\ 4 + Band\ 3}$$

Στην περιοχή έρευνας το εύρος τιμών κυμαίνεται από -0,40 έως 0,74, όπου με πράσινη απόχρωση αποτυπώνεται η πυκνότητα της βλάστησης, η οποία είναι πάρα πολύ έντονη. Όπως παρατηρούμε τον χάρτη 4.1 υπάρχουν και περιοχές απ' όπου έχουμε κίτρινες αποχρώσεις που μπορεί να θεωρηθούν περιοχές με αραιή βλάστηση, δηλαδή περιοχές άγονης γης.

Αναλυτικά οι περιοχές που παρουσιάζουν υψηλό δείκτη βλάστησης (πράσινες αποχρώσεις) είναι στην Βόρεια Εύβοια και πιο συγκεκριμένα στους Δήμους Ιστιαίας, Αρτεμισίου και Νηλέως, στους ορεινούς όγκους Τολέθριο και Ξηρό και στην Κεντρική Εύβοια γύρω από τις επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες, στα παράλια του Αιγαίο Πελάγους προς τις περιοχές της Οροσειράς της Δίρφους καθώς



επίσης και στην ευρύτερη περιοχή της Κύμης. Αντιθέτως προς τις κόκκινες αποχρώσεις αποτυπώνονται οι περιοχές με τον χαμηλότερο δείκτη βλάστησης, δηλαδή περιοχές με μηδενική βλάστηση, όπου αντιπροσωπεύονται από τις εδαφικές εκτάσεις και τα γυμνά πετρώματα.



**Χάρτης 4.1. Δείκτης NDVI στην περιοχή μελέτης (Ιδία Επεξεργασία)**

#### **4.3.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ**

Στην παρούσα έρευνα ιδιαίτερη σημασία δόθηκε η εφαρμογή κατάλληλων γεωλογικών δεικτών και αυτό διότι, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η παρουσία οξειδίων του σιδήρου και του αργιλίου και στα 3 κυριότερα κοιτάσματα της ερευνητικής περιοχής, μας οδηγεί στην αξιοποίηση δεικτών για τον εντοπισμό αυτών.

Γενικότερα, οι φασματικοί λόγοι αποτελούν από τις πλέον χρησιμοποιούμενες και ταυτόχρονα απλές τεχνικές βελτίωσης για να χαρτογραφηθεί η κατανομή των οξειδίων του σιδήρου και των θεικών ορυκτών σε πετρώματα που έχουν υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση και διάβρωση (Ciampalini κ.α. στο Kaufmann 1988, Sabins 1999, Ramadan & Kotny 2004, Al Rawashdeh κ.α., 2006, Dogan 2008, 2009, Elsayed Zeinelabdein & Albiely 2008, Madani 2009, Shalaby κ.α., 2010). Οι δείκτες δημιουργούνται μέσα από τους φασματικούς λόγους, όπως για παράδειγμα οι λόγοι 3/1, 3/5, 3/7, 5/1, 5/4, 3/7 και 5/7, όπου είναι πολύ χρήσιμες για τη διάκριση της λιθολογίας και των ορυκτών (Ciampalini κ.α. στο Drury 1993). Συγκεκριμένα στην μεταλλευτική έρευνα και λαμβάνοντας υπόψη την φασματική απόκριση των ορυκτών πόρων, τα οξείδια του σιδήρου φωτίζονται από τους φασματικούς λόγους 3/1, 3/5 και 5/4, ενώ ο λόγος 5/7 χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ορυκτών που περιέχουν

υδροξύλια (καολινίτης, μοσχοβίτης, επίδοτο, χλωρίτης, αμφίβολοι κ.α.) (Gupta, 2003).

Επιπλέον δίνεται και ένας παραπάνω λόγος, όσον αφορά την χωρική τους κατανομή στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Εύβοιας, θεωρώντας ότι μπορεί να παίζει το δικό της ξεχωριστό ρόλο, όσον αφορά την χωροθέτηση νέων μεταλλευτικών και λατομικών εργασιών. Παρακάτω παρουσιάζονται οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των υδροξειδίων ή οξειδίων του σιδήρου και του αργιλίου αντίστοιχα και κατ' επέκταση στον εντοπισμό των κοιτασμάτων στην ερευνητική περιοχή.

#### **4.3.2.1. ΔΕΙΚΤΕΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ**

##### **▪ ΔΕΙΚΤΗΣ 3/1 (IRON OXIDE)**

Εκτός των προαναφερθέντων λόγων, στην περιοχή έρευνας εφαρμόστηκαν αρκετοί γεωλογικοί δείκτες για τον εντοπισμό των οξειδίων του σιδήρου. Ο φασματικός λόγος που χρησιμοποιείται ευρέως είναι αυτός του 3/1, ο οποίος θεωρείται ο πιο χρήσιμος για την ανίχνευση οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου σε περιοχές με κάλυψη βλάστησης (Ciampalini κ.α. στο Carranza & Hale 2002, Ramadan & Kotny 2004, Al Rawashdeh κ.α. 2006, Dogan 2008, 2009, Elsayed Zeinelabdein & Albiely 2008, Madani 2009, Shalaby κ.α. 2010). Επίσης ο εντοπισμός τους δίνεται από τη ενίσχυση του ερυθρού χρώματος μέσα στο ορατό φάσμα (Ciampalini κ.α. στο Al Rawashdeh κ.α., 2007, Dogan 2008, 2009, Elsayed, Zeinelabdein & Albiely 2008, Madani 2009 Ramadan & Kotny 2004, Shalaby κ.α., 2010), δεδομένου ότι συνήθως παρουσιάζεται χαμηλή ανακλαστικότητα στην μπλε φασματική ζώνη (Band 1) και υψηλή στην αντίστοιχη ερυθρή (Band 3) (Ciampalini κ.α. στο Dehnavi κ.α., 2010, Sabins 1999).

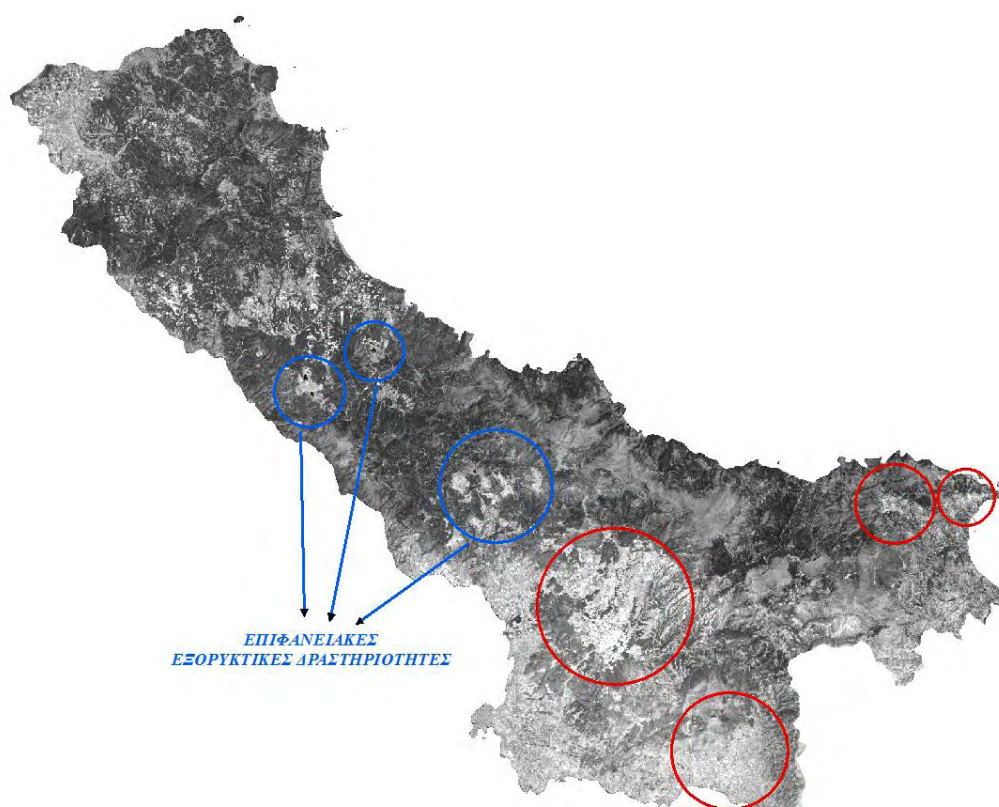
Κατά συνέπεια ο δείκτης 3/1 συνήθως αναδεικνύει την παρουσία του αιματίτη και του γκαιτίτη με υψηλές τιμές (Ciampalini κ.α. στο Al Rawashdeh κ.α., 2007). Είναι γεγονός ότι οι υπό εξέταση περιοχές, οι οποίες χαρακτηρίζονται από την παρουσία του τρισθενούς σιδήρου, αντιστοιχούν στις πιο σκοτεινές περιοχές αντί των φωτεινών, όπως προτείνεται από πολλούς συγγραφείς (Ciampalini κ.α., Al Rawashdeh κ.α., 2007, Dogan 2008, 2009, Elsayed Zeinelabdein & Albiely 2008, Madani 2009, Shalaby κ.α., 2010). Η χρησιμότητα αυτού του γεωλογικού δείκτη μπορεί να μειωθεί για έναν ή περισσότερους από τους ακόλουθους τέσσερις λόγους (Campalini κ.α., 2012):

1. Η κλίση μεταξύ των ζωνών 3 και 1 είναι συνήθως ασθενής, αν συγκριθεί με το συνδυασμό άλλων, μικρού μήκους κύματος, υπέρυθρων ζωνών (SWIR) (Campalini κ.α. στο Kaufmann 1988).
2. Η παρουσία οξειδίων του σιδήρου στις υπό εξέταση περιοχές δεν προέρχεται από υδροθερμική προέλευση, αλλά μέσω ενός μηχανισμού ενδο – ιζηματογενούς, λόγω συσσώρευσης, επαύξηση που αναπτύχθηκε γύρω από διάσπαρτους κόκκους λάσπης, πλούσια σε οξείδια του σιδήρου, σε ήρεμα νερά (Campalini κ.α. στο James & Van Houten, 1979, Rohrllich κ.α., 1969).

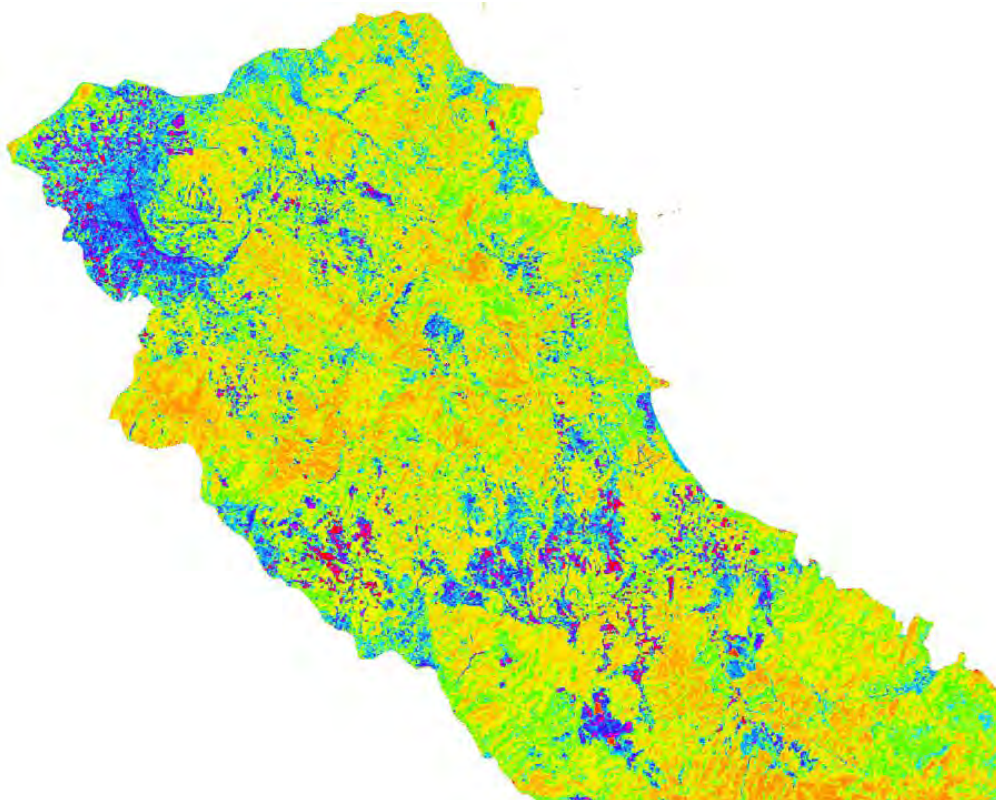


3. Οι αμμόλιθοι ή ψαμμίτες που περιέχουν οξείδια του σιδήρου χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα χαμηλή ανακλαστικότητα, με πολύ σκούρες εμφανίσεις.
4. Ο δείκτης 3/1 είναι κατάλληλος για τον εντοπισμό τρισθενούς σιδήρου, ενώ οι υπό εξέταση περιοχές θα μπορούσαν να χαρακτηρίζονται κυρίως από την παρουσία δισθενούς σιδήρου.

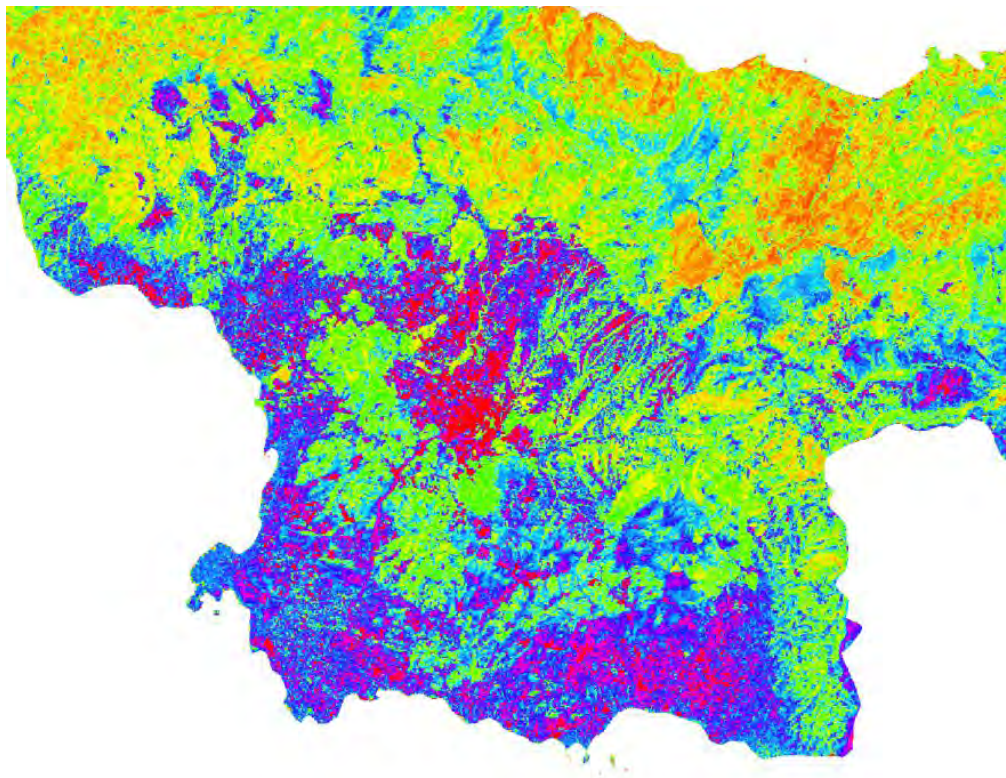
Στην παρούσα έρευνα ο δείκτης 3/1 εφαρμόστηκε, χωρίς όμως να δοθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα, με συνέπεια να πραγματοποιηθεί γραμμική επέκταση του Ιστογράμματος, για την εξαγωγή καλύτερων αποτελεσμάτων. Όπως παρατηρείται στην ενισχυμένη εικόνα 4.10 τα οξείδια του σιδήρου αντιπροσωπεύουν τις φωτεινότερες περιοχές στην Κεντρική Εύβοια, οι οποίες διαφαίνονται στις γεωργικές και εδαφικές εκτάσεις των περιοχών Ψαχνά, Πισσώνας και Ερέτριας, στην περιοχή της Κύμης καθώς επίσης και στα υπάρχοντα μεταλλεία στην περιοχή της Παγώντας, όπου πραγματοποιούνται εξορύξεις Fe – Ni ούχων μεταλλευμάτων. Η παρουσία των οξειδίων του σιδήρου αναδείχθηκε και μέσω χρωματικής κλίμακας, ισχυροποιώντας όχι μόνο τις ήδη παρατηρούμενες περιοχές, αλλά καταδεικνύοντας και άλλες περιοχές, όπως στις γεωργικές εκτάσεις της Ιστιαίας και του Μαντουδίου καθώς επίσης και στην Νότια περιοχή της Κύμης (Εικ. 4.11, 4,12, 4,13).



**Εικόνα 4.10. Γεωλογικός Δείκτης 3/1 – Τα οξείδια του σιδήρου αντιπροσωπεύουν τις φωτεινές ενδείξεις (Ιδία Επεξεργασία)**

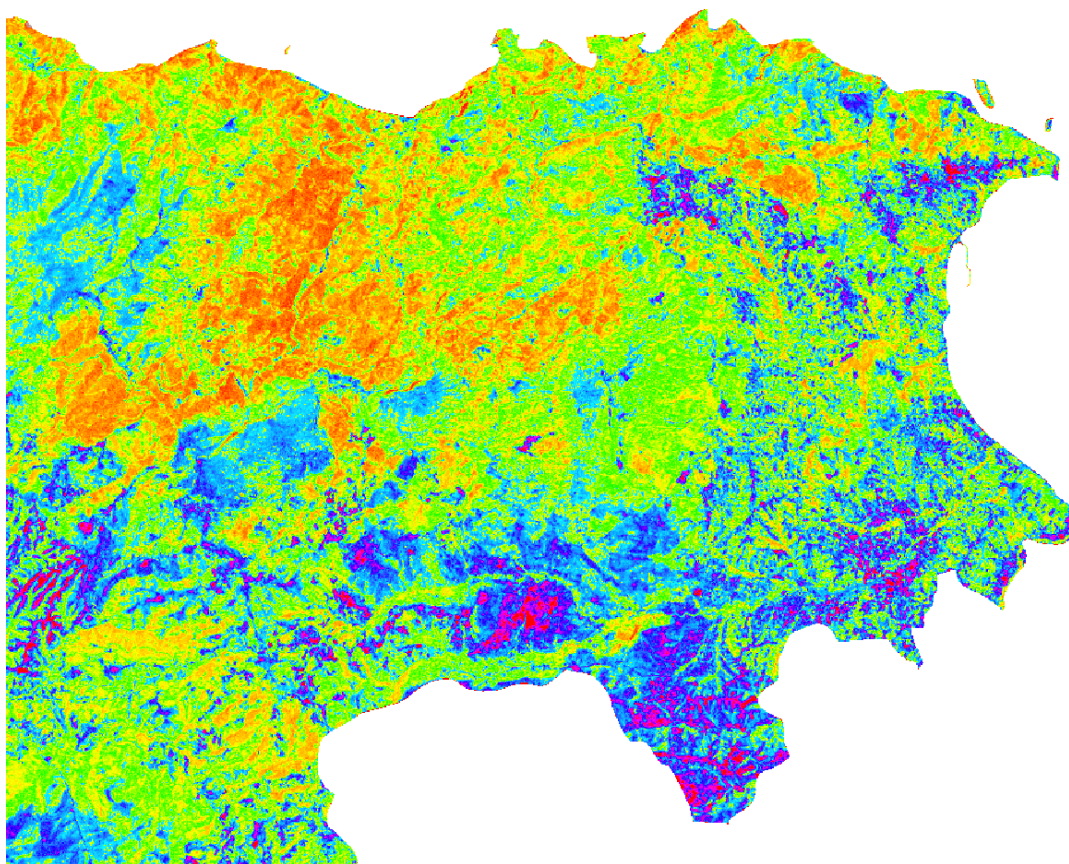


**Εικόνα 4.11.** Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Σιδήρου στην Βόρεια Εύβοια, με ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)

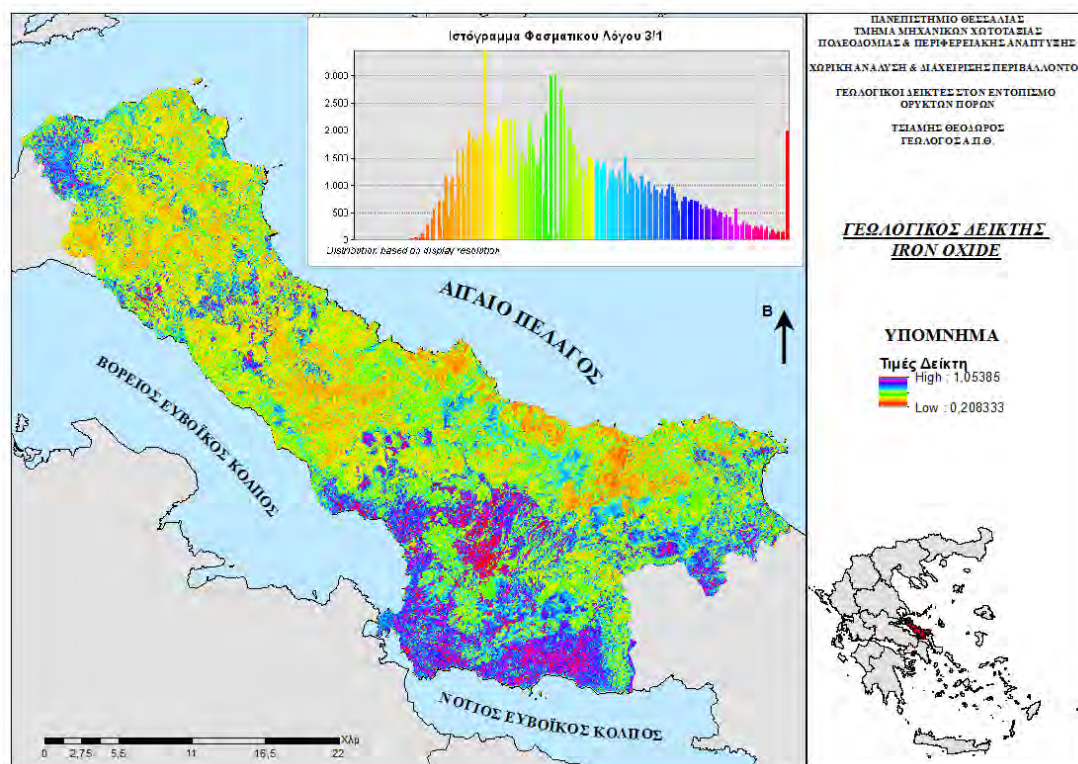


**Εικόνα 4.12.** Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Σιδήρου στην Κεντρική Εύβοια, με ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)





Εικόνα 4.13. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Σιδήρου στην περιοχή της Κύμης, με ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)



Χάρτης 4.2. Γεωλογικός Δείκτης 3/1 στην περιοχή μελέτης (Ιδία Επεξεργασία)

Όσον αφορά στους ορεινούς όγκους της ερευνητικής περιοχής, ο γεωλογικός δείκτης 3/1 δεν δείχνει παρουσία οξειδίων του σιδήρου στους Όρους Τολέθριο και Ξηρό, όπως επίσης και στην Οροσειρά της Δίρφυς, παρά μόνο στον Όλυμπο, όπου εκεί αναδεικνύεται η παρουσία αυτών σε λίγες περιοχές. Ο χάρτης 4.2 μας δίνει μία καλύτερη προσέγγιση για το ποιες περιοχές ενδείκνυται η παρουσία οξειδίων του σιδήρου, όπου αυτό διαφαίνεται από το έντονο ιώδες χρώμα, παρουσιάζοντας ταυτόχρονα και το ιστόγραμμα απ' όπου έχει υποστεί γραμμική επέκταση.

#### ▪ ΔΕΙΚΤΗΣ 5/4 (FERROUS MINERALS)

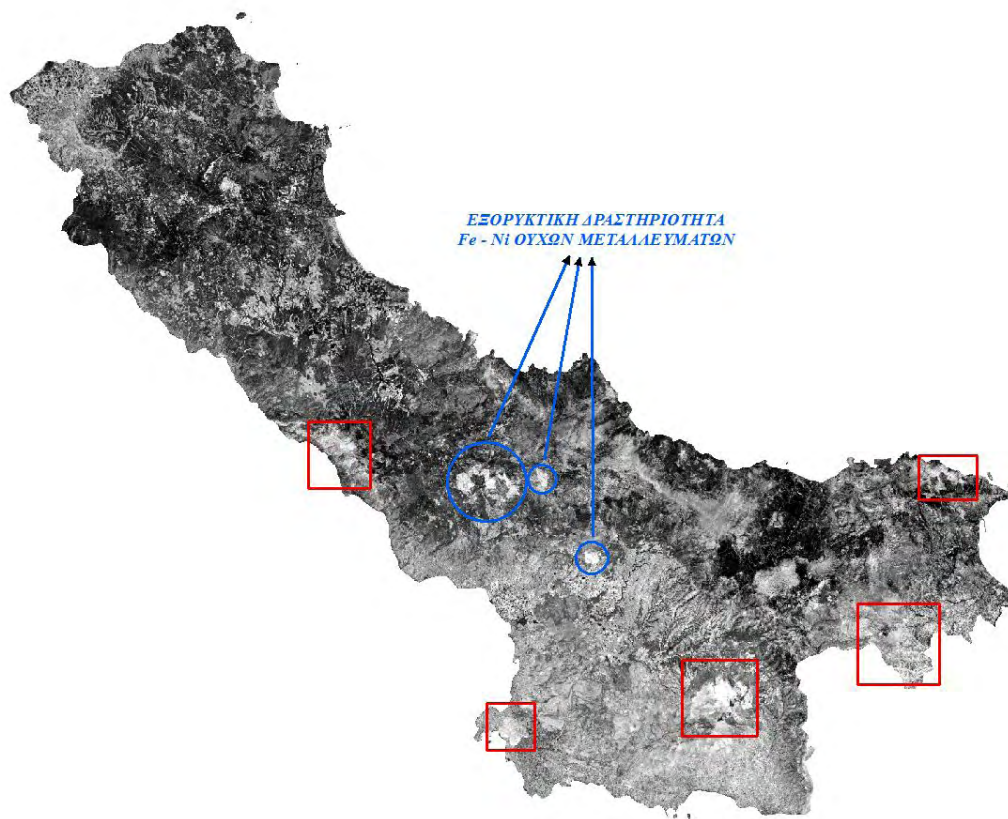
Ένας ακόμα δείκτης που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό οξειδίων του σιδήρου είναι αυτός του FERROUS MINERALS, όπου εδώ έχουμε τον φασματικό λόγο του καναλιού 5 και του καναλιού 4 (5/4). Ο συγκεκριμένος γεωλογικός δείκτης μπορεί να συμπεριλαμβάνεται μεταξύ των φασματικών λόγων που χρησιμοποιείται περισσότερο για τον εντοπισμό και την ταυτοποίηση σιδηρούχων μεταλλευμάτων (Ciampalini κ.α. στο Dogan 2008, 2009, Elsayed Zeinelabdein & Albiely 2008, Kaufmann, 1988).

Στην περιοχή έρευνας θεωρήθηκε επιβεβλημένη η εφαρμογή του συγκεκριμένου δείκτη, καθώς η παρουσία οξειδίων του σιδήρου διαφαίνεται από τις φωτεινές ενδείξεις της εικόνας, εξαιτίας της ισχυρής απορροφητικότητας στην φασματική ζώνη 4 (Band 4) (Soe κ.α., 2008). Επισημάνεται ότι η εικόνα δεν υπέστη καμία βελτίωση, διότι από μόνη της έδωσε επιθυμητά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα στην περιοχή έρευνας η παρουσία των οξειδίων του σιδήρου αντιπροσωπεύεται από τις φωτεινότερες περιοχές κυρίως στα μεταλλεία, όπου έχουμε την εξόρυξη Fe – Ni ούχων μεταλλευμάτων, στους ορεινούς όγκους του Ολύμπου, στην περιοχή της Κύμης και της Χαλκίδας καθώς επίσης και στο Όρος Καντήλιο, με σημαντικές ενδείξεις (Εικ. 4.14).

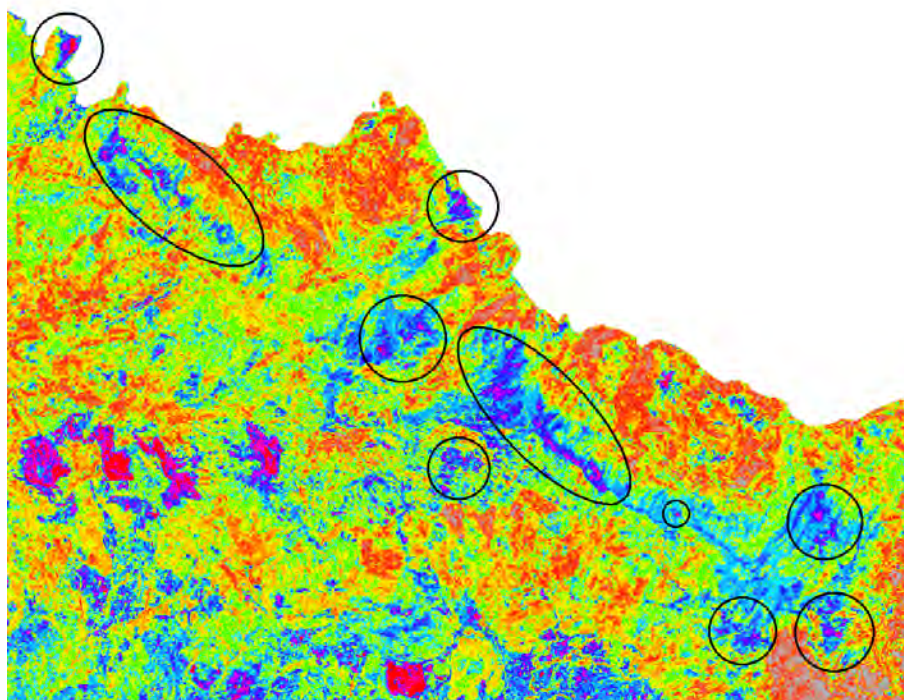
Στην Οροσειρά της Δίρφυς από μία πρώτη άποψη παρατηρείται ότι δεν έχουμε ενδείξεις, όσον αφορά την παρουσία οξειδίων του σιδήρου, όπως επίσης και σε εδαφικές περιοχές σε όλη την ερευνητική περιοχή. Όμως μία πιο προσεκτική ανάλυση της περιοχής, μέσω χρωματικής κλίμακας διαφαίνονται σημεία τα οποία μπορούν να μαρτυρήσουν την παρουσία οξειδίων του σιδήρου. Αυτές οι περιοχές είναι βόρεια της περιοχής μελέτης και προς τα παράλια του Αιγαίου Πελάγους καθώς και στην Οροσειρά της Δίρφυς, ενώ στο Όρος Καντήλιο διαφαίνεται ακόμη καλύτερα η παρουσία οξειδίων του σιδήρου (Εικ. 4.15, 4.16). Επίσης, όπως και στον γεωλογικό δείκτη 3/1, έτσι και εδώ τα οξείδια του σιδήρου διαφαίνονται στις γεωργικές και εδαφικές εκτάσεις των περιοχών Ιστιαίας, Μαντουδίου, Ψαχνά, Πισσώνας και Ερέτριας καθώς και στην περιοχή της Κύμης, με σαφώς περισσότερες ενδείξεις (Εικ. 4.17, 4.18).

Τέλος ο χάρτης 4.3 παρουσιάζει, κατά προσέγγιση τις περιοχές, όπου ενδείκνυται η παρουσία οξειδίων του σιδήρου, σύμφωνα με τον συγκεκριμένο γεωλογικό δείκτη, παρουσιάζοντας ταυτόχρονα και την ποσοτική πληροφορία της περιοχής, μέσω ιστογράμματος.



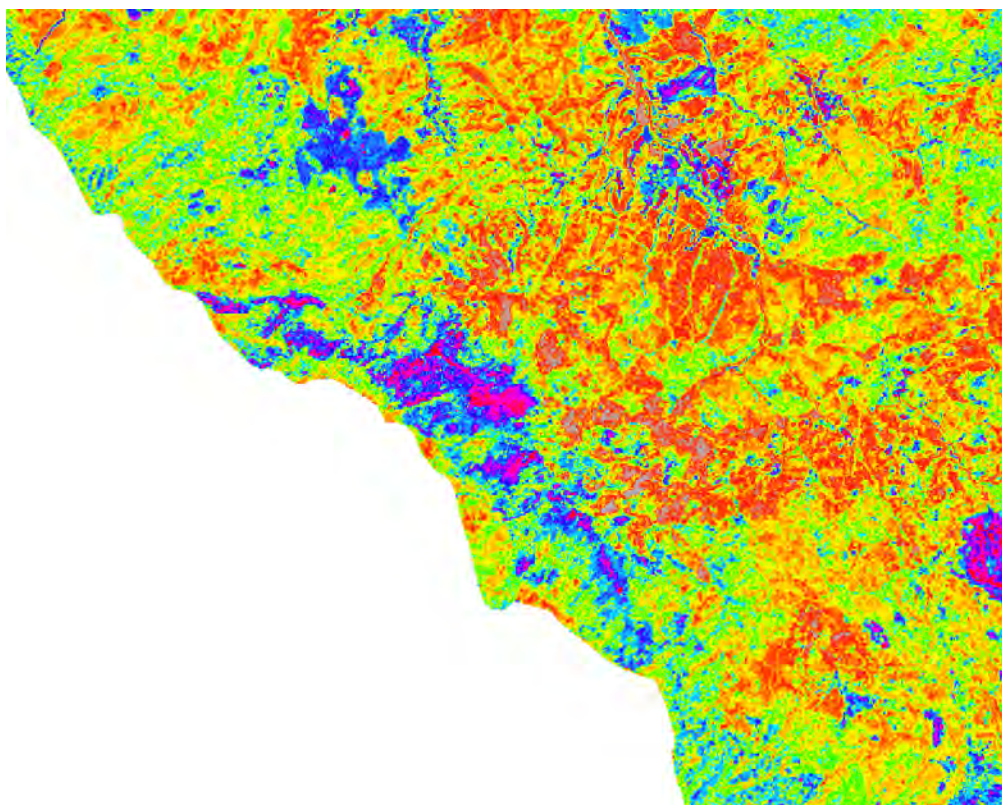


**Εικόνα 4.14. Γεωλογικός Δείκτης 5/4 – Τα οξείδια του σιδήρου αντιπροσωπεύουν τις φωτεινές ενδείξεις (Ιδία Επεξεργασία)**

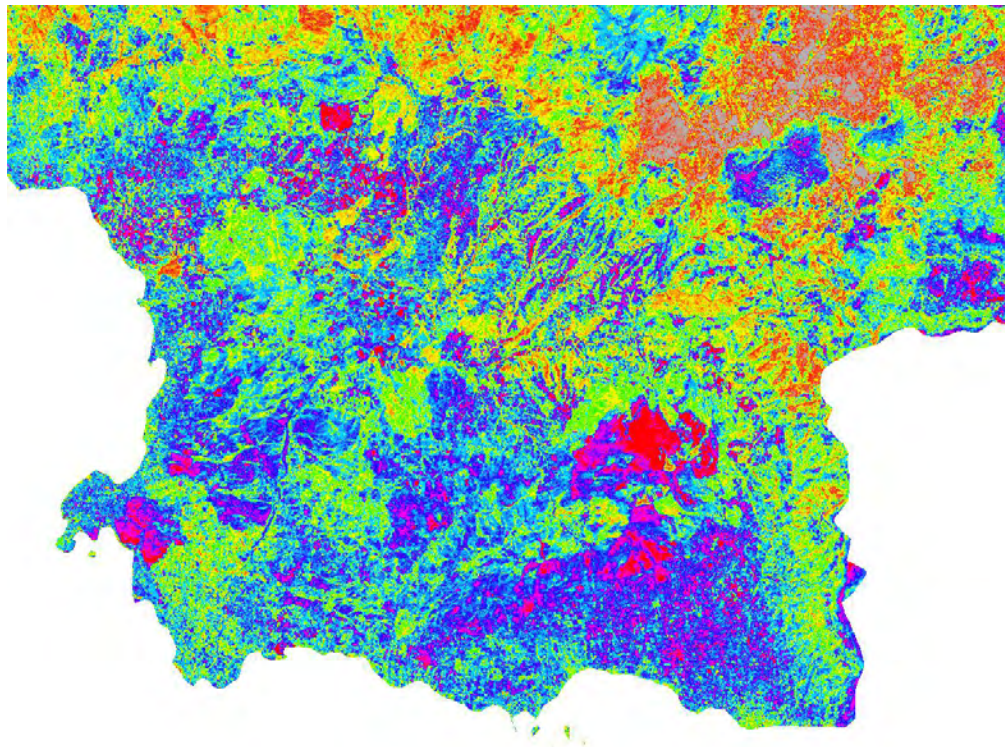


**Εικόνα 4.15. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Σιδήρου στην Οροσειρά της Δίρφους, με ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)**



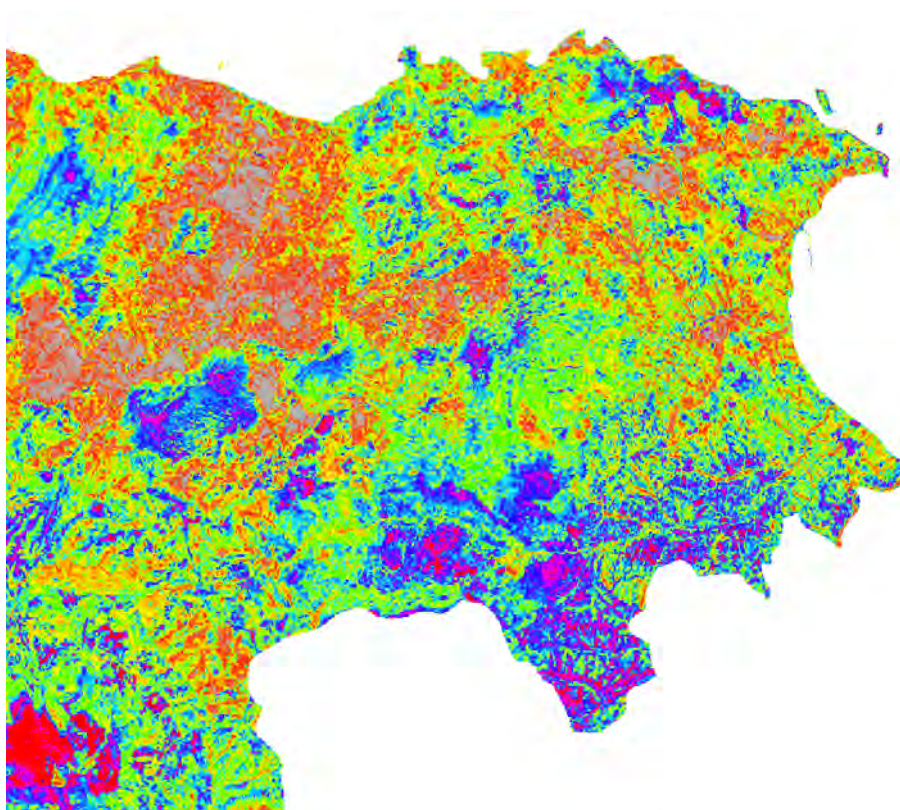


**Εικόνα 4.16. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Σιδήρου στο Καντήλιο Όρος, με ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)**

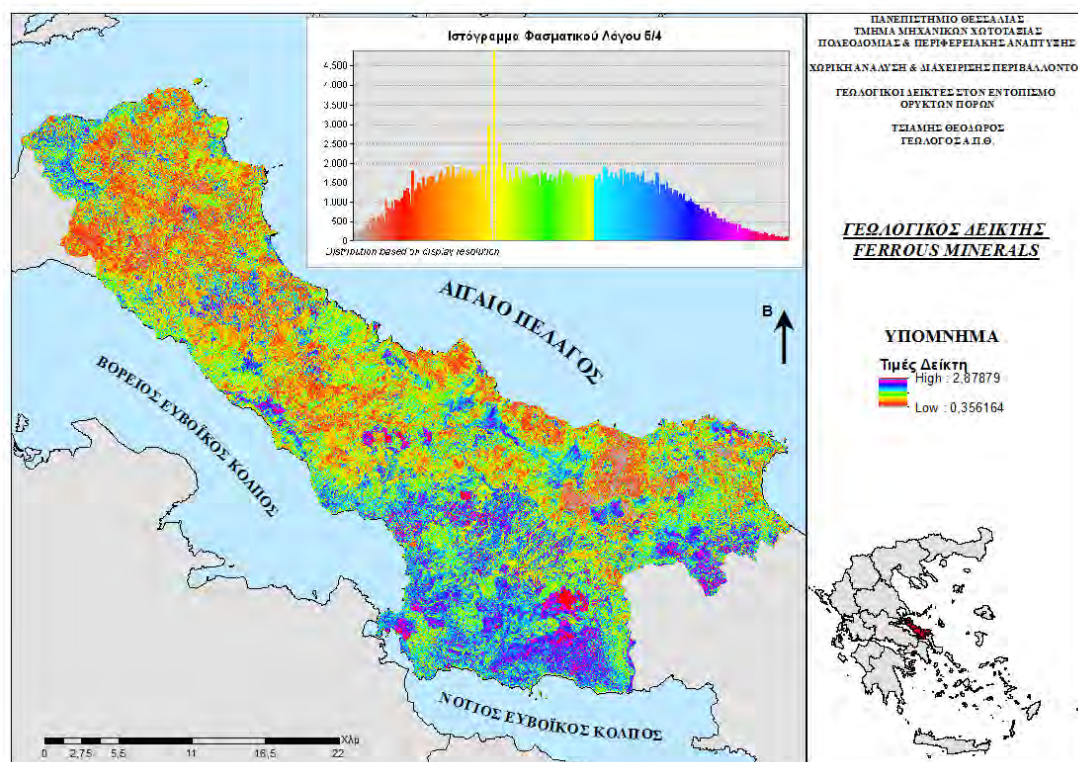


**Εικόνα 4.17. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Σιδήρου στην Κεντρική Εύβοια, με ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)**





Εικόνα 4.18. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Σιδήρου στην περιοχή της Κύμης, με  
ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)

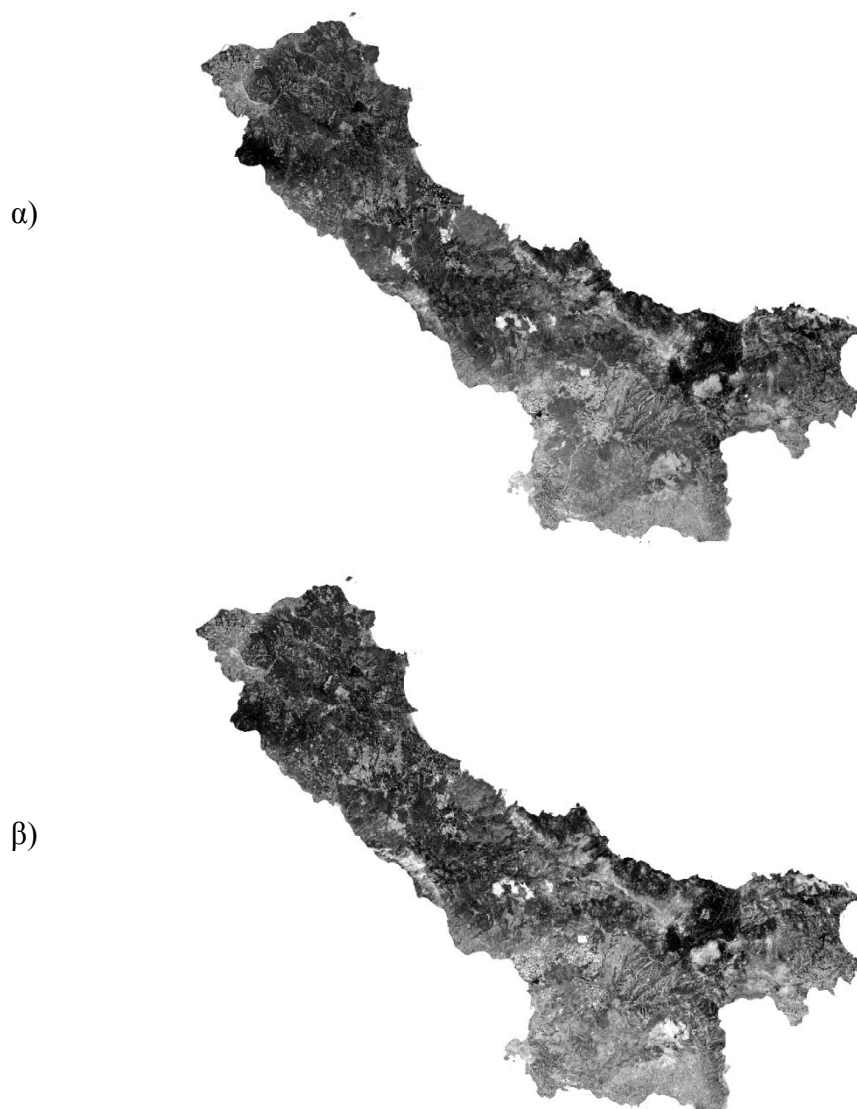


Χάρτης 4.3. Γεωλογικός Δείκτης 5/4 στην περιοχή μελέτης (Ιδία Επεξεργασία)

▪ **ΔΕΙΚΤΕΣ 3/4 & 7/4**

Για τους ανάγκες της έρευνας, εφαρμόστηκαν οι γεωλογικοί δείκτες 3/4 και 7/4, όπου στην ουσία χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό. Ο ρόλος και των δύο φασματικών λόγων, είναι ότι εφαρμόζονται για τον εντοπισμό, όχι μόνο των οξειδίων του σιδήρου, αλλά επίσης για τον εντοπισμό και την ταυτοποίηση λατεριτικών πετρωμάτων ή κοιτασμάτων (Soe κ.α., 2008).

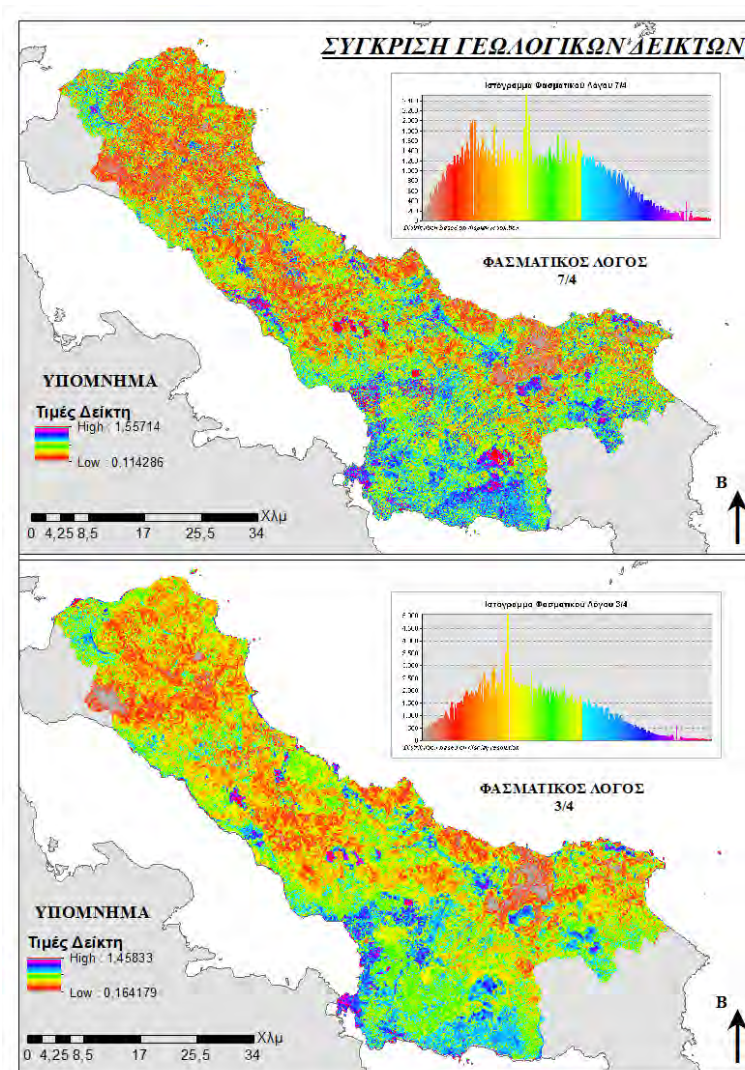
Κατά την εφαρμογή και των δύο δεικτών, αξίζει να σημειωθεί ότι δεν έχουν υποστεί καμιά τεχνική βελτίωση, καθώς έδωσαν ικανοποιητικά και συνάμα επιθυμητά αποτελέσματα. Στην ερευνητική περιοχή, τα οξείδια του σιδήρου αντιπροσωπεύουν τις φωτεινότερες περιοχές, με τον γεωλογικό δείκτη 7/4 να προσεγγίζει περισσότερο τον δείκτη FERROUS MINERALS (5/4), σε σχέση με τον δείκτη 3/4, όπου οι διαφορές είναι κάτι περισσότερο από εμφανής (Εικ. 4.19).



**Εικόνα 4.19. α: Φασματικός Λόγος 3/4, β: Φασματικός Λόγος 7/4 (Ιδία Επεξεργασία)**



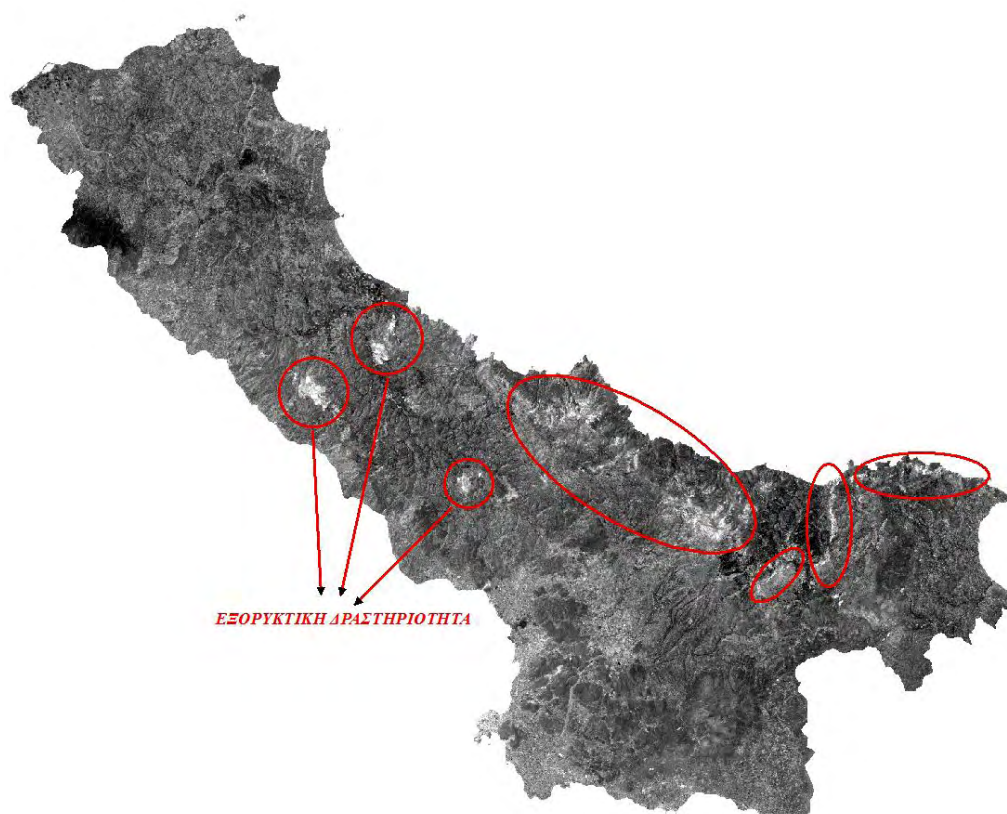
Αναλυτικά και μέσω χρωματικής κλίμακας, στον γεωλογικό δείκτη 3/4 η παρουσία των οξειδίων του σιδήρου διαφαίνεται σε όλες τις επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες, ακόμα και στις περιοχές, όπου πραγματοποιούνται εξορύξεις μαγνησίτη – Λευκόλιθου. Στην Οροσειρά της Δίρφους, στο Καντήλιο Όρος και στον Όλυμπο διαφαίνεται η ύπαρξη αυτών των οξειδίων αλλά με ενδείξεις, οι οποίες δεν θεωρούνται σημαντικές. Το ίδιο συμβαίνει και την περιοχή της Κύμης καθώς επίσης και σε όλες τις γεωργικές και εδαφικές εκτάσεις της ευρύτερης περιοχής. Αντιθέτως στον γεωλογικό δείκτη 7/4, η παρουσία των οξειδίων του σιδήρου ενισχύεται, καθώς με μία πρώτη ανάλυση οι ενδείξεις διαφαίνονται σημαντικά στο Καντήλιο Όρος, στον Όλυμπο και στις επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες, στην περιοχή της Παγώντας. Στην Οροσειρά της Δίρφους τα οξείδια του σιδήρου διαφαίνονται και εκεί λίγο καλύτερα σε σχέση με τον δείκτη 3/4, ενώ η διαφορά και των δύο φασματικών λόγων φαίνεται στις επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες των περιοχών του Μαντουδίου και του Τρούπι, όπου στον δείκτη 7/4 δεν εμφανίζει παρουσία των οξειδίων του σιδήρου. Παρόμοιες ενδείξεις εμφανίζονται και στις γεωργικές και εδαφικές εκτάσεις της ερευνητικής περιοχής (Χάρτης 4.4).



**Χάρτης 4.4. Σύγκριση Φασματικών Λόγων 7/4 & 3/4 (Ιδία Επεξεργασία)**

### ▪ ΔΕΙΚΤΗΣ 3/5

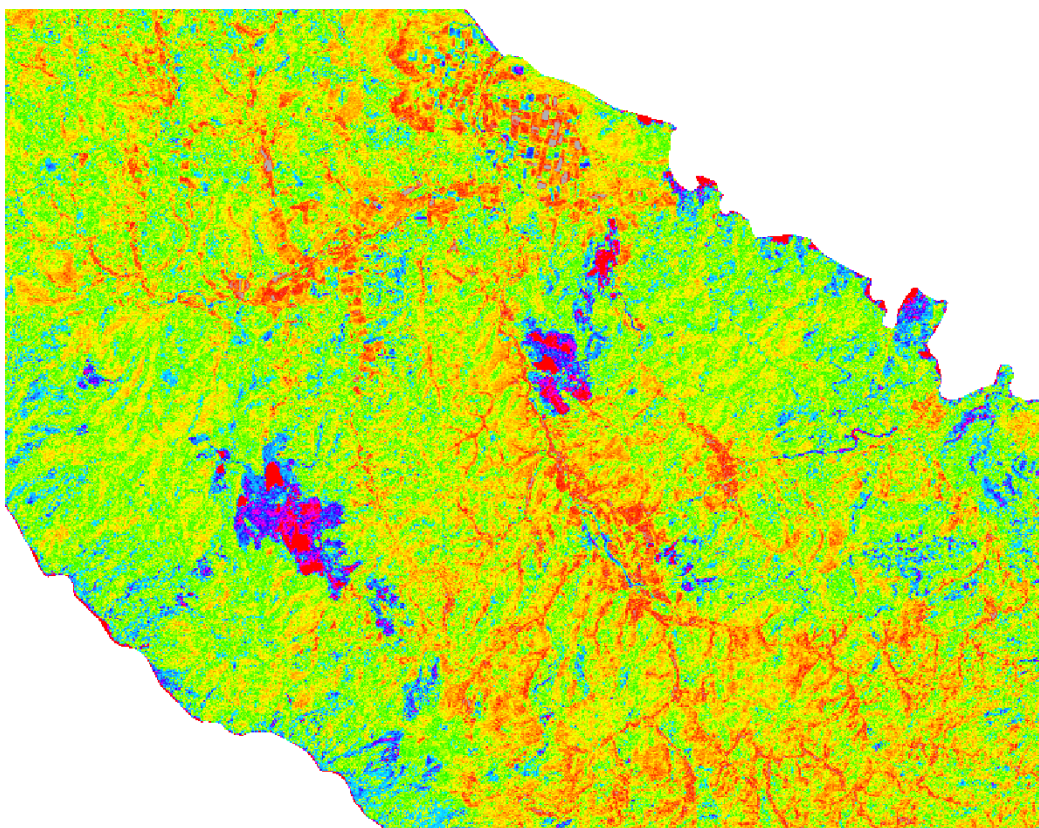
Ο εντοπισμό των οξειδίων του σιδήρου πραγματοποιήθηκε και με τον φασματικό λόγο 3/5, ο οποίος έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, χωρίς καμία τεχνική βελτίωση, καθώς τα οξείδια του σιδήρου αντιπροσωπεύουν τις φωτεινότερες περιοχές στα ήδη υπάρχοντα μεταλλεία, στην Οροσειρά της Δίρφους, στο Όρος Καντήλιο καθώς επίσης και στην περιοχή της Κύμης (Εικ. 4.20).



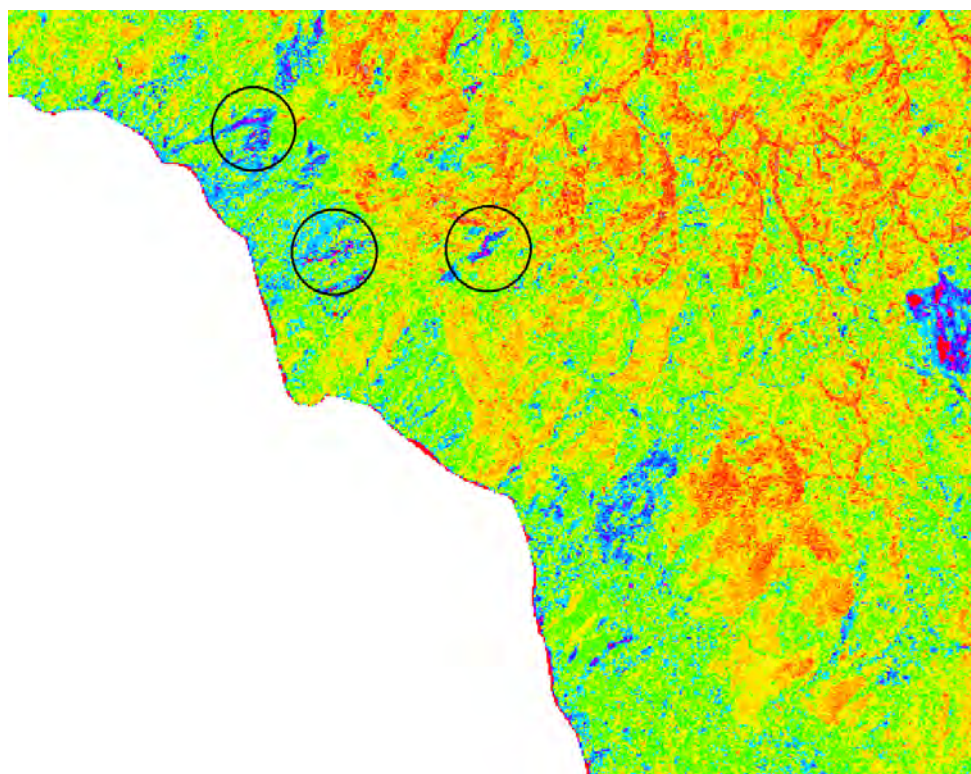
**Εικόνα 4.20. Γεωλογικός Δείκτης 3/5 – Τα οξείδια του σιδήρου αντιπροσωπεύουν τις φωτεινές ενδείξεις (Ιδία Επεξεργασία)**

Οι παρακάτω εικόνες 4.21, 4.22, 4.23 και 4.24 μας δίνουν μία καλύτερη προσέγγιση για το ποιες περιοχές ενδείκνυται η παρουσία οξειδίων του σιδήρου, όπου αυτό διαφαίνεται από το έντονο ιώδες χρώμα. Εκτός από τις προαναφερθείσες περιοχές παρατηρείται ότι και στα παράλια του Αιγαίου έχουμε έντονη την παρουσία οξειδίων του σιδήρου, όπως επίσης και στα παράλια του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου. Αξίζει να σημειωθεί και να επισημανθεί ότι μέσα από τον γεωλογικό δείκτη 3/5 η παρουσία των οξειδίων του σιδήρου συμπίπτει, σε τεράστιο βαθμό, χωρικά με τις μπλε αποχρώσεις του συνδυασμού φασματικών εικόνων 4 – 7 – 2, (RGB) όπου βρίσκονται στις επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες των περιοχών του Μαντουδίου και του Τρούπι, αλλά και στους ασβεστόλιθους της Οροσειράς της Δίρφους. Ο χάρτης 4.5 παρουσιάζει τις περιοχές που ενδείκνυται η παρουσία οξειδίων του σιδήρου, μέσα από τον γεωλογικό δείκτη 3/5.



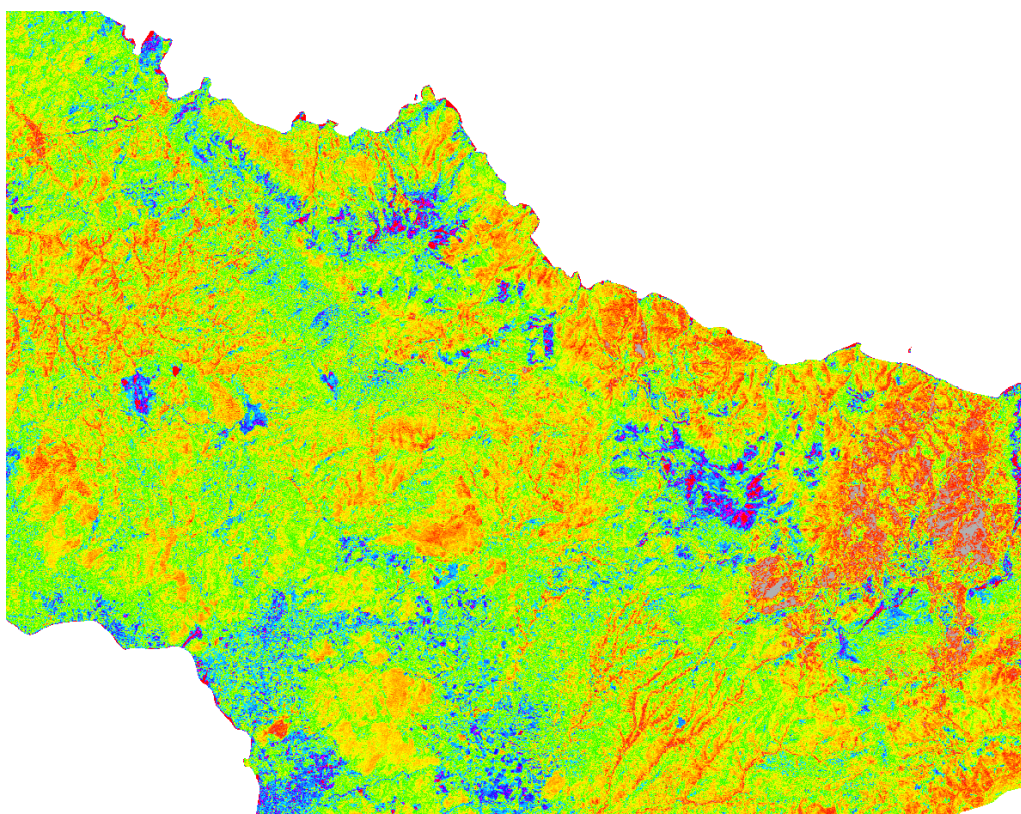


**Εικόνα 4.21. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Σιδήρου στην Κεντρική Εύβοια, με ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)**

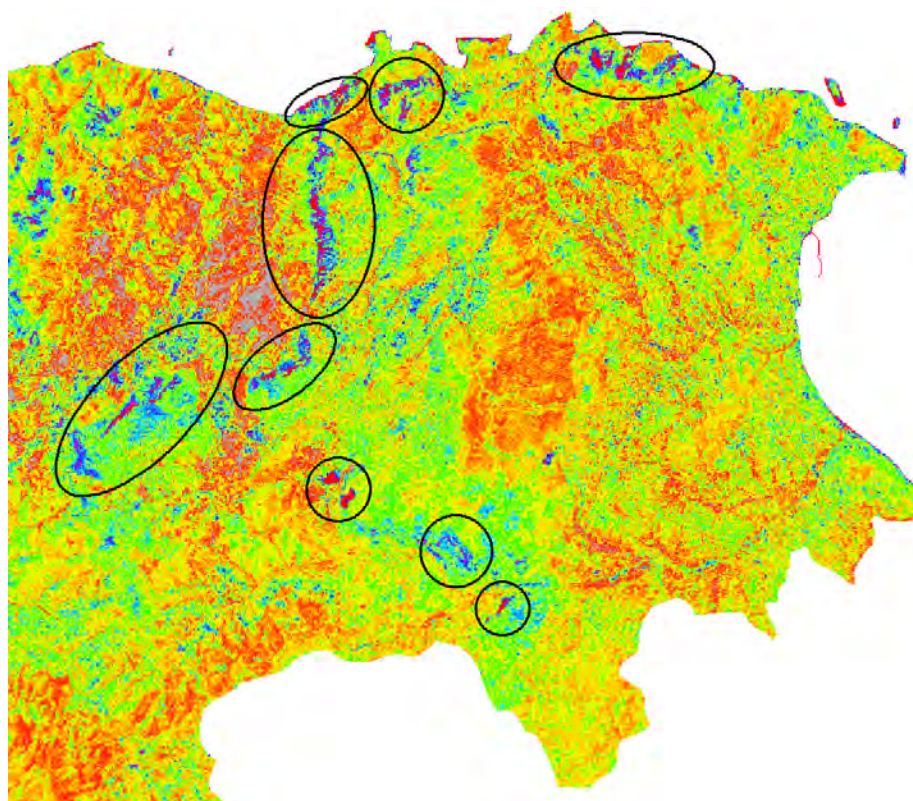


**Εικόνα 4.22. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Σιδήρου στο Καντήλιο Όρος, με ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)**



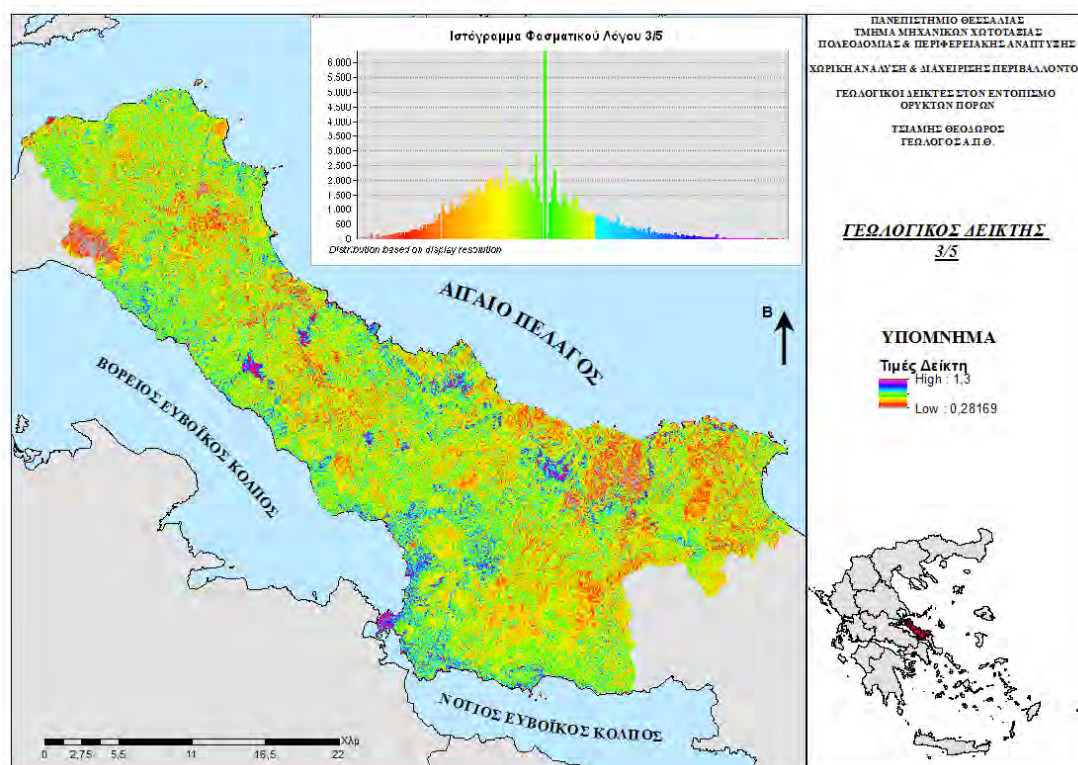


**Εικόνα 4.23. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Σιδήρου στην Κεντρική Εύβοια, με ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)**



**Εικόνα 4.24. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Σιδήρου στην περιοχή της Κύμης, με ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)**





**Χάρτης 4.5. Γεωλογικός Δείκτης 3/5 στην περιοχή μελέτης (Ιδία Επεξεργασία)**

#### **4.3.2.2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΡΓΙΛΙΟΥ**

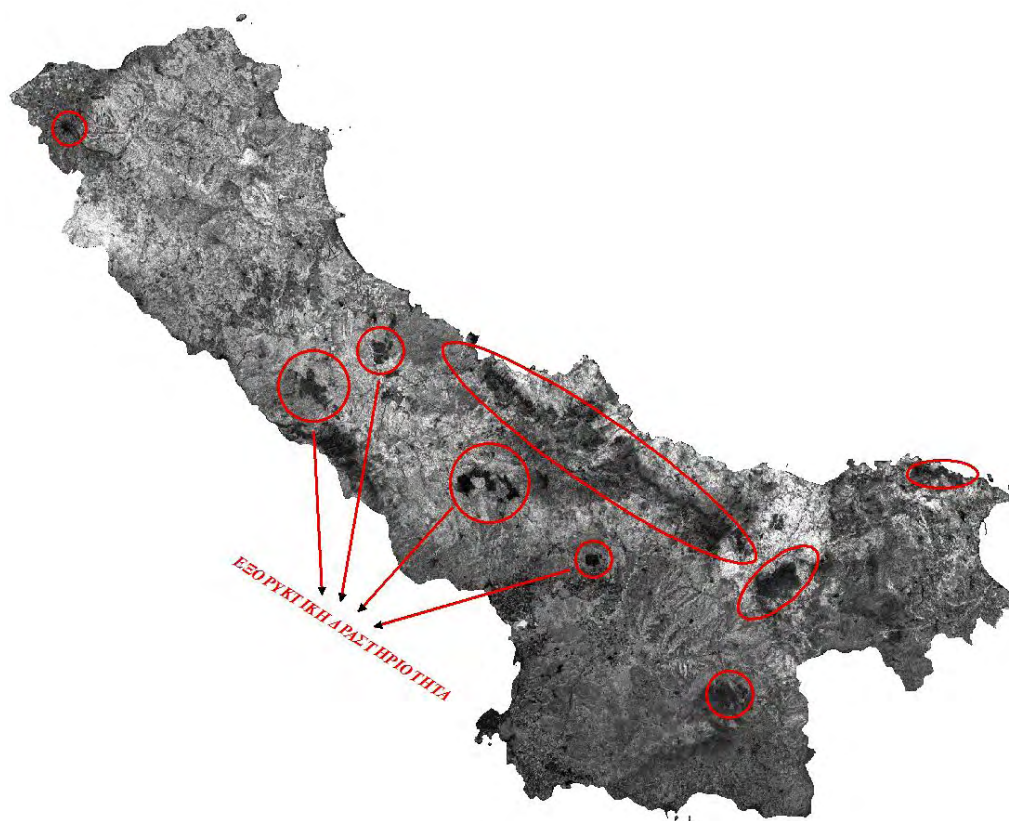
##### **▪ ΔΕΙΚΤΗΣ 5/7 (CLAY MINERALS)**

Η παρουσία αργιλικών υλικών, μας οδηγεί στην εφαρμογή κατάλληλων γεωλογικών δεικτών, δίνοντας πλήρη εικόνα, όσον αφορά την κατανομή του ορυκτού πλούτου στην ερευνητικής μας περιοχής, συμπληρώνοντας επί της ουσίας τους ήδη εφαρμοσμένους δείκτες που αφορούσαν τον εντοπισμό των οξειδίων του σιδήρου.

Όπως αναφέρθηκε στο παρόν κεφάλαιο ο γεωλογικός δείκτης 5/7, λεγόμενος και ως CLAY MINERALS, χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό αργιλικών ορυκτών που περιέχουν υδροξύλια (υδροθερμικά αργιλικά ορυκτά). Στις φασματικές αποκρίσεις (Βλ. Κεφ. 2) το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στις ζώνες 5 και 7 (Bands 5 & 7), καθώς στην πρώτη έχουμε υψηλή ανακλαστικότητα, ενώ στην δεύτερη χαμηλή, με έντονη απορροφητικότητα. Επίσης η εφαρμογή του συγκεκριμένου φασματικού λόγου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό ανθρακικών ορυκτών, αλλά και για την διάκριση της βλάστησης (Soe κ.α., 2008).

Στην περιοχή έρευνας, με βάση την βλάστηση μπορούν να εντοπιστούν τα οξείδια του αργιλίου που περιέχονται σε ορυκτά των υπό εξέταση κοιτασμάτων, όπως είναι ο χλωρίτης, ο ιλλίτης, το διάσπορο, ο γινίτης, ο μπαιμίτης και ο μαγνησίτης (κοίτασμα του μαγνησίου). Αυτό που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι η εικόνα δεν υπέστη καμία βελτίωση, διότι από μόνη της έδωσε επιθυμητά αποτελέσματα. Αναλυτικά οι φωτεινότερες περιοχές αντιπροσωπεύουν εκείνες τις περιοχές, όπου παρουσιάζεται

έντονη βλάστηση, όπως στην περιοχή της Κύμης, στα παράλια του Αιγαίου Πελάγους, δηλαδή προς τις περιοχές της Οροσειράς της Δίρφης και στους ορεινούς όγκου του Τολέθριου και Ξηρού. Αντιθέτως παρατηρείται ότι στις σκοτεινότερες περιοχές ενδείκνυται η παρουσία οξειδίων του αργιλίου, σε όλα τα υπάρχοντα μεταλλεία της ερευνητικής περιοχής, στην Κύμη, στις κορυφές της Οροσειράς της Δίρφης, στον Όλυμπο, στο Καντήλιο Όρος και στις πεδινές εκτάσεις της Ιστιαίας, όπου εκεί οι ενδείξεις δεν έχουν μεγάλη έκταση (Εικ. 4.25).

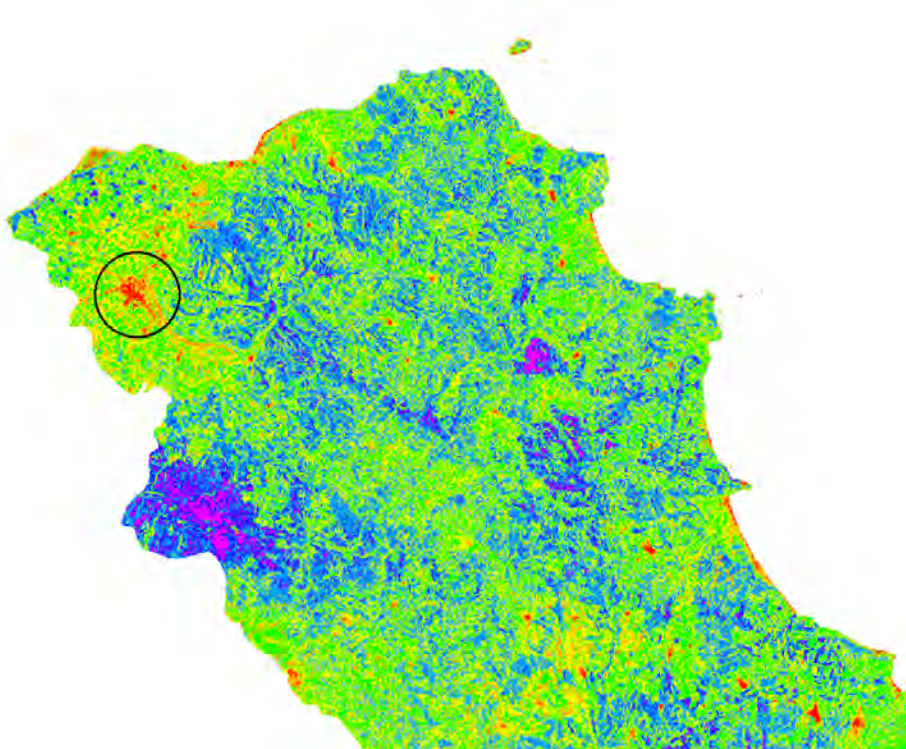


**Εικόνα 4.25. Γεωλογικός Δείκτης 5/7 – Τα Οξείδια του Αργιλίου αντιπροσωπεύουν τις σκοτεινές ενδείξεις (Ιδία Επεξεργασία)**

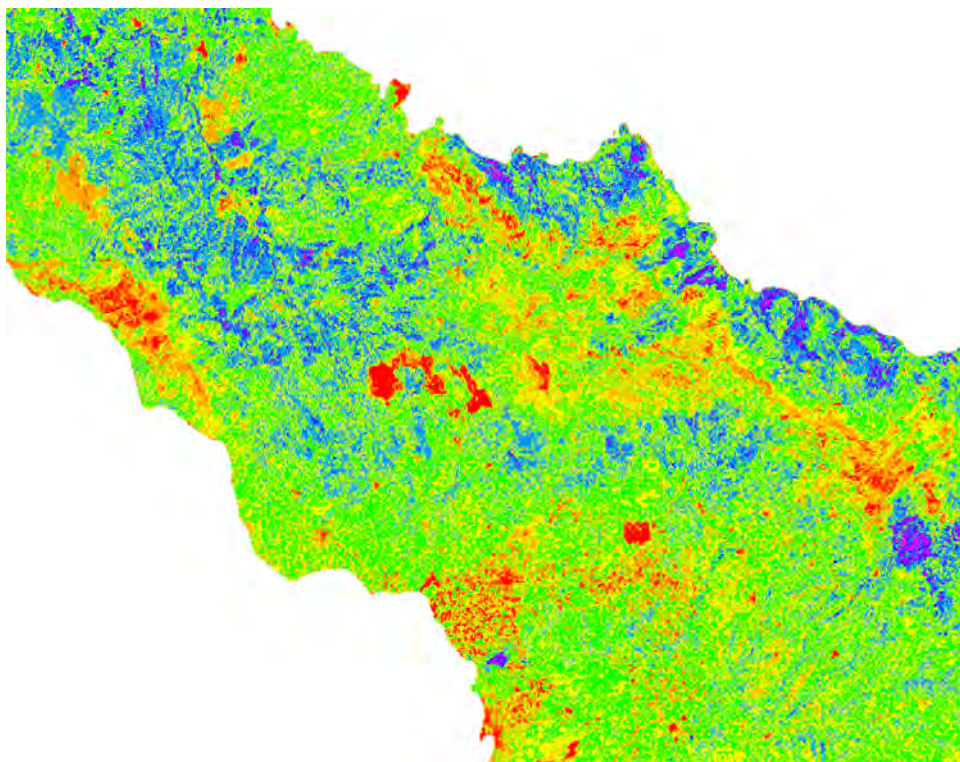
Για την επιβεβαίωση των προαναφερθέντων περιοχών, πραγματοποιήθηκε περαιτέρω ανάλυση, μέσω χρωματικής κλίμακας, όπου οι παρουσίες των αργιλικών υλικών αντιπροσωπεύονται από τις πολύ έντονες κόκκινες αποχρώσεις, σύμφωνα με τις παρακάτω εικόνες (Εικ. 4.26, 4.27, 4.28, 4.29). Τα αποτελέσματα σε αυτήν την περίπτωση μας έδειξαν παρουσία αυτών των στοιχείων και στις γεωργικές, αλλά και συνάμα εδαφικές εκτάσεις των περιοχών Χαλκίδας, Ψαχνά και Πισσώνας, όπου χωρικά συμπίπτουν με τις παρουσίες των οξειδίων του σιδήρου, όπως δείχθηκε από τους προηγούμενους γεωλογικούς δείκτες. Αντιθέτως στον Όλυμπο και στα μεταλλεία των περιοχών του Μαντουδίου και του Τρούπι η παρουσία δεν είναι τόσο έντονη, πράγμα που διαφαίνεται από τις πολύ ανοικτές κόκκινες αποχρώσεις. Επίσης στον χάρτη 4.6 οι τιμές του γεωλογικού δείκτη ταξινομήθηκαν (Classify) σε 10 ομάδες για την καλύτερη δυνατή απεικόνιση των οξειδίων του αργιλίου στην



ερευνητική περιοχή, παρουσιάζοντας ταυτόχρονα και την ποσοτική πληροφορία της περιοχής, μέσω ιστογράμματος.

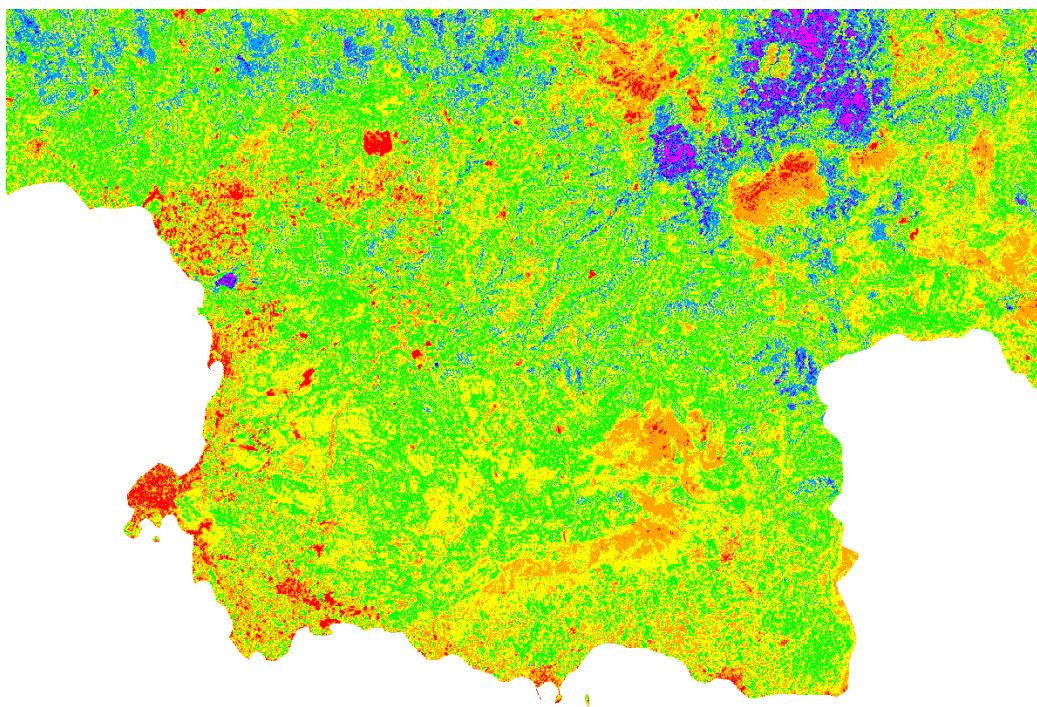


**Εικόνα 4.26. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Αργιλίου στην Βόρεια Εύβοια, με έντονες κόκκινες αποχρώσεις (Ιδία Επεξεργασία)**

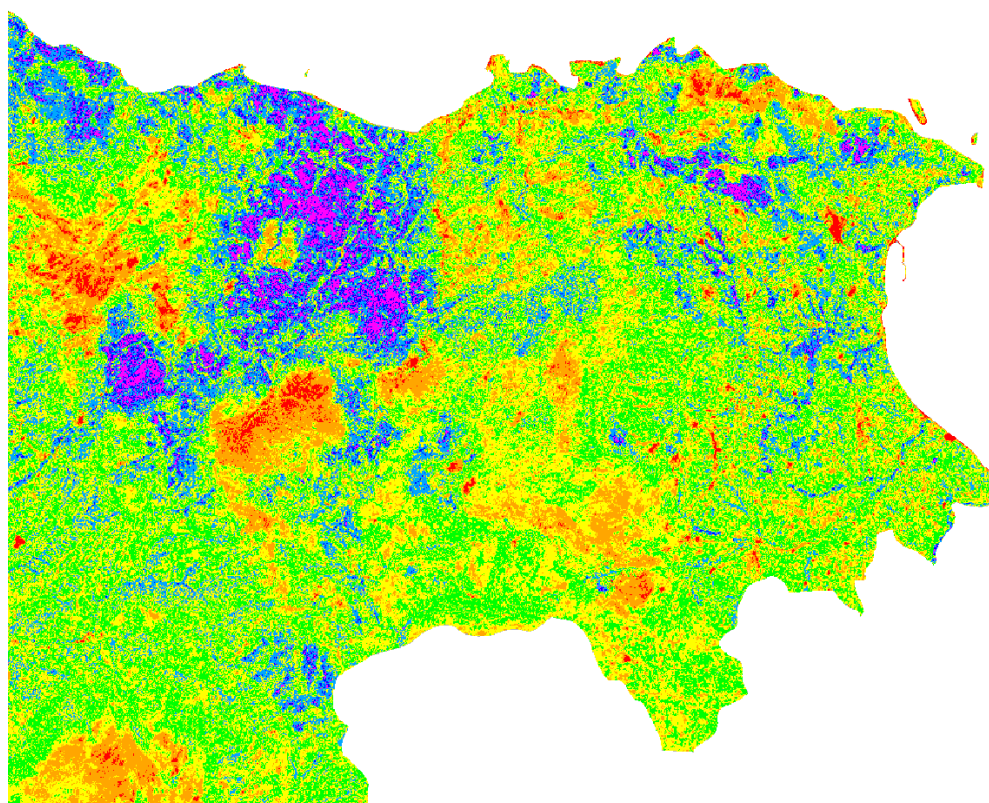


**Εικόνα 4.27. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Αργιλίου στην Κεντρική Εύβοια, με έντονες ερυθρές αποχρώσεις (Ιδία Επεξεργασία)**



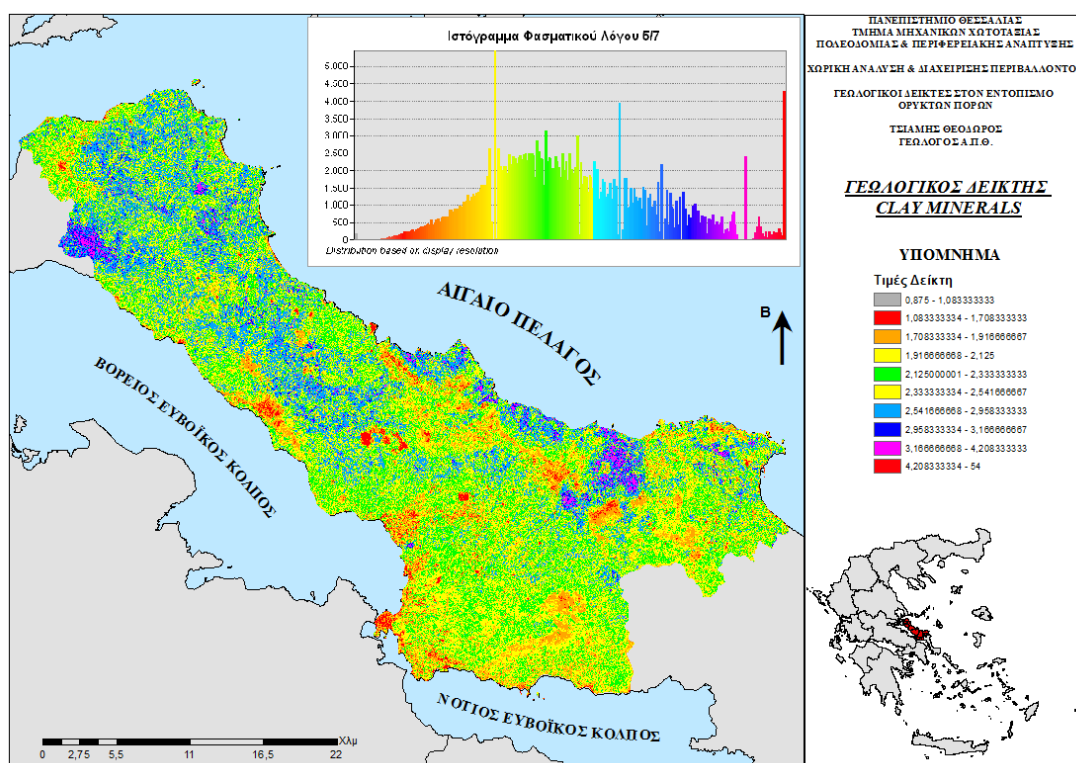


**Εικόνα 4.28. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Αργιλίου στην Κεντρική Εύβοια, με έντονες κόκκινες αποχρώσεις (Ιδία Επεξεργασία)**



**Εικόνα 4.29. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Αργιλίου στην περιοχή της Κύμης, με έντονες κόκκινες αποχρώσεις (Ιδία Επεξεργασία)**





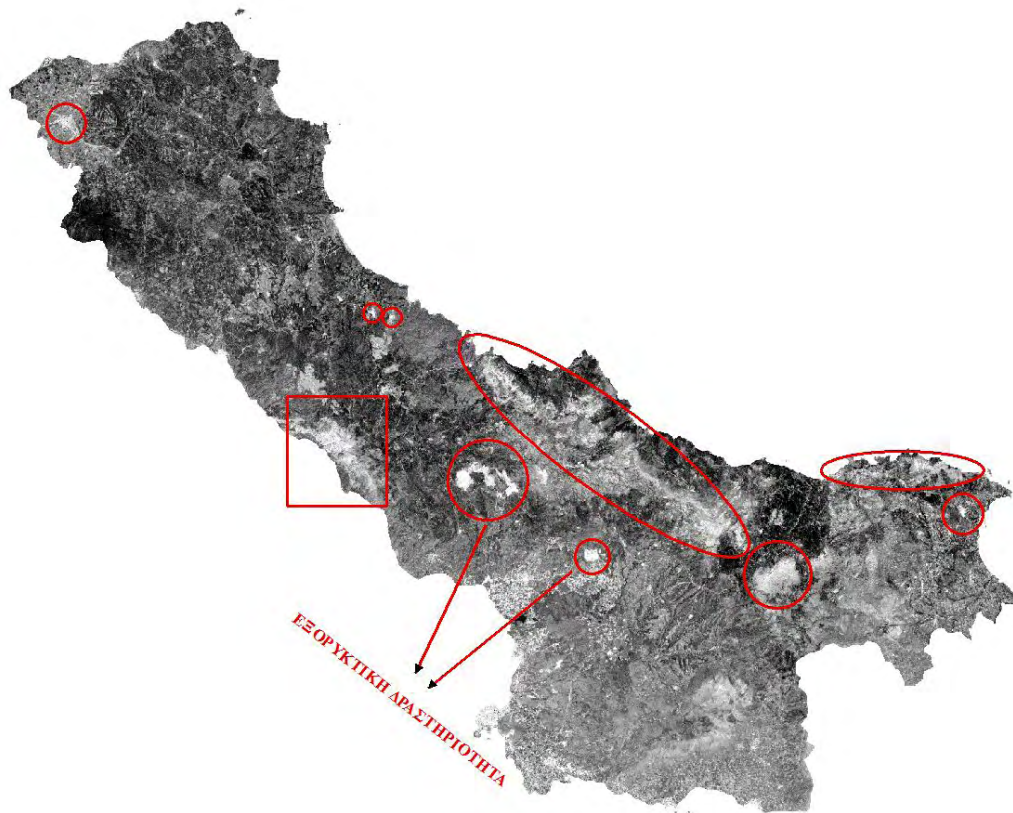
**Χάρτης 4.6. Γεωλογικός Δείκτης 5/7 στην περιοχή μελέτης (Ιδία Επεξεργασία)**

#### ■ ΔΕΙΚΤΗΣ 7/5 (CLAY RATIO)

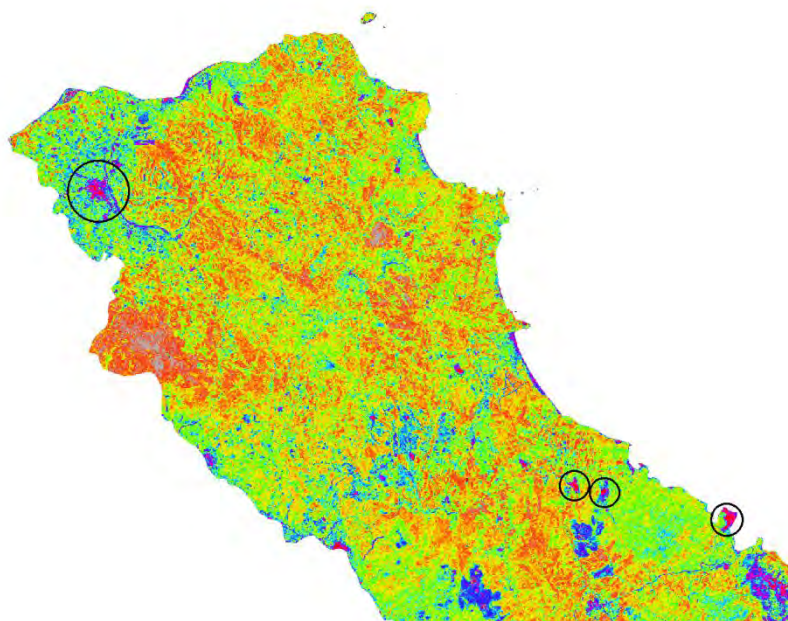
Τελευταίος γεωλογικός δείκτης που εφαρμόστηκε για τους σκοπούς της έρευνας ήταν ο φασματικός λόγος 7/5, ο οποίος χρησιμοποιείται για τον ίδιο σκοπό. Η παρουσία οξειδίων του αργιλίου μας οδηγεί στην εφαρμογή και του συγκεκριμένου δείκτη για την καλύτερη απεικόνιση των στοιχείων αυτών. Η εικόνα από μόνη της έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, χωρίς να υποστεί καμία τεχνική βελτίωση. Σε σχέση με τον γεωλογικό δείκτη 5/7 (CLAYS MINERALS) τα αποτελέσματα είναι αντίθετα ως προς τις φωτεινές και σκοτεινές ενδείξεις.

Αναλυτικά οι σκοτεινές περιοχές είναι εκείνες που αντιπροσωπεύουν τις περιοχές, όπου παρουσιάζεται έντονη βλάστηση, ενώ οι φωτεινές την παρουσία οξειδίων του αργιλίου, χωρίς να αλλάξει επί της ουσίας η χωρική τοποθέτηση όλων των αντικειμένων (Εικ. 4.30). Η ανάλυση, μέσω χρωματικής κλίμακας, μας έδωσε καλύτερη απεικόνιση, κυρίως στις κορυφές τις Οροσειράς της Δίρφους, στον Όλυμπο και στην περιοχή της Κύμης, όπου εκεί η παρουσία των συγκεκριμένων στοιχείων είναι κάτι παραπάνω από αισθητή, με σημαντικές για την περιοχή ποσότητες, γεγονός που διαφάνηκε και από την παρουσία των οξειδίων του σιδήρου. Στις επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες του Μαντουδίου και του Τρούπι επιβεβαιώθηκε η μικρή παρουσία των αργιλικών στοιχείων, πράγμα που δεν συμβαίνει στις γεωργικές και εδαφικές εκτάσεις όλης της ερευνητικής περιοχής, στα ανοικτά μεταλλεία της Παγώντας, αλλά και στον ορεινό όγκο του Καντήλιου Όρους, όπου οι ενδείξεις και εδώ είναι εξίσου σημαντικές (Εικ. 4.31, 4.32, 4.33, 4.34). Τέλος ο χάρτης 4.7

παρουσιάζει τις περιοχές που ενδείκνυται η παρουσία οξειδίων του αργιλίου, μέσα από τον γεωλογικό δείκτη 7/5.

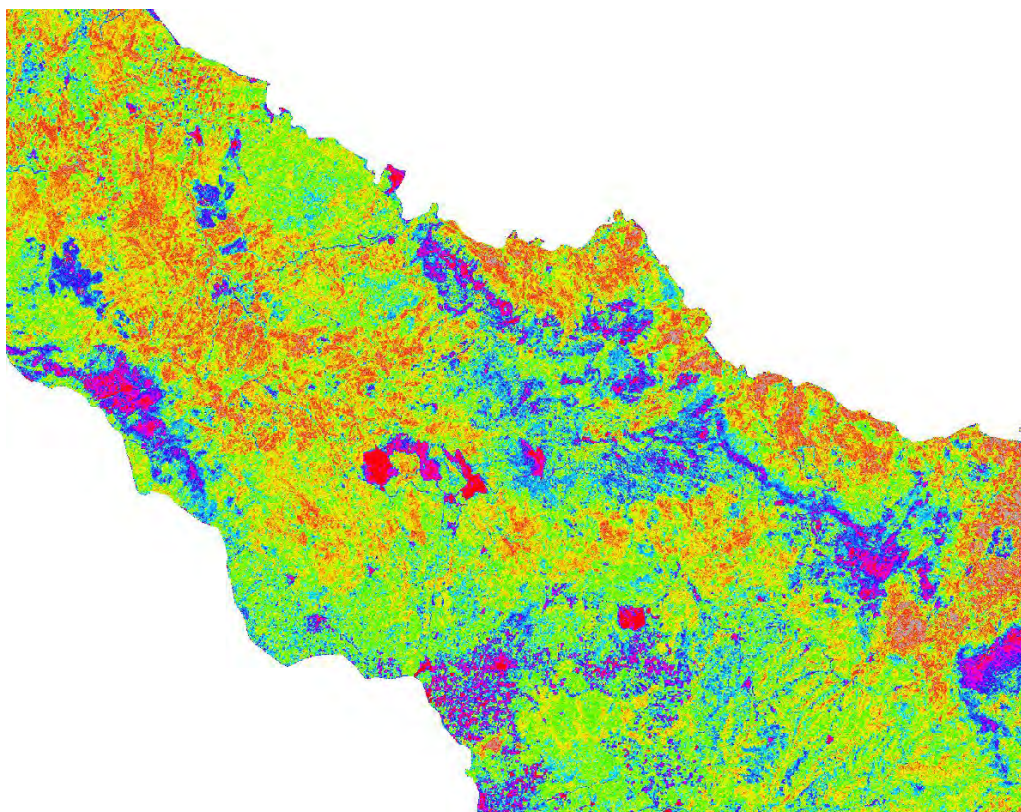


**Εικόνα 4.30. Γεωλογικός Δείκτης 7/5 – Τα Οξείδια του Αργιλίου αντιπροσωπεύουν τις φωτεινές ενδείξεις (Ιδία Επεξεργασία)**

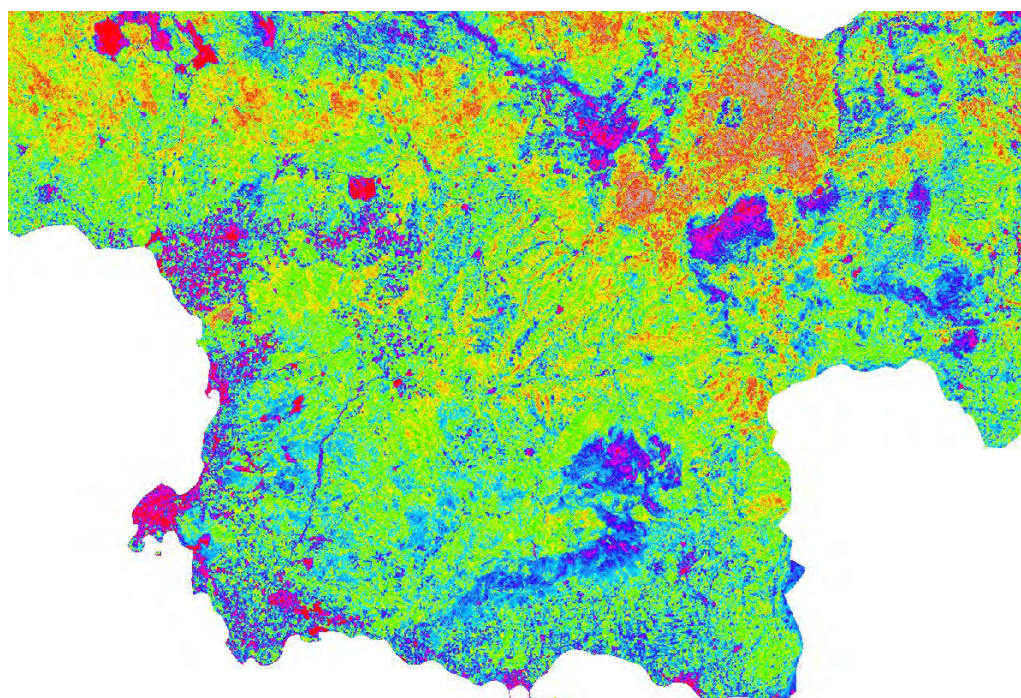


**Εικόνα 4.31. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Αργιλίου στην Βόρεια Εύβοια, με ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)**



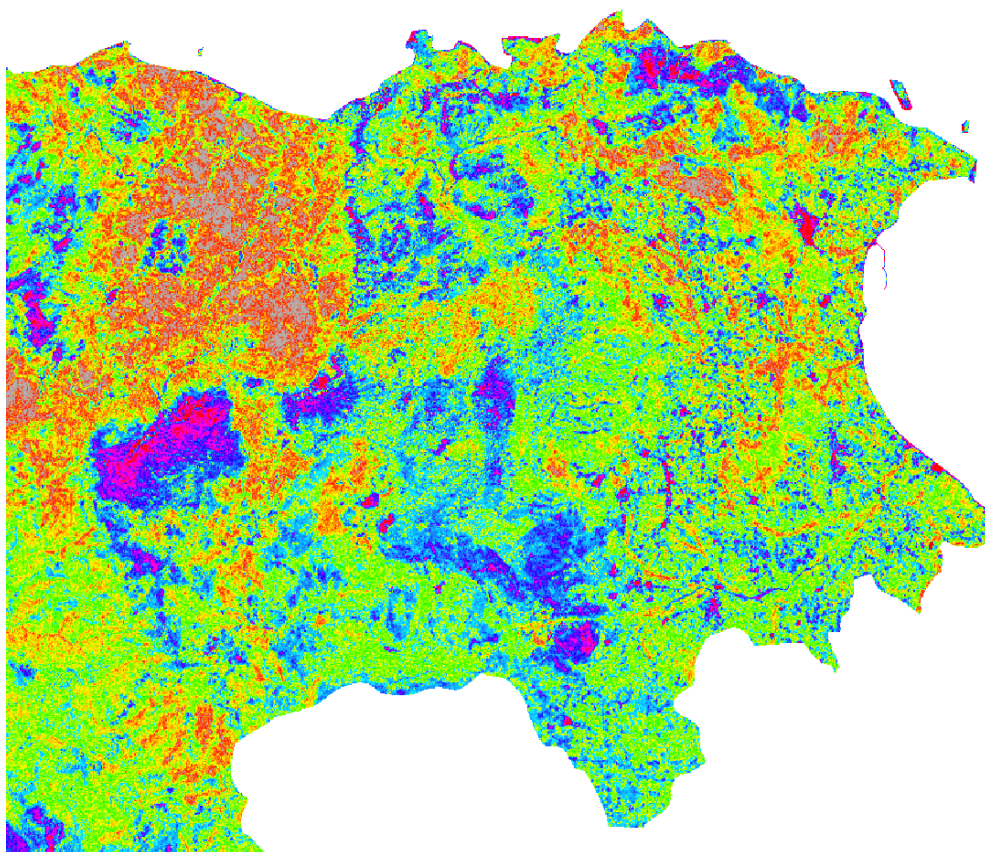


**Εικόνα 4.32. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Αργιλίου στην Κεντρική Εύβοια, με ιώδες (Ιδία Επεξεργασία)**

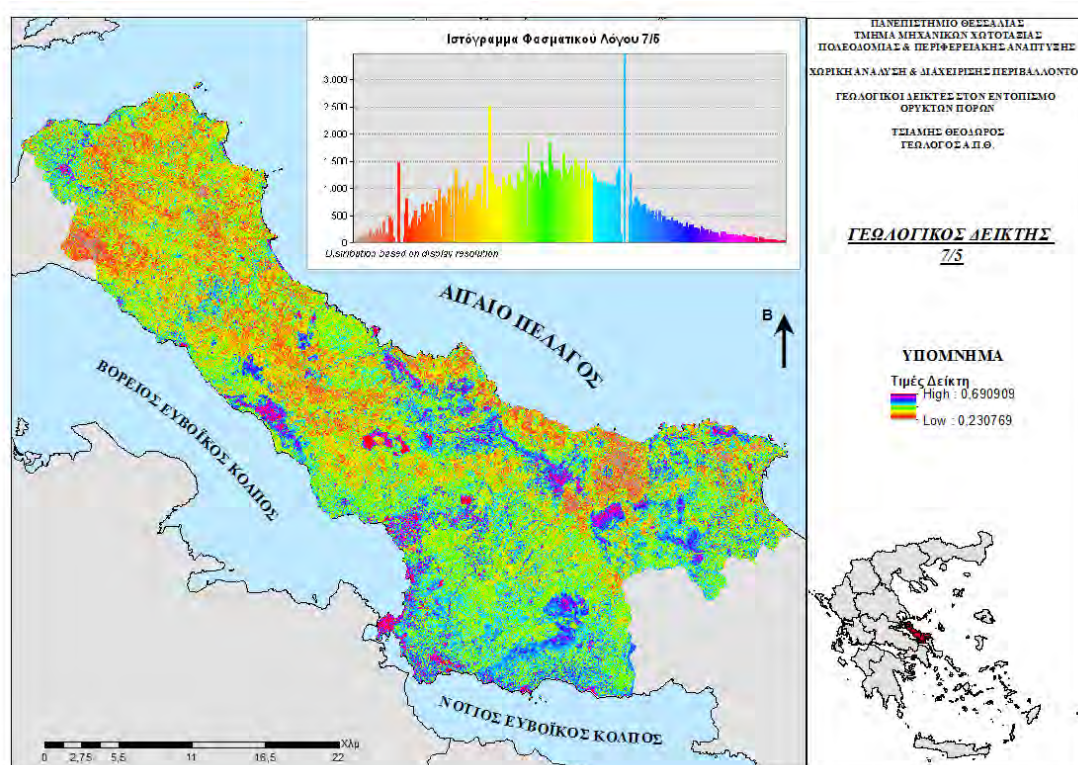


**Εικόνα 4.33. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Αργιλίου στην Κεντρική Εύβοια, με ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)**





Εικόνα 4.34. Περιοχές ένδειξης Οξειδίων του Αργιλίου στην περιοχή της Κύμης, με  
ιώδες χρώμα (Ιδία Επεξεργασία)



Χάρτης 4.7. Γεωλογικός Δείκτης 7/5 στην περιοχή μελέτης (Ιδία Επεξεργασία)

#### **4.4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ**

Ο συνδυασμός ψευδέχρωμων εικόνων, μέσω φασματικών λόγων, αποτελεί μία τεχνική μέθοδος για να αναζητηθούν συγκεκριμένα αντικείμενα πάνω στην επιφάνεια της Γης. Σκοπός αυτός των συνδυασμών είναι να εντοπιστούν και να ανιχνευθούν σχηματισμοί ή πετρώματα που έχουν υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση, όπου σαφώς υπάρχει η παρουσία σιδηρούχων και αργιλικών στοιχείων. Επίσης χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των οξειδίων του σιδήρου, όπως και στο γεγονός ότι μπορεί να αποτελέσει ιδανικός παράγοντας για τον εντοπισμό οφειολιθικών πετρωμάτων.

Συγκεκριμένα ο συνδυασμός 5/7, 5/4, και 3/1 (MINERAL COMPOSITE, Chica – Olma Ratio) στο RGB, χρησιμοποιείται για την ανίχνευση εξαλλοιωμένων πετρωμάτων που περιέχουν υδροξύλια και οξείδια του σιδήρου. Ακριβώς για τον ίδιο σκοπό εφαρμόζεται και ο συνδυασμός 5/7, 3/1 και 4/3 (HYDROTHERMAL COMPOSITE), αλλά με την διαφορά ότι δεν ταιριάζει για κάθε περιοχή έρευνας (Ciampalini κ.α. στο Elsayed Zeinelbdein & Albiely, 2008).

Άλλου τύπου συνδυασμοί φασματικών λόγων στο RGB είναι οι 5/7, 3/2, 4/5 και 5/7, 3/2, 4/3 (Abrams Ratios), όπου χρησιμοποιούνται για να απεικονίζονται υδροθερμικά εξαλλοιωμένα αργιλικά ορυκτά και οξείδια του σιδήρου, ενώ υπάρχει και ο συνδυασμός 7/4, 4/3, 5/7 (Kaufmann Ratio), όπου εφαρμόζεται για την χαρτογράφηση ορυκτών που περιέχουν ιόντα σιδήρου καθώς επίσης ζώνες βλάστησης και ορυκτά υδροξυλίων (Mia & Fujimitsu, 2012). Στην ερευνητική περιοχή το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρουσία όλων εκείνων των στοιχείων που εντοπίστηκαν από τους προαναφερθέντες γεωλογικούς δείκτες. Οι παραπάνω συνδυασμοί, όμως δεν έδωσαν τα επιθυμητά αποτελέσματα, με αποτέλεσμα να αναζητηθούν παρακάτω οι κατάλληλοι συνδυασμοί γεωλογικών δεικτών για να επιτευχθούν, όσον τον δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα.

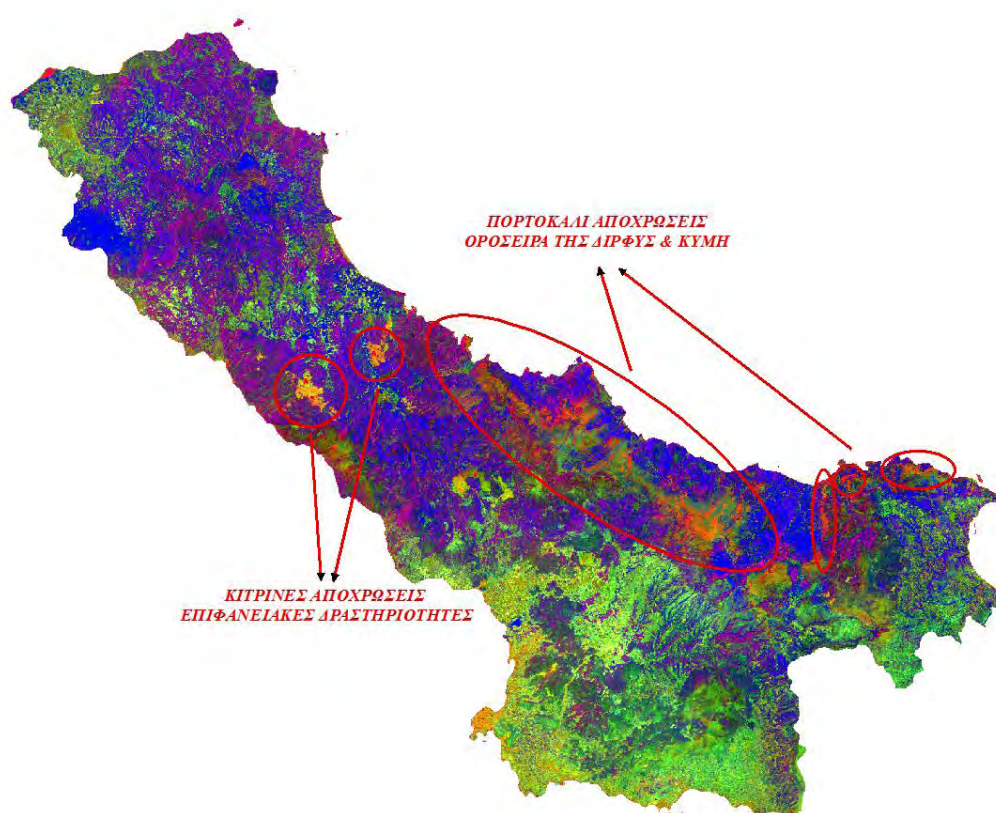
##### ***4.4.1. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ RGB: 3/5 – 3/1 – 5/7***

Για τους σκοπούς της έρευνας εφαρμόστηκε ο συνδυασμός των γεωλογικών δεικτών 3/5, 3/1 (IRON OXIDE) και 5/7 (CLAY MINERALS), όπου με πορτοκαλί και κίτρινες αποχρώσεις οριοθετεί τα εξαλλοιωμένα πετρώματα, με σαφές πλεονέκτημα τον συνδυασμό κατανομής των σιδηρούχων και υδροθερμικών αργιλικών ορυκτών, χωρίς όμως να γίνεται η διάκριση αυτών μεμονωμένα, όπως στην περίπτωση των γεωλογικών δεικτών. Ο συγκεκριμένος τύπος συνδυασμού εφαρμόστηκε στην Βόρεια Χιλή και στην Νεβάδα των ΗΠΑ με σκοπό τον εντοπισμό γεωλογικών σχηματισμών που έχουν υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση σε πορφυριτικά κοιτάσματα χαλκού και επιθερμικά κοιτάσματα χρυσού αντίστοιχα (Sabins, 1999). Επίσης εφαρμόστηκε και στο Βόρειο Σουδάν, με σκοπό την ορυκτολογική εξερεύνηση της περιοχής (Khibir & Babikir, 2013).

Παρατηρώντας την δορυφορική εικόνα, με τον συγκεκριμένο συνδυασμό διακρίνονται κίτρινες αποχρώσεις στις επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες των περιοχών του Μαντουδίου και Τρούπι καθώς και πορτοκαλί αποχρώσεις στις κορυφές



της Οροσειράς της Δίρφους, στην ευρύτερη περιοχή της Κύμης και στο Καντήλιο Όρος. Η βλάστηση διαφαίνεται με μπλε αποχρώσεις, ενώ οι γεωργικές και συνάμα εδαφικές εκτάσεις διαφαίνονται με πράσινες αποχρώσεις. Όσον αφορά τις περιοχές που υπάρχει αραιή βλάστηση η απόχρωσή τους είναι μωβ. Εκείνο που πρέπει σημειωθεί και να επισημανθεί είναι ότι οι κίτρινες και πορτοκαλί αποχρώσεις αποτελούν ενδείξεις υδροθερμικής εξαλλοίωσης, συμπίπτοντας χωρικά με αυτές των μπλε αποχρώσεων του συνδυασμού των φασματικών ζωνών 4 – 7 – 2 και σε μεγάλο βαθμό με τους γεωλογικούς δείκτες 3/5, 5/7 και 7/5 αντίστοιχα, επιβεβαιώνοντας την παρουσία των οξειδίων του σιδήρου και αργιλίου (Εικ. 4.35). Για τις ανάγκες της έρευνας δεν πραγματοποιήθηκε καμία τεχνική βελτίωση της εικόνας, διότι από μόνη έδωσε επιθυμητά αποτελέσματα.



**Εικόνα 4.35. Περιοχή Έρευνας – Συνδυασμός 3/5, 3/1, 5/7 (RGB) (Ιδία Επεξεργασία)**

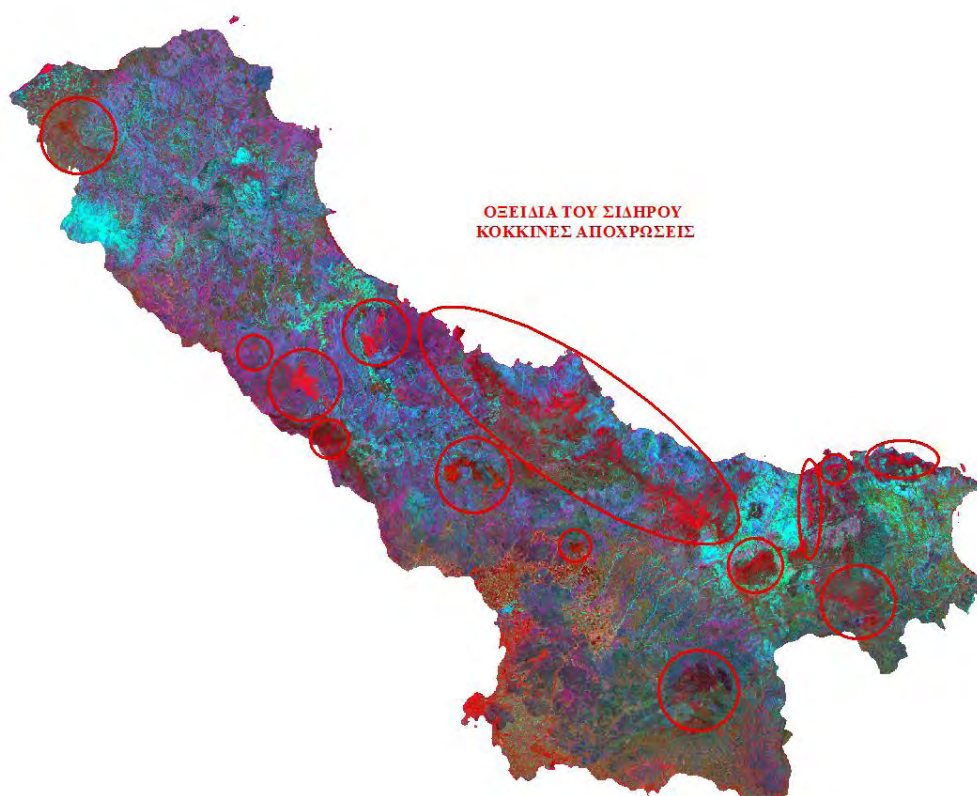
#### **4.4.2. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ RGB: 3/5 – 4/1 – 5/7**

Ένας ακόμη συνδυασμός γεωλογικών δεικτών στο RGB είναι αυτός του 3/5, 4/1 και 5/7, ο οποίος θεωρείται σημαντικός και χρήσιμος για την προβολή των οξειδίων του σιδήρου στην υπό εξέταση ερευνητική περιοχή. Η διαφορά με τον προηγούμενο συνδυασμό παρουσιάζεται στην αντικατάσταση του γεωλογικού δείκτη 3/1 (IRON OXIDE) με τον φασματικό λόγο 4/1 στο πράσινο φασματικό κανάλι. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός εφαρμόστηκε στην Δυτική Αφρική και στην περιοχή του

Djebilet της Νοτιοδυτικής Αλγερίας, σε σκοπό τον εντοπισμό σιδηρομεταλλευμάτων (Ciampalini κ.α., 2012).

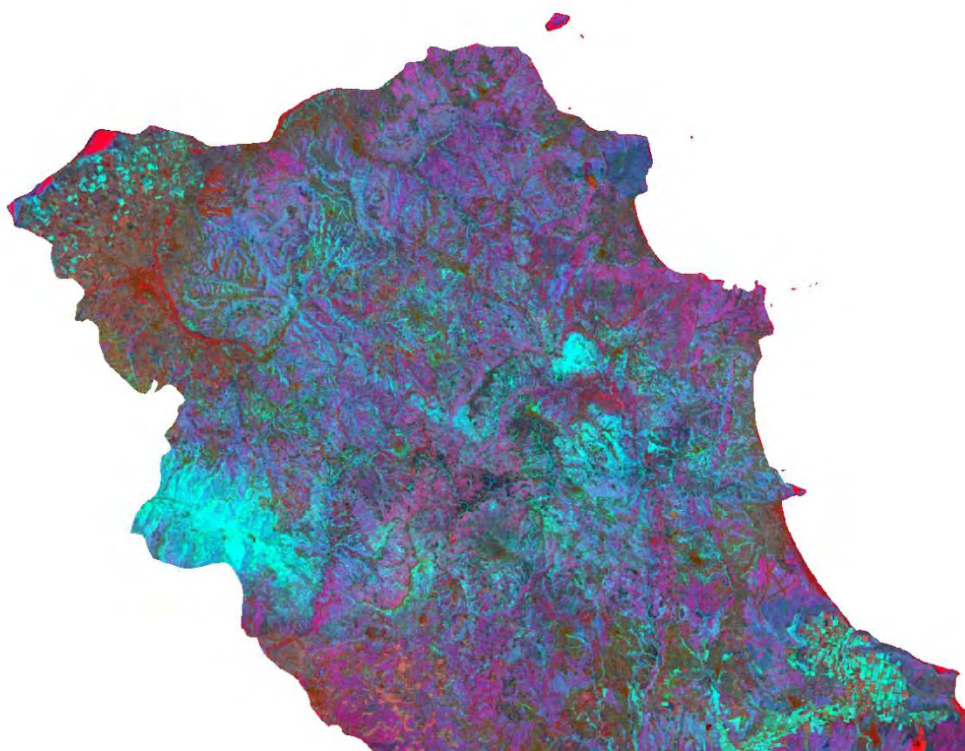
Αναλυτικά η παρουσία των οξειδίων του σιδήρου αντιπροσωπεύεται από τις κόκκινες ενδείξεις σε όλες τις επιφανειακές εξορυκτικές δραστηριότητες της ερευνητικής περιοχής, στις κορυφές της Οροσειράς της Δίρφυς, στην ευρύτερη περιοχή της Κύμης και στους ορεινούς όγκους Καντήλιο και Όλυμπος. Επίσης τα οξείδια του σιδήρου διαφαίνονται στις γεωργικές και εδαφικές εκτάσεις των περιοχών Ιστιαίας, Ψαχνά, Αρτάκη και Πισσώνας, όπου οι ενδείξεις δεν είναι πολύ σημαντικές, ενώ η βλάστηση διαφαίνεται με κυανές αποχρώσεις. Όσον αφορά τις περιοχές που υπάρχει αραιή βλάστηση η απόχρωσή τους είναι μωβ.

Επιπλέον, όπως και στον προηγούμενο συνδυασμό, έτσι και εδώ όλες οι κόκκινες ενδείξεις συμπίπτουν χωρικά με αυτές των μπλε αποχρώσεων του συνδυασμού των φασματικών ζωνών 4 – 7 – 2 και σε μεγάλο βαθμό με τους γεωλογικούς δείκτες 3/5 και 5/4 (FERROUS MINERALS) αντίστοιχα, επιβεβαιώνοντας την παρουσία των οξειδίων του σιδήρου στην ερευνητική περιοχή (Εικ. 4.36, 4.37, 4.38, 4.39, 4.40). Για τις ανάγκες της έρευνας δεν πραγματοποιήθηκε καμία τεχνική βελτίωση της εικόνας, διότι από μόνη έδωσε επιθυμητά αποτελέσματα.

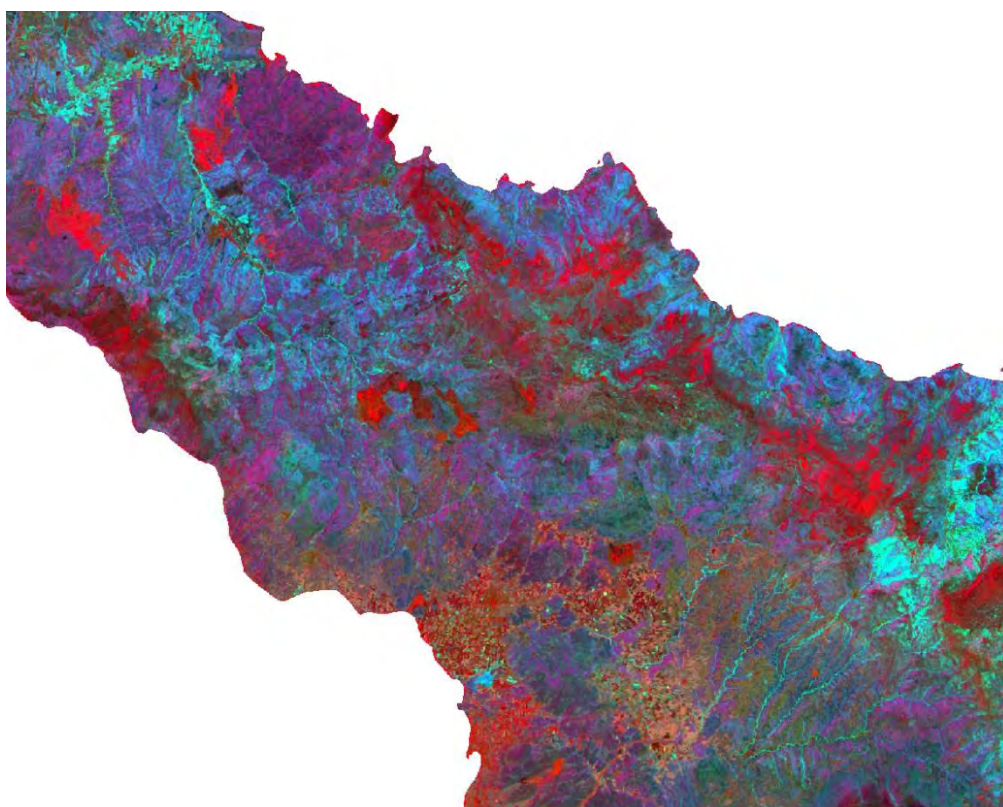


**Εικόνα 4.36. Περιοχή Έρευνας – Συνδυασμός 3/5, 4/1, 5/7 (RGB) (Ιδία Επεξεργασία)**

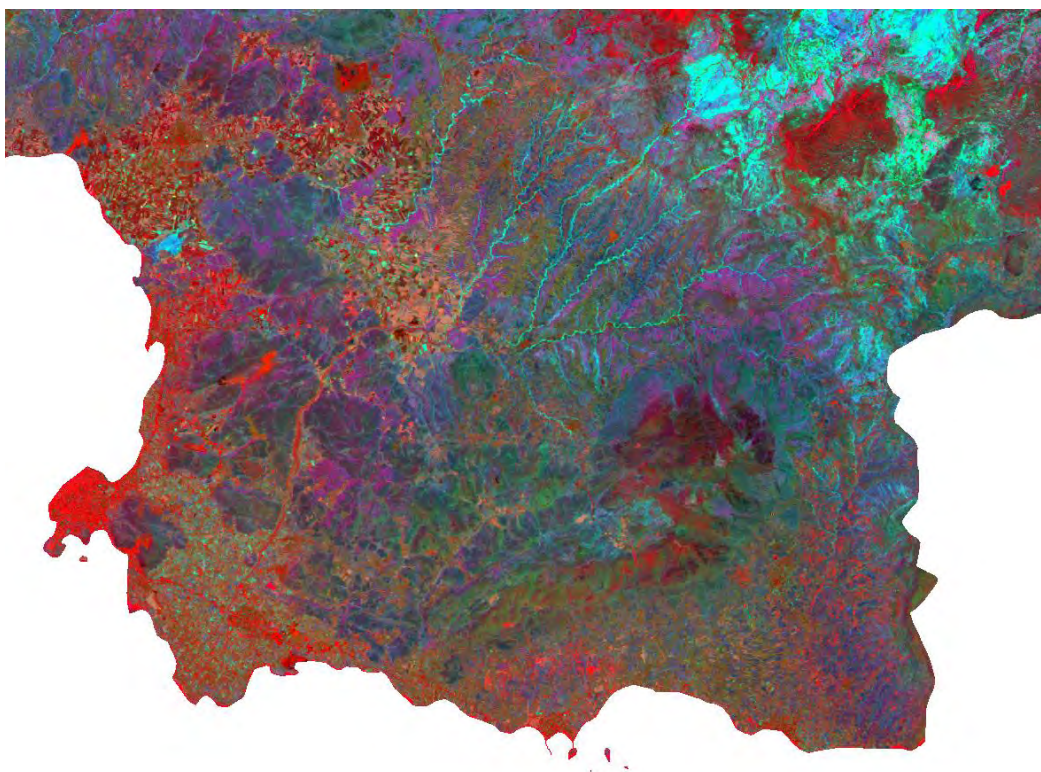




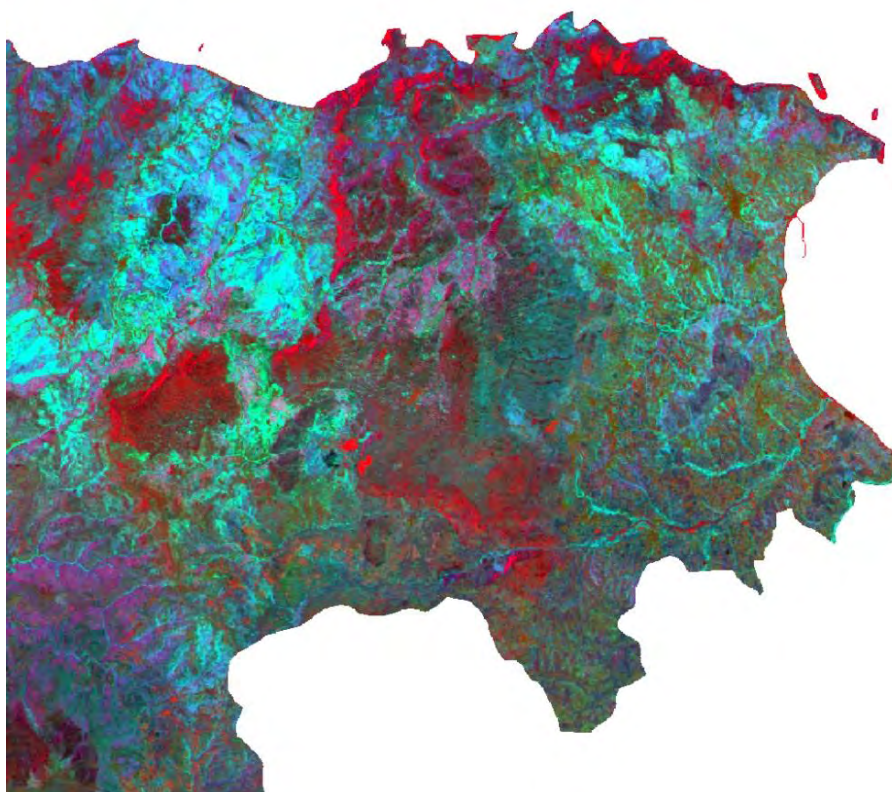
**Εικόνα 4.37. Βόρεια Εύβοια – Τα Οξείδια του Σιδήρου αντιπροσωπεύουν τις κόκκινες ενδείξεις (Ιδία Επεξεργασία)**



**Εικόνα 4.38. Κεντρική Εύβοια – Τα Οξείδια του Σιδήρου αντιπροσωπεύουν τις κόκκινες ενδείξεις (Ιδία Επεξεργασία)**



**Εικόνα 4.39. Κεντρική Εύβοια – Τα Οξείδια του Σιδήρου αντιπροσωπεύουν τις κόκκινες ενδείξεις (Ιδία Επεξεργασία)**



**Εικόνα 4.40. Περιοχή της Κύμης – Τα Οξείδια του Σιδήρου αντιπροσωπεύουν τις κόκκινες ενδείξεις (Ιδία Επεξεργασία)**



#### 4.5. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Τελικό στάδιο επεξεργασίας, μετά την εφαρμογή των γεωλογικών δεικτών είναι η αποτίμηση ακρίβειας, η οποία πραγματοποιήθηκε από την στατιστική ανάλυση επιλεγμένων σημείων που αποτυπώνουν αντίστοιχες τιμές των γεωλογικών δεικτών. Συγκεκριμένα η ανάλυση έγινε μέσα από τον συντελεστή συσχέτισης (correlation), για να διαπιστωθεί ή ταύτιση των δειγματοληπτικών σημείων με αντίστοιχες τιμές κάθε ενός δείκτη.

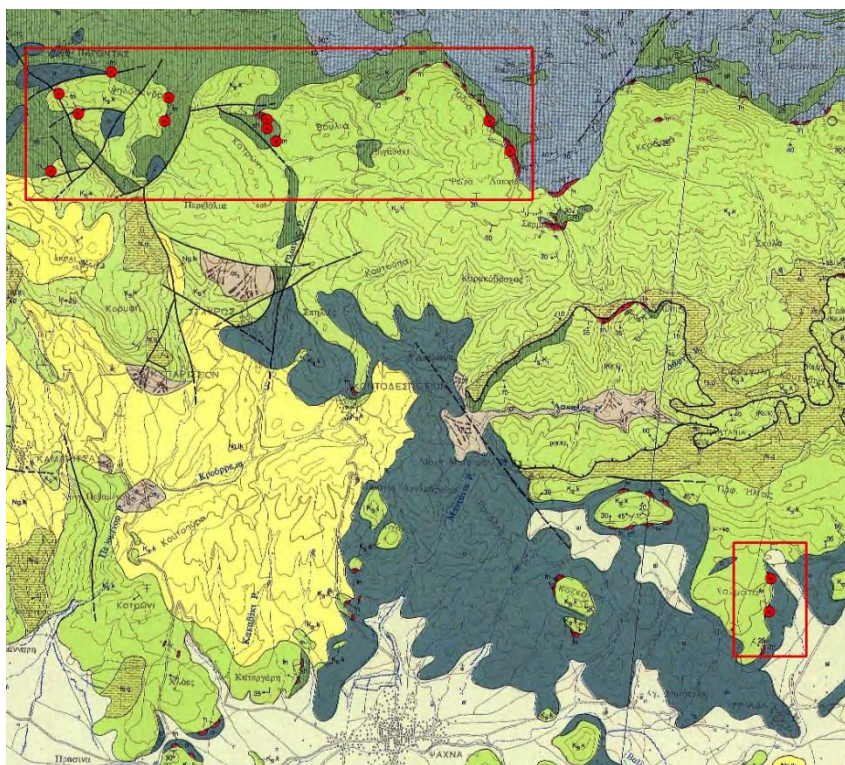
Οι πιο συχνοί συντελεστές γραμμικής συσχέτισης είναι:

- **Συντελεστής του Pearson:** Απλή γραμμική συσχέτιση
- **Συντελεστής του Spearman:** Συντελεστής συσχέτισης κατά τάξεις

Για τους σκοπούς της έρευνας εφαρμόστηκε η απλή γραμμική συσχέτιση (Pearson), όπου παίρνει τιμές από -1 έως +1. Αναλυτικά ο συντελεστής ερμηνεύεται ως εξής:

1.  $r = -1$  → Τέλεια αρνητική γραμμική συσχέτιση
2.  $r = 0$  → Μηδενική συσχέτιση
3.  $r = 1$  → Τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση

Στην περιοχή έρευνας επιλέχθηκαν από τον Γεωλογικό χάρτη (Φύλλο Ψαχνά – Πήλιο, Ι.Γ.Μ.Ε.) (Βλ. Παράτημα 1) 13 δειγματοληπτικά σημεία, τα οποία βρίσκονται στην περιοχή της Παγώντας, αντιπροσωπεύοντας ενδείξεις σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων (Εικ. 4.41).



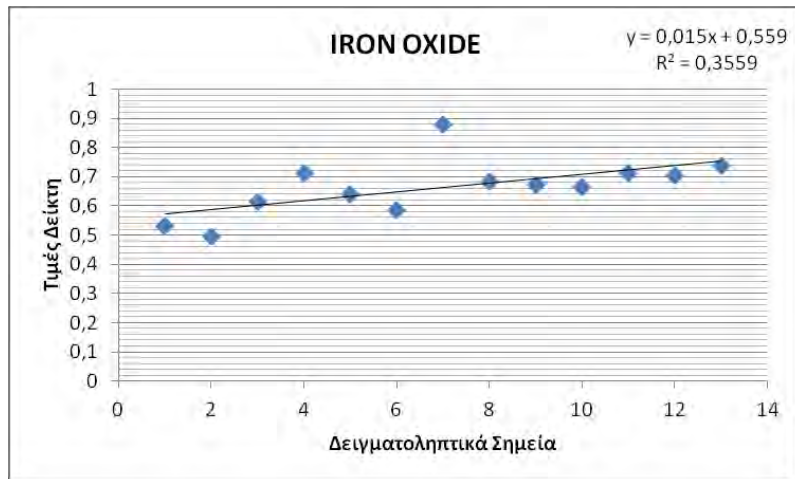
**Εικόνα 4.41. Δειγματοληπτικά σημεία στο Γεωλογικό Χάρτη (Φύλλο Ψαχνά – Πήλιο, Ι.Γ.Μ.Ε.)**

Σε κάθε ένα δειγματοληπτικό σημείο δόθηκαν αντίστοιχες τιμές από κάθε ένα γεωλογικό δείκτη, μέσω του λογισμικού προγράμματος ArcGIS 10.1 (Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract Multi Values to Points). Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε οξείδια του σιδήρου και λιγότερης σε οξείδια του αργιλίου, χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν όλοι οι γεωλογικοί δείκτες, εκτός των δεικτών 3/4 και 7/4 καθώς επίσης και του δείκτη 5/7, διότι ο συγκεκριμένος δείκτης θα δώσει ίδια ακριβώς αποτελέσματα με αυτό του δείκτη 7/5 (Πίν. 4.2). Παρατηρείται ότι όλα τα σημεία που επιλέχθηκαν έχουν σχετικά υψηλές τιμές, για κάθε έναν δείκτη. Παρακάτω παρουσιάζονται όλα εκείνα τα διαγράμματα μεταξύ των δειγματοληπτικών σημείων και των επιλεγμένων γεωλογικών δεικτών (Διάγρ. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4).

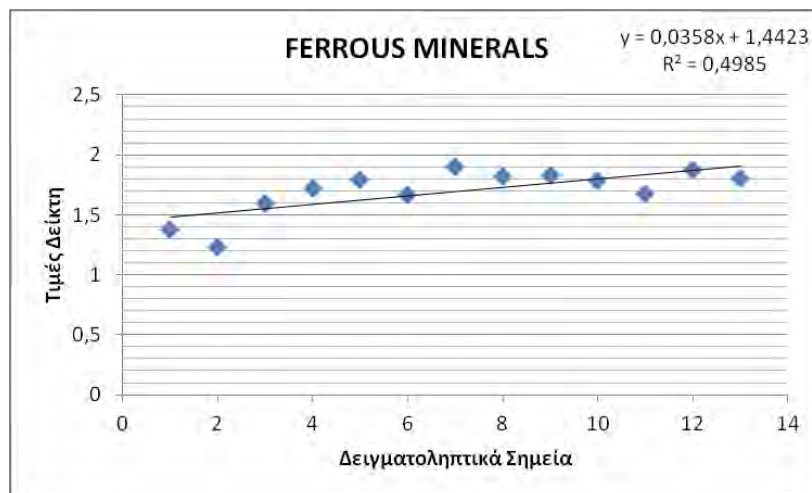
**Πίνακας 4.2. Τιμές Δειγματοληπτικών Σημείων**

<b>Δειγματοληψία</b>	<b>IRON OXIDE (3/1)</b>	<b>FERROUS MINERALS (5/4)</b>	<b>BAND RATIO 3/5</b>	<b>CLAY RATIO (7/5)</b>
1	0,530864	1,370968	0,505882	0,529412
2	0,493151	1,224138	0,507042	0,450704
3	0,613636	1,590164	0,556701	0,57732
4	0,711864	1,716049	0,604317	0,640288
5	0,638298	1,791045	0,5	0,625
6	0,585366	1,666667	0,533333	0,622222
7	0,878505	1,893617	0,52809	0,61236
8	0,681319	1,813559	0,579439	0,588785
9	0,673913	1,827586	0,584906	0,613208
10	0,666667	1,775862	0,582524	0,601942
11	0,711864	1,671053	0,661417	0,629921
12	0,705263	1,875	0,496296	0,562963
13	0,736842	1,794872	0,6	0,65

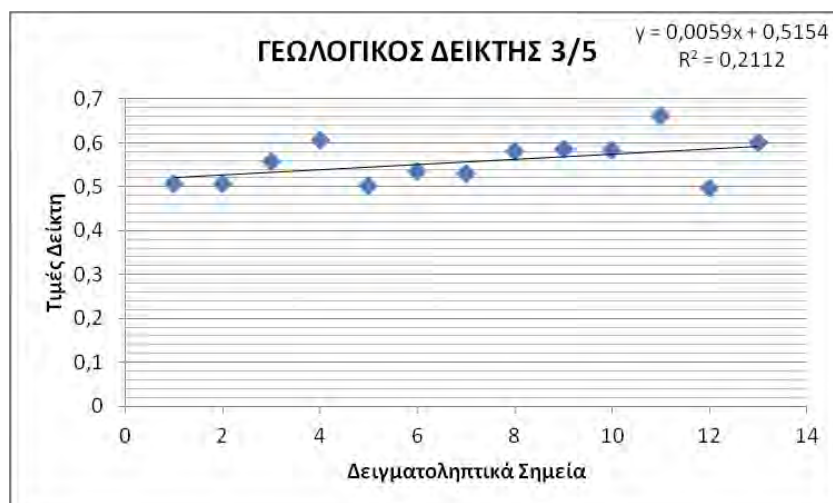
*(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)*



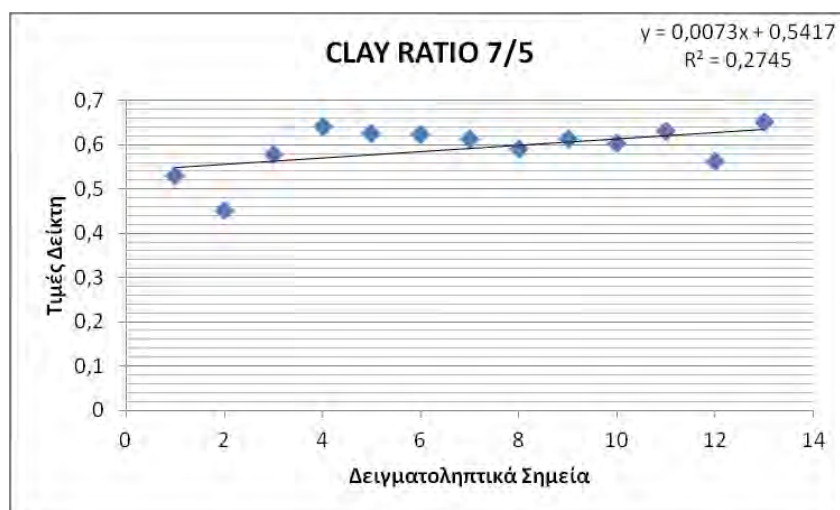
**Διάγραμμα 4.1. Δειγματοληπτικά Σημεία σε σχέση με το Δείκτη 3/1 (IRON OXIDE) (Ιδία Επεξεργασία)**



**Διάγραμμα 4.2. Δειγματοληπτικά Σημεία σε σχέση με το Δείκτη 5/4 (FERROUS MINERALS) (Ιδία Επεξεργασία)**



**Διάγραμμα 4.3. Δειγματοληπτικά Σημεία σε σχέση με το Δείκτη 3/5 (Ιδία Επεξεργασία)**



**Διάγραμμα 4.4. Δειγματοληπτικά Σημεία σε σχέση με το Δείκτη 7/5 (CLAY RATIO)  
(Ιδία Επεξεργασία)**

Σε όλα τα διαγράμματα παρατηρείται ότι υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των σημείων σε όλους τους επιλεγμένους δείκτες. Μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης παρουσιάζεται στους δείκτες 3/1 και 5/4, ενώ λίγο χαμηλότερο στους δείκτες 3/5 και 7/5 αντίστοιχα, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα (Πιν. 4.3). Το συμπέρασμα που προκύπτει μέσα από αυτήν την συγκεκριμένη διαδικασία, δείχνει ότι υπάρχει ταύτιση των σημείων του χάρτη με τις υψηλές τιμές των δεικτών, κυρίως των οξειδίων του σιδήρου και λιγότερο των αντίστοιχων οξειδίων του αργιλίου, με αποτέλεσμα να οδηγηθούμε σε μία πιο ασφαλή ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

**Πίνακας 4.3. Συντελεστής Συσχέτισης των Γεωλογικών Δεικτών**

	<b>IRON OXIDE (3/1)</b>	<b>FERROUS MINERALS (5/4)</b>	<b>BAND RATIO (3/5)</b>	<b>CLAY RATIO (7/5)</b>
<b>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (r)</b>	<b>0,6</b>	<b>0,71</b>	<b>0,46</b>	<b>0,52</b>

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)



## 5. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν μέσα από την επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας, έγινε με στόχο να προσδιορισθούν οι τοποθεσίες των οξειδίων του σιδήρου και του αργιλίου, όπου έχει ως τελικό σκοπό να μας οδηγήσει στην ουσία στον εντοπισμό των ορυκτών πόρων και κατ' επέκταση των κοιτασμάτων στην ερευνητική περιοχή.

Όπως διαπιστώθηκε και από τους γεωλογικούς δείκτες 3/1 (IRON OXIDE), 5/4 (FERROUS MINERALS), 5/7 (CLAY MINERALS) και 7/5 (CLAY RATIO), οι ενδείξεις όσον αφορά την παρουσία των οξειδίων του σιδήρου και του αργιλίου, είναι σημαντικές στις γεωργικές και συνάμα εδαφικές εκτάσεις της Βόρειας και Κεντρικής Εύβοιας, όπου γεωλογικός συμπίπτουν με αλλουβιακές και λιμναίες αποθέσεις. Σύμφωνα με τους Γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. (Βλ. Παράρτημα 1) οι αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούνται από ασύνδετα υλικά, από άμμο και κροκαλολατύπες, στις κοίτες των χειμάρρων, προσχώσεις από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρογή με κροκαλολατύπες και υλικά αναβαθμίδων χειμάρρων μικρού ύψους, ενώ οι λιμναίες αποθέσεις από εναλλασσόμενα στρώματα κροκαλοπαγών, μαργών, ψαμμιτών, αργίλων και μαργαϊκών ασβεστόλιθων, σε σημαντικό κατά τόπους, συνολικό πάχος. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα στην παρουσία εδαφών τύπου Alfisols, δηλαδή εδαφών με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο και οξειδίων σιδήρου και αργιλίου, με αποτέλεσμα να θεωρούνται κατάλληλα για γεωργικές δραστηριότητες. Είναι χαρακτηριστικά εδάφη υγρών (humid) κλιμάτων με έναν ορίζοντα υψηλής συγκέντρωσης αργίλου κάτω από την επιφάνεια. Αποτελούν εδάφη υψηλής δυναμικότητας και απαντώνται σε περιοχές από τον ισημερινό μέχρι τις υπαρκτικές ζώνες (Βουβαλίδης, 2004). Η παρουσία αυτών των στοιχείων στις συγκεκριμένες περιοχές οφείλεται στην μεταφορά οφειολιθικών υλικών, κάτι το οποίο αποδεικνύεται και από την παρουσία αυτών των στοιχείων στο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, κυρίως στην Κεντρική Εύβοια.

Στην περιοχή της Ερέτριας η παρουσία οξειδίων του σιδήρου και του αργιλίου, από τους ίδιους γεωλογικούς δείκτες, εκτός από τις γεωργικές – εδαφικές εκτάσεις, βρίσκεται και στα πλευρικά κορήματα, τα οποία προέρχονται από τον ορεινό όγκο του Ολύμπου. Επίσης η παρουσία των γεωχημικών στοιχείων στον συγκεκριμένο ορεινό όγκο, οφείλεται από την εμφάνιση κερατόλιθων, όπου είναι σκληρά, πολύ συμπαγή ιζήματα που αποτελούνται κατά το πλείστον από κρυπτοκρυσταλλικό και άμορφο διοξείδιο του πυριτίου με διάφορες ξένες προσμίξεις αιματίτη ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ασβεστίτη ( $\text{CaCO}_3$ ) και αργιλικών ορυκτών (Τσιραμπίδης, 2002).

Με βάση όλους τους συνδυασμούς φασματικών καναλιών που χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό οφειολιθικών πετρωμάτων, η αξιοποίηση των γεωλογικών δεικτών 3/1, 5/4, 5/7 και 7/5 έδωσε σημαντικές ενδείξεις Fe – Ni ούχων μεταλλευμάτων που περιέχουν ορυκτά αιματίτη στις περιοχές, όπου υπάρχει εξορυκτική δραστηριότητα (Παγώντας), χωρίς όμως να αποκλείσουμε και νέες πιθανές τοποθεσίες, γεγονός που δεν επιβεβαιώθηκε από τον φασματικό λόγο 3/5. Αυτές οι περιοχές είναι στις

κορυφές της Οροσειράς της Δίρφους, εντός των γεωργικών και εδαφικών εκτάσεων της Κεντρικής Εύβοιας και στην περιοχή της Χαλκίδας, ενώ στην περιοχή της Κύμης η ύπαρξη των συγκεκριμένων κοιτασμάτων διαφαίνεται, εκτός των προαναφερθέντων δεικτών και από τον γεωλογικό δείκτη 3/5. Η ύπαρξη οξειδίων του σιδήρου σε όλη την Κεντρική Εύβοια ενδεχομένως προέρχεται από την λατεριτική αποσάθρωση των οφειολιθικών πετρωμάτων της ερευνητικής περιοχής. Επίσης ο φασματικός λόγος 3/5 καθώς και οι δείκτες 5/4, 5/7 και 7/5, έδωσαν σημαντικά αποτελέσματα με πιθανές ενδείξεις ορυκτών σιδήρου και αργιλίου (αιματίτη, λειμωνίτη και διάσπορο) και κατ' επέκταση βωξιτικών κοιτασμάτων, μέσα στα ασβεστολιθικά πετρώματα του Καντήλιου Όρους καθώς επίσης και στην Βόρεια περιοχή της Κύμης, χωρίς όμως να αποκλείεται μία πιθανή τοποθεσία αυτού του κοιτάσματος μέσα στην ασβεστολιθική σειρά της Οροσειράς της Δίρφους.

Οι συνδυασμοί φασματικών καναλιών που χρησιμοποιήθηκαν (RGB: 4 – 7 – 2 και 7 – 3 – 5) και ο συνδυασμός των δεικτών 3/5, 3/1 και 5/7 (RGB), έδωσαν σημαντικά αποτελέσματα στην περιοχή του Μαντουδίου και του Τρούπι, όπου τα οφειολιθικά πετρώματα (υπερβασικά πετρώματα) της ερευνητικής περιοχής υπέστησαν υδροθερμική εξαλλοίωση (σερπεντινίωση), με αποτέλεσμα να έχουμε την ύπαρξη κοιτασμάτων μαγνησίτη – λευκόλιθου ( $MgCO_3$ ), ενώ οι ενδείξεις των οξειδίων του σιδήρου από τους δείκτες 3/1 και 3/5, ενδεχομένως προέρχονται από την χημική σύσταση των υπερβασικών πετρωμάτων (δουνίτης, χαρτζβουργίτης) και του εξαλλοιωμένου πετρώματος (Σερπεντινίτης), που περιέχουν μεγάλες ποσότητες σιδήρου και μαγνησίου, όπου μέσα από τις ρηξιγενείς ζώνες αυτών έδωσαν τα συγκεκριμένα κοιτάσματα. Προφανώς η ύπαρξη των οφειολιθικών πετρωμάτων στην ερευνητική περιοχή, οδηγεί στο συμπέρασμα της ύπαρξης και κοιτασμάτων χρωμίτη ( $FeCr_2O_4$ ). Γενικά η συνολική παρουσία των οξειδίων του σιδήρου σε όλη την ερευνητική περιοχή επιβεβαιώθηκε από τον συνδυασμό γεωλογικών δεικτών 3/5, 4/1 και 5/7 (RGB). Όσον αφορά την χρησιμοποίηση του δείκτη βλάστησης NDVI, διαπιστώθηκε ότι σε όλες τις εμφανίσεις οφειολιθικών πετρωμάτων παρουσιάστηκε αραιή βλάστηση που μπορεί να θεωρηθούν περιοχές με άγονη Γη.

Στους ασβεστόλιθους της Οροσειράς της Δίρφους, όπου παρουσιάζονται μπλε και πράσινες χρωματικές αποχρώσεις, μέσω των συνδυασμών 4 – 7 – 2 (RGB) και 7 – 3 – 5 (RGB) αντίστοιχα καθώς επίσης και η παρουσία οξειδίων του σιδήρου από τον συνδυασμό των γεωλογικών δεικτών 3/5, 4/1 και 5/7 (RGB), οδηγεί στο συμπέρασμα της ύπαρξης άχρωμων ή διάστικτων ορυκτών δολομίτη μέσα στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, όπου συχνά περιέχονται κόκκοι αδιαφανών σιδηροξειδίων (Δημητριάδης, 1988). Η προέλευση τους προέρχεται από την αποδολομιτίωση, η οποία είναι η διεργασία που συμβαίνει κυρίως κατά τη διάρκεια μεταμόρφωσης εξ επαφής σε χαμηλές πιέσεις, κατά την οποία μέρος ή όλο το μαγνήσιο ενός δολομίτη χρησιμοποιείται για το σχηματισμό οξειδίων, υδροξειδίων και πυριτικών ενώσεων του μαγνησίου (π.χ. βρουσίτης, φοστερίτης κ.λπ.), με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό ασβεστίτη. Γενικά η αποδολομιτίωση συνοδεύεται από σχηματισμό γύψου ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) και οξειδωμένου σιδηροπυρίτη ( $FeS_2$ ) (Τσιραμπίδης, 2002).

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Βορειοκεντρική Εύβοια, έγινε με μία άλλη προσέγγιση, όσον αφορά τον εντοπισμό ορυκτών πόρων και κατ' επέκταση κοιτασμάτων, με την βοήθεια της Τηλεπισκόπησης (κυρίως) και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).

Σημαντικό ρόλο έπαιξαν όλοι εκείνοι οι συνδυασμοί που εντόπισαν τα οφειολιθικά πετρώματα της περιοχής, όπου αποτελούν την βασική πηγή κοιτασμάτων της ερευνητικής περιοχής. Ο συνδυασμός φασματικών καναλιών 4 – 7 – 2 (RGB) αποτέλεσε έναν συνδυασμό με την περισσότερη χωρική πληροφορία, καθότι θεωρείται πλέον βιβλιογραφικά, ιδανικός για γεωλογικές έρευνες (Βασιλοπούλου στο Sabins, 1997), εντοπίζοντας ένα μεγάλο μέρος οφειλοθικών πετρωμάτων, αλλά και την υδροθερμική εξαλλοίωση στο εσωτερικό του. Επίσης οι συνδυασμοί 7 – 5 – 4 (RGB) και 5 – 4 – 1 (RGB) θεωρούνται εξίσου κατάλληλοι για τον εντοπισμό των οφειολιθικών πετρωμάτων, με τον πρώτο να επιδεικνύει περισσότερες τοποθεσίες, ενώ προτάθηκε και ο συνδυασμός 7 – 3 – 5, όπου δόθηκε έμφαση στις χρωματικές αποχρώσεις της υδροθερμικής εξαλλοίωσης.

Ο δείκτης NDVI έδειξε την κατάσταση που επικρατεί από πλευράς βλάστησης, δείχνοντας και την σχέση του με τα οφειολιθικά πετρώματα της περιοχής, ενώ οι γεωλογικοί δείκτες 3/1 (IRON OXIDE), 5/4 (FERROUS MINERALS), 3/5, 5/7 (CLAY MINERALS) και 7/5 (CLAY RATIO) έπαιξαν το δικό τους ρόλο στην εξαγωγή συμπερασμάτων, όσον αφορά την χωρική κατανομή των ορυκτών πόρων και κατ' επέκταση κοιτασμάτων, μέσω του εντοπισμού των οξειδίων του σιδήρου και αργιλίου αντίστοιχα, εκμεταλλευόμενη και των συνδυασμό αυτών στο RGB. Οι γεωλογικοί δείκτες 3/4 και 7/4, παρότι έδωσαν αποτελέσματα, εντούτοις όμως σε σχέση με τους άλλους δείκτες δεν θεωρήθηκαν ικανά για να χρησιμοποιηθούν στην τελική ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Σαφέστατα, για να έχουμε πλήρη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από την επεξεργασία των δεδομένων μας, θα πρέπει να γίνουν επιτόπου γεωλογικές έρευνες – χαρτογραφήσεις καθώς επίσης ερευνητικές γεωτρήσεις στις προαναφερθείσες περιοχές.

Τέλος μέσα από το πεδίο έρευνας αποδεικνύεται ότι η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο στον τομέα της Γεωλογίας και της Κοιτασματολογίας, αλλά και σε όλους τους κλάδους των Γεωεπιστημών, διαδραματίζοντας έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στον αποτελεσματικό εντοπισμό ορυκτών πόρων, με σαφές πλεονέκτημα την αισθητή μείωση του κόστους, αλλά και την στοχευόμενη αναζήτηση και έρευνα.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αστάρας, Θ. (2006) *Τηλεπισκόπηση-φωτοερμηνεία στις γεωεπιστήμες*. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Βασιλοπούλου, Σ. (2002) «Η χρήση των δορυφορικών δεδομένων τηλεανίχνευσης στην γεωδυναμική μελέτη: Επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων LANDSAT 5, TM & SPOT/PAN της Νότιας Αργολίδας». Στο 6<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο. Θεσσαλονίκη, 3-6 Οκτωβρίου.

Βουβαλίδης, Κ. (2004) *Μαθήματα φυσικής γεωγραφίας*. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Δημητριάδης, Σ.Θ. (1988) *Εισαγωγή στην πετρολογία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων*. Θεσσαλονίκη: Γιαχούδη-Γιαχούλη.

Κατσικάτσος, Χ.Γ. (1992) *Γεωλογία Ελλάδος*. Αθήνα: Ο.Ε.Δ.Β.

Μιχαηλίδης, Κ.Μ., Βαβελίδης, Μ.Κ. και Φιλιππίδης, Α.Α. (2003) *Κοιτασματολογία Ι*. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μηλιαρέσης, Γ.Χ. (2003) *Φωτοερμηνεία – τηλεπισκόπηση*. Αθήνα: Ίων.

Μουντράκης, Δ.Μ. (1985) *Γεωλογία Ελλάδος*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Μπόσκος, Ε. (2007) «Τα Fe-Ni-ούχα λατεριτικά μεταλλεύματα της Ελλάδας: Συμβολή της ορυκτολογίας-πετρολογίας στην αξιοποίησή τους». Στο *Συμπόσιο: Το ΕΜΠ στην Πρωτοτυπία της Έρευνας και Τεχνολογίας*. Αθήνα, 3-4 Δεκεμβρίου.

Σερέλης, Κ., Γκάρτζος, Ε. και Τσαουσίδου, Π. (2004) «Μελέτη των εξαλλοιώσεων των υπερβασικών πετρωμάτων που φιλοξενούν κοιτάσματα μαγνησίτη στην Β. Εύβοια». *Δελτίον Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 36 (1), σελ. 377-386.

Συλλαίος, Ν.Γ. (2000) *Εισαγωγή στην τηλεπισκόπηση και στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών*. Θεσσαλονίκη: Γιαχούδη-Γιαχούλη.

Τσιραμπίδης, Α. (2002) *Πετρολογία ιζηματογενών πετρωμάτων*. 2<sup>η</sup> έκδ. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Τσιραμπίδης, Α. και Φιλιππίδης, Α. (2013) *Ορυκτοί πόροι Ελλάδος: Αποθέματα και αξία*. Διαθέσιμο στο <http://ellhnikos-zeolithos.blogspot.gr/2013/12/oryktoi-poroi-ellados-apothemata-axia.html> [Τελευταία πρόσβαση 22/01/2015].

Φιλιππίδης, Α.Α., Μιχαηλίδης, Κ.Μ. και Βαβελίδης, Μ.Κ. (2004) *Κοιτασματολογία ΙΙ*. Διδακτικές σημειώσεις. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

## **ΞΕΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Abrams, M.J., Rothery, D.A. and Pontual, A. (1988) "Mapping in the Oman ophiolite using enhanced Landsat Thematic Mapper images". *Tectonophysics*, 151, pp. 387-401
- Alasta, A.F. (2011) "Using remote sensing data to identify iron deposits in central western Libya". In *International Conference on Emerging Trends in Computer and Image Processing*. Bangkok, 23-24 December.
- Ciampalini, A., Garfagnoli, F., Antonielli, B., Moretti, S. and Righini, G. (2012) "Remote sensing techniques using Landsat ETM+ applied to the detection of iron ore deposits in Western Africa". *Arabian Journal of Geosciences*, 6 (11), pp. 4529-4546.
- Ciampalini, A., Garfagnoli, F., DelVentisette, C. and Moretti, S. (2013) "Potential use of remote sensing techniques for exploration of iron deposits in Western Sahara and Southwest of Algeria". *Natural Resources Research*, 22 (3), pp. 179-190.
- Deller, M.E.A. (2006) "Facies discrimination in laterites using Landsat Thematic Mapper, ASTER and ALI data: Examples from Eritrea and Arabia". *International Journal of Remote Sensing*, 27 (12), pp. 2389-2409.
- Dogan, H.M. (2009) "Mineral composite assessment of Kelkit river basin in Turkey by means of remote sensing". *Journal of Earth Systems Science*, 118 (6), pp. 701-710.
- Gaffey, S.J. (1986) "Spectral reflectance of carbonate minerals in the visible and near infrared (0.35-2.55 microns): Calcite, aragonite, and dolomite". *American Mineralogist*, 71, pp. 151-162.
- Gaffey, S.J. (1987) "Spectral reflectance of carbonate minerals in the visible and near infrared (0.35 – 2.55  $\mu\text{m}$ ): Anhydrous carbonate minerals". *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 92 (B2), pp. 1429-1440.
- Gartzos, E., Dietrich, V.J., Migiros, G., Serelis, K. and Lymperopoulou, T. (2009) "The origin of amphibolites from metamorphic soles beneath the ultramafic ophiolites in Evia and Lesbos (Greece) and their geotectonic implication". *Lithos*, 108 (1-4), pp. 224-242.
- Guhaa, A., Singhb, V.K., Parveenb, R., Kumara, K.V., Jeyaseelanb, A.T. and Raoc, E.N.D. (2013) "Analysis of ASTER data for mapping bauxite rich pockets within high altitudelateritic bauxite, Jharkhand, India". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, pp. 184-194.
- Gupta, P.R. (1991) *Remote sensing geology*. Berlin: Springer.
- Gupta, P.R. (2001) *Remote sensing geology*. 2<sup>nd</sup> ed. Berlin: Springer.



- Harner, P.L. and Gilmore, M.S. (2015) "Visible–near infrared spectra of hydrous carbonates, with implications for the detection of carbonates in hyperspectral data of Mars". *Icarus*, 250, pp. 204-214.
- Hartwig, M.E. and Giaimo Caboclo, F. (2012) "Detection of lateritic deposits using TM Landsat images in order to support the Carajas railway duplication project, North and Northeastern Brazil". *Revista Brasileira de Geofisica*, 30 (1), pp. 41-49.
- Khan, S.D. and Mahmood, K. (2008) "The application of remote sensing techniques to the study of ophiolites". *Earth-Science Reviews*, 89 (3), pp. 135-143.
- Mia, Md. B. and Fujimitsu, Y. (2012) "Mapping hydrothermal altered mineral deposits using Landsat 7 ETM+ image in and around Kuju volcano, Kyushu, Japan". *Journal of Earth System Science*, 121 (4), pp. 1049-1057.
- Molan, Y.E. and Benhia, P. (2013) "Prospectivity mapping of Pb–Zn SEDEX mineralization using remote-sensing data in the Behabad area, Central Iran". *International Journal of Remote Sensing*, 34 (4), pp. 1164-1179.
- Pohl, W. (1990) "Genesis of magnesite deposits: Models and trends". *Geologische Rundschau*, 79 (2), pp. 291-299.
- Pour, A.B. and Hashim, M. (2012) "The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits". *Ore Geology Reviews*, 44, pp. 1-9.
- Rajendran, S., Nasir, S., Kusky, T.M., Ghulam, A., Gabr, S. and El-Ghali, M.A.K. (2013) "Detection of hydrothermal mineralized zones associated with listwaenites in Central Oman using ASTER data". *Ore Geology Reviews*, 53, pp. 470-488.
- Rajendran, S. and Nasir, S. (2014) "Hydrothermal altered serpentinized zone and a study of Ni – magnesioferrite – magnetite – awaruite occurrences in Wadi Hibi, Northern Oman Mountain: Discrimination through ASTER mapping". *Ore Geology Reviews*, 62, pp. 211- 226.
- Rajendran S., Nasir S., Kusky T. M. and Al-Khribash S. (2014) "Remote sensing based approach for mapping of CO<sub>2</sub> sequestered regions in Samail ophiolite massifs of the Sultanate of Oman". *Earth-Science Reviews*, 135, pp. 122- 140.
- Soe, M., Won-Inn, K., Takashima, I. and Charusiri, P. (2008) "Lateritic soil mapping of the Phrae basin, northern Thailand using satellite data". *ScienceAsia*, 34 (3), pp. 307-316.
- Sabins, F.F. (1999) "Remote sensing for mineral exploration". *Ore Geology Reviews*, 14, pp. 157-183.
- Sami ,O.E.K. and Ibrahim, A.A.B. (2013) "Digital image processing and geospatial analysis of Landsat 7 ETM+ for mineral exploration: Abidiya area, North Sudan". *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 3 (3), pp. 645-658.

Sarajlic, S. (2012) “Land cover change and mineral composite assessment of Tushka depression, in Egypt, using remote sensing and GIS”. In *The Geological Society of America-Southeaster Section 61<sup>st</sup> Annual Meeting*. Asheville, North Carolina, 1-2 April.

Tsirambides, A. and Fillippidis, A. (2012) “Metallic mineral resources of Greece”. *Central European Journal of Geosciences*, 4 (4), pp. 641-650.

Tsirambides, A. and Fillippidis, A. (2012) “Greece seeks mineral lifeboat”. *Industrial Minerals*, 1, pp. 38-45.

Tsombos, P.I. and Kalogeropoulos, S.I. (1989) “Remote sensing as applied to mineral exploration in the Chalkidiki peninsula, northern Greece.” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 45 (5-6), pp. 344-354.

### **ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

Νόμος 3852/2010 (2010) *Νέα αρχιτεκτονική της αυτοδιοίκησης και της αποκεντρωμένης διοίκησης: Πρόγραμμα Καλλικράτης*. ΦΕΚ 87Α΄, 7 Ιουνίου.

ΥΑ2223 (2011) *Κανονισμός μεταλλευτικών και λατομικών εργασιών*. ΦΕΚ 1227Β΄, 14 Ιουνίου.

### **ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

Geodata.gov.gr (2015) <http://geodata.gov.gr/geodata/> [Last access 22/01/2015].

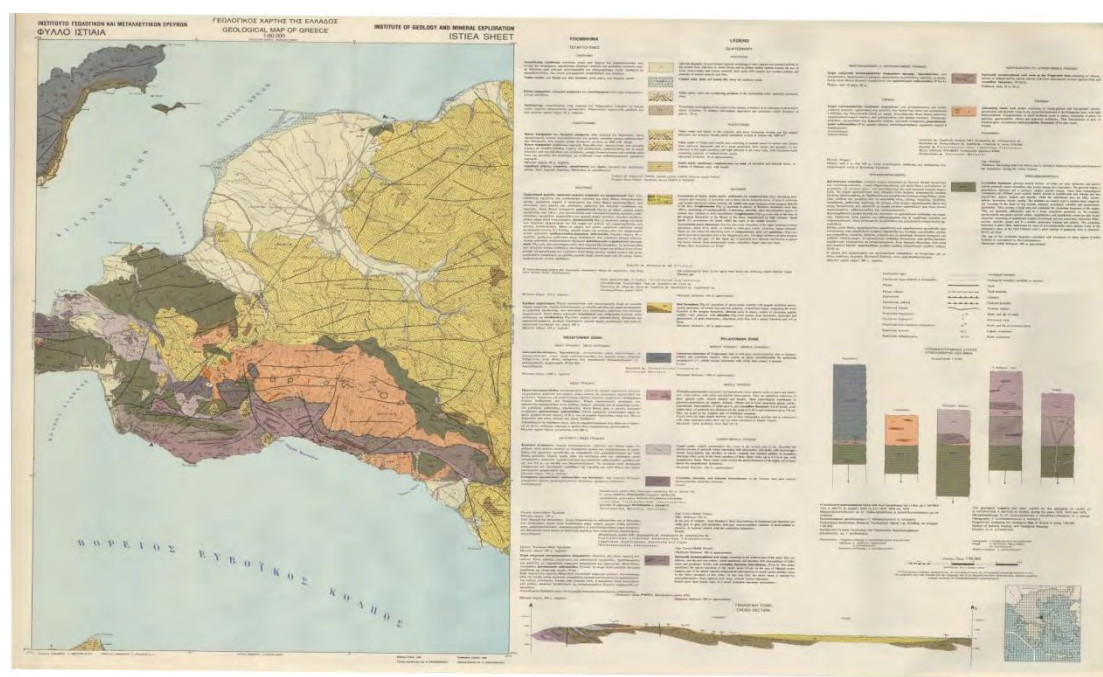
Science Direct (2015) <http://www.sciencedirect.com> [Last access 22/01/2015].

Scopus (2015) <http://www.scopus.com/home.url> [Last access 22/01/2015]. [Last access 22/01/2015].

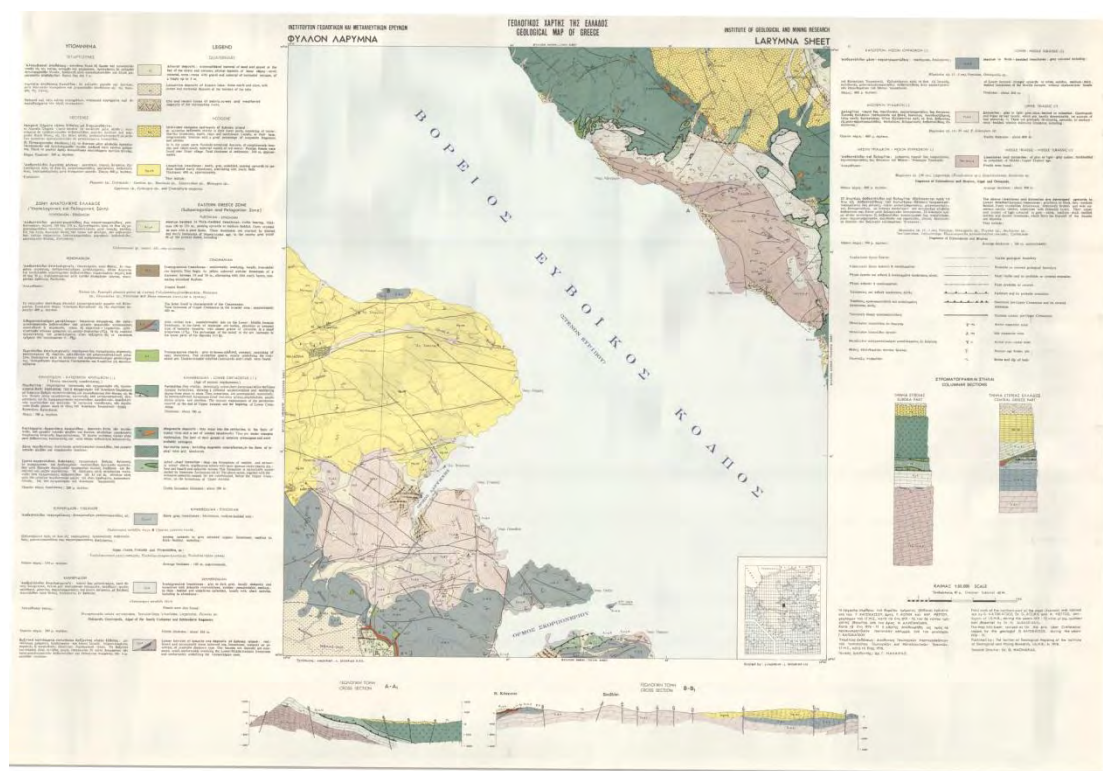
USGS Earth Explorer (2015) Available at <http://earthexplorer.usgs.gov> [Last access 22/01/2015].

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

## ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ (1: 50.000)

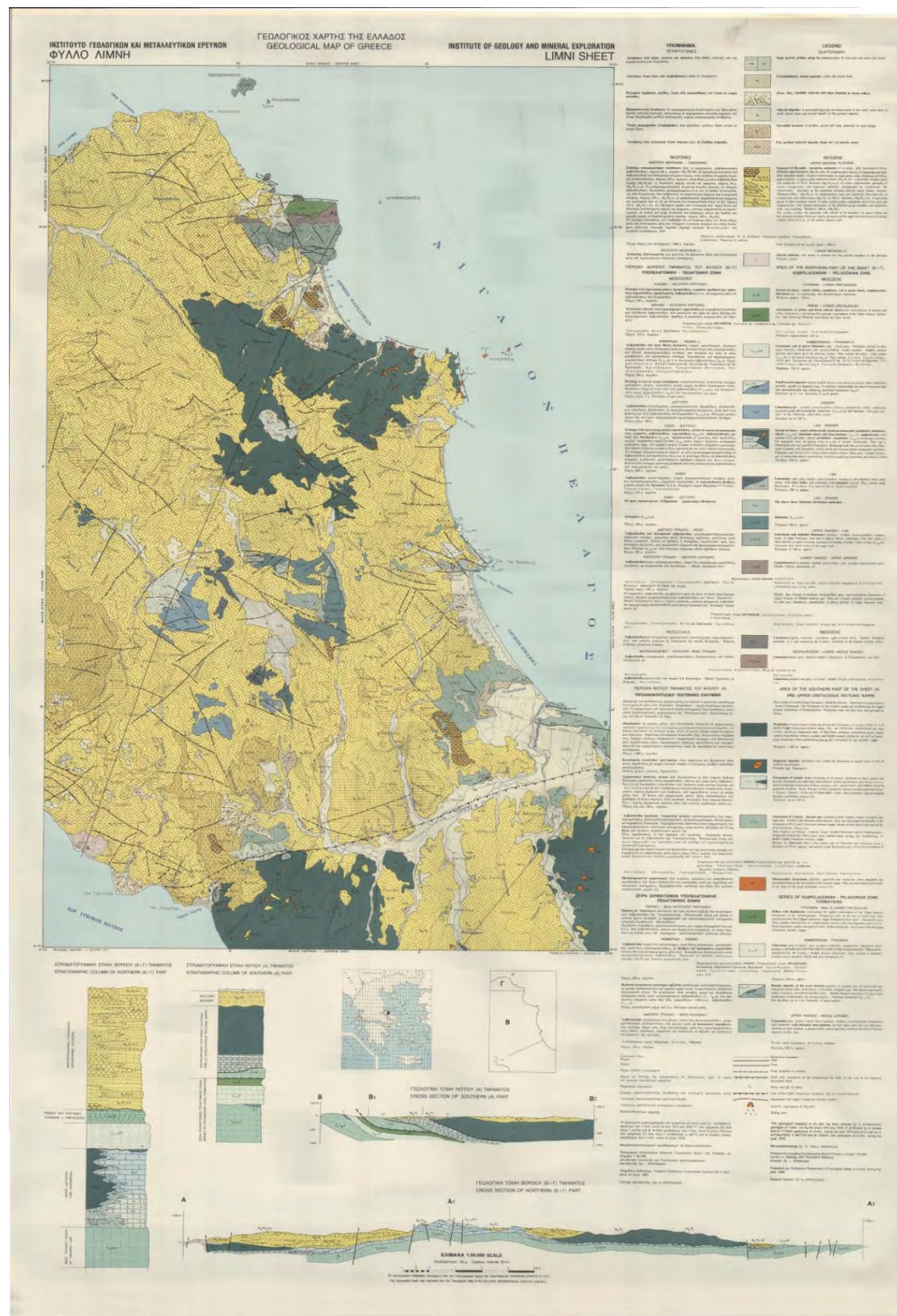


**1. Γεωλογικός Χάρτης: Φύλλο Ιστιαίας (Ι.Γ.Μ.Ε)**



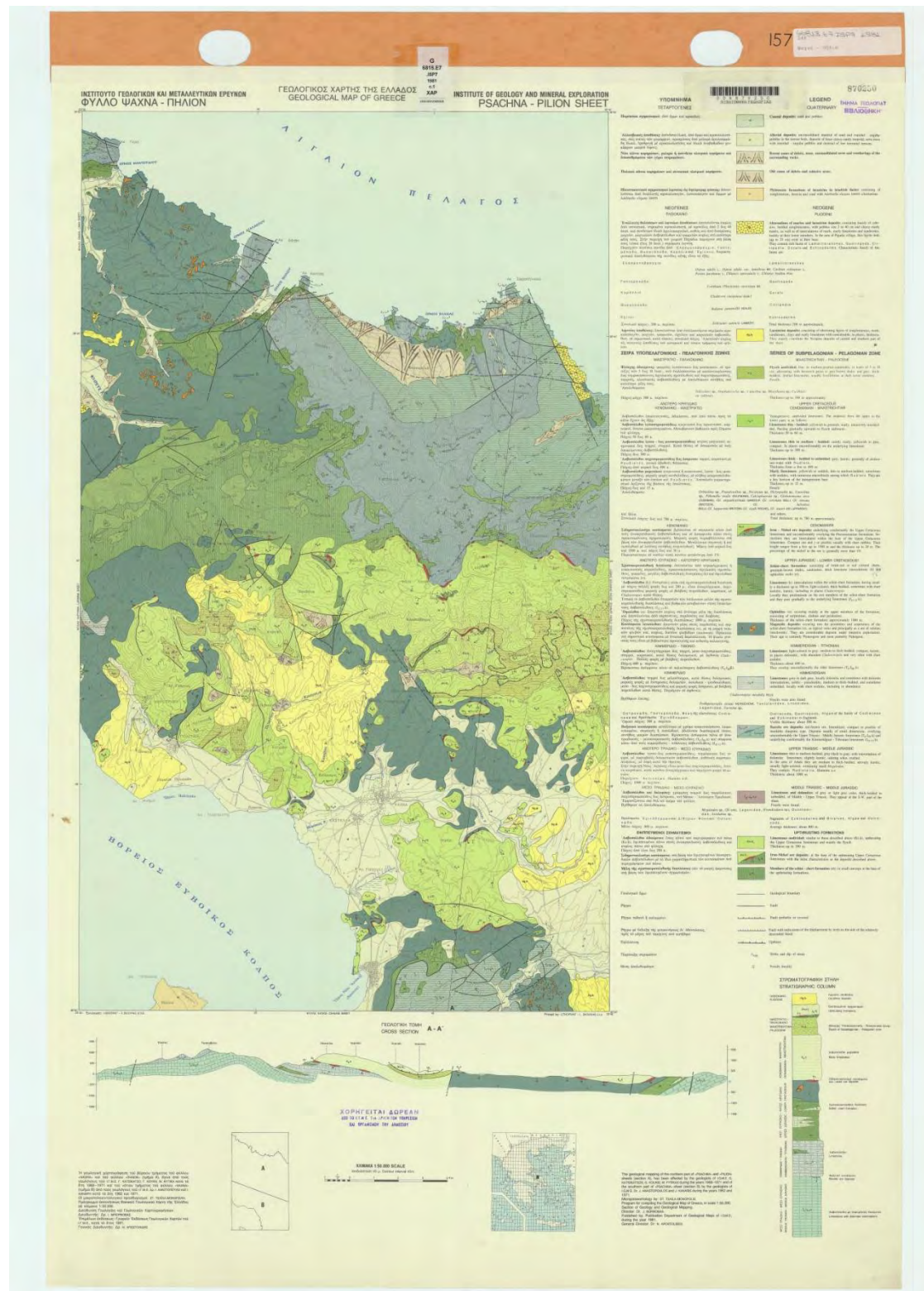
**2. Γεωλογικός Χάρτης: Φύλλο Λάρυμνας (Ι.Γ.Μ.Ε)**





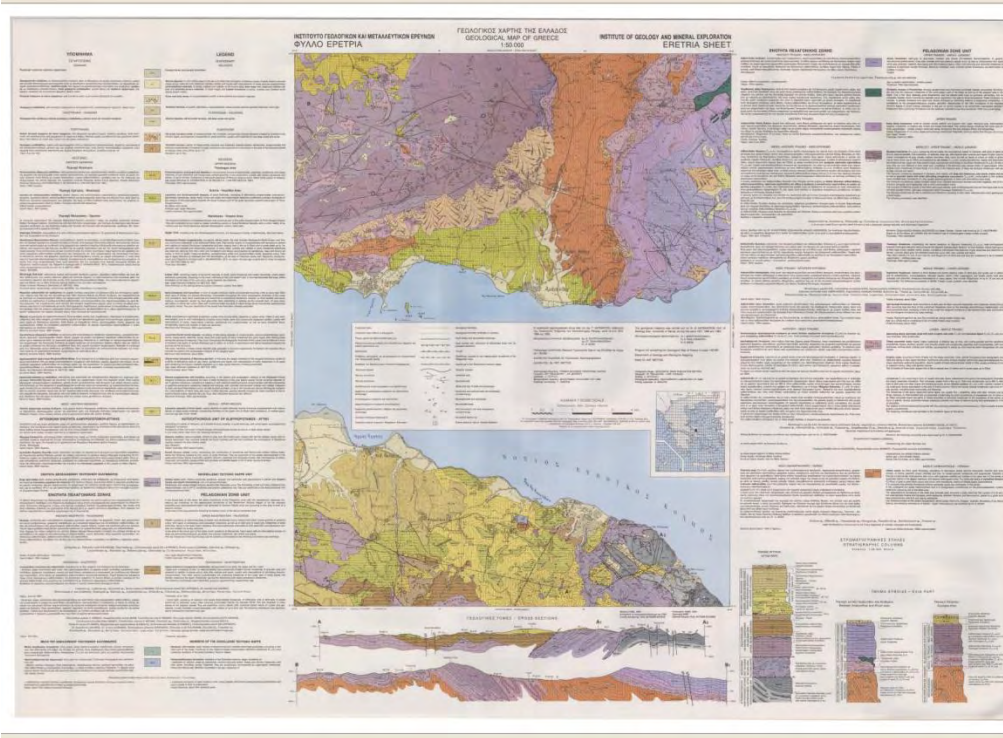
### 3. Γεωλογικός Χάρτης: Φύλλο Λίμνης (Ι.Γ.Μ.Ε)



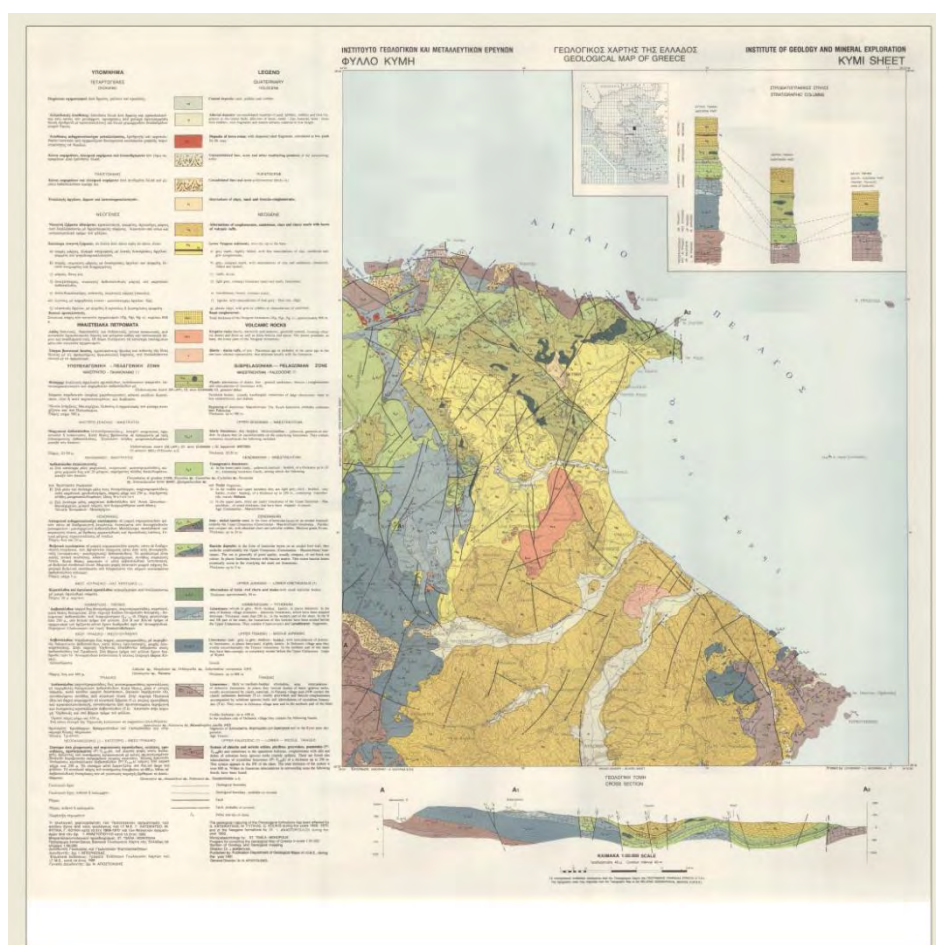


#### 4. Γεωλογικός Χάρτης: Φύλλο Ψαχνά - Πήλιο (Ι.Γ.Μ.Ε)





**5. Γεωλογικός Χάρτης: Φύλλο Ερέτριας (Ι.Γ.Μ.Ε)**



**6. Γεωλογικός Χάρτης: Φύλλο Κύμης (Ι.Γ.Μ.Ε)**

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2



**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ LANDSAT – 5/TM**

<b>Landsat Scene Identifier</b>	LT51830332009205MOR00
<b>Spacecraft Identifier</b>	LANDSAT_5
<b>Sensor Mode</b>	BUMPER
<b>Station Identifier</b>	MOR
<b>Day/Night</b>	DAY
<b>WRS Path</b>	183
<b>WRS Row</b>	033
<b>WRS Type</b>	2
<b>Date Acquired</b>	2009/07/24
<b>Start Time</b>	2009:205:08:53:30.02025
<b>Stop Time</b>	2009:205:08:53:56.63325
<b>Sensor Anomalies</b>	N
<b>Acquisition Quality</b>	9
<b>Quality Band 1</b>	9
<b>Quality Band 2</b>	9
<b>Quality Band 3</b>	9
<b>Quality Band 4</b>	9
<b>Quality Band 5</b>	9
<b>Quality Band 6</b>	9
<b>Quality Band 7</b>	9
<b>Processing Software Version</b>	LPGS_12.4.1
<b>Calibration Parameter File</b>	L5CPF20090701_20090930.16
<b>Cloud Cover</b>	0
<b>Cloud Cover Quad Upper Left</b>	0
<b>Cloud Cover Quad Upper Right</b>	0
<b>Cloud Cover Quad Lower Left</b>	0
<b>Cloud Cover Quad Lower Right</b>	0
<b>Sun Elevation</b>	61.4156967
<b>Sun Azimuth</b>	124.82512081
<b>Browse Exists</b>	Y
<b>Data Category</b>	NOMINAL
<b>Map Projection LORa</b>	NA
<b>Data Type LORp</b>	TMR_LORP
<b>Data Type Level 1</b>	TM L1T
<b>Elevation Source</b>	GLS2000
<b>Output Format</b>	GEOTIFF
<b>Ephemeris Type</b>	DEFINITIVE
<b>Corner UL Latitude Product</b>	39.86349 (39°51'48.56"N)
<b>Corner UL Longitude Product</b>	22.20425 (22°12'15.30"N)
<b>Corner UR Latitude Product</b>	39.80172 (39°48'06.19"N)
<b>Corner UR Longitude Product</b>	24.97110 (24°58'15.96"N)
<b>Corner LR Longitude Product</b>	24.86702 (24°52'01.27"N)
<b>Corner LL Latitude Product</b>	37.96608 (37°57'57.89"N)
<b>Corner LL Longitude Product</b>	22.17260 (22°10'21.36"E)
<b>Corner LR Latitude Product</b>	37.90833 (37°54'29.99"N)
<b>Reflective Lines</b>	7021

<b>Reflective Samples</b>	7901
<b>Thermal Lines</b>	7021
<b>Thermal Samples</b>	7901
<b>Ground Control Points Model</b>	209
<b>Geometric RMSE Model</b>	3.527
<b>Geometric RMSE Model X</b>	2.488
<b>Geometric RMSE Model Y</b>	2.5
<b>Ground Control Points Verify</b>	1583
<b>Geometric RMSE Verify</b>	.095
<b>Map Projection Level 1</b>	UTM
<b>Datum</b>	WGS84
<b>Ellipsoid</b>	WGS84
<b>UTM Zone</b>	34
<b>Grid Cell Size Reflective</b>	30
<b>Grid Cell Size Thermal</b>	30
<b>Orientation</b>	NORTH_UP
<b>Resampling Option</b>	CUBIC_CONVOLUTION
<b>Center Latitude</b>	38°53'56.87"N
<b>Center Longitude</b>	23°33'48.28"E
<b>NW Corner Lat</b>	39°50'11.62"N
<b>NW Corner Long</b>	22°44'48.26"E
<b>NE Corner Lat</b>	39°31'40.37"N
<b>NE Corner Long</b>	24°51'56.95"E
<b>SE Corner Lat</b>	37°57'18.68"N
<b>SE Corner Long</b>	24°21'26.89"E
<b>SW Corner Lat</b>	38°15'26.14"N
<b>SW Corner Long</b>	22°16'58.62"E
<b>Center Latitude dec</b>	38.89913
<b>Center Longitude dec</b>	23.56341
<b>NW Corner Lat dec</b>	39.83656
<b>NW Corner Long dec</b>	22.74674
<b>NE Corner Lat dec</b>	39.52788
<b>NE Corner Long dec</b>	24.86582
<b>SE Corner Lat dec</b>	37.95519
<b>SE Corner Long dec</b>	24.35747
<b>SW Corner Lat dec</b>	38.25726
<b>SW Corner Long dec</b>	22.28295

## **ΑΡΧΕΙΟ METADATA ΔΟΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ LANDSAT – 5/TM**

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
  ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
  REQUEST_ID = "0101404236709_00028"
  LANDSAT_SCENE_ID = "LT51830332009205MOR00"
  FILE_DATE = 2014-04-23T16:04:14Z
  STATION_ID = "MOR"
  PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_12.4.1"
  DATA_CATEGORY = "NOMINAL"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
  DATA_TYPE = "L1T"
  DATA_TYPE_LORP = "TMR_LORP"
  ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
  OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
  EPHEMERIS_TYPE = "DEFINITIVE"
  SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_5"
  SENSOR_ID = "TM"
  SENSOR_MODE = "BUMPER"
  WRS_PATH = 183
  WRS_ROW = 033
  DATE_ACQUIRED = 2009-07-24
  SCENE_CENTER_TIME = 08:53:43.2910060Z
  CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 39.86349
  CORNER_UL_LON_PRODUCT = 22.20425
  CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 39.80172
  CORNER_UR_LON_PRODUCT = 24.97110
  CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 37.96608
  CORNER_LL_LON_PRODUCT = 22.17260
  CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 37.90833
  CORNER_LR_LON_PRODUCT = 24.86702
  CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 603000.000
  CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = 4413300.000
  CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 840000.000
  CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = 4413300.000
  CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 603000.000
  CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = 4202700.000
  CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 840000.000
  CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = 4202700.000
  REFLECTIVE_LINES = 7021
  REFLECTIVE_SAMPLES = 7901
  THERMAL_LINES = 7021
  THERMAL_SAMPLES = 7901
  FILE_NAME_BAND_1 = "LT51830332009205MOR00_B1.TIF"
  FILE_NAME_BAND_2 = "LT51830332009205MOR00_B2.TIF"
  FILE_NAME_BAND_3 = "LT51830332009205MOR00_B3.TIF"
  FILE_NAME_BAND_4 = "LT51830332009205MOR00_B4.TIF"
  FILE_NAME_BAND_5 = "LT51830332009205MOR00_B5.TIF"
  FILE_NAME_BAND_6 = "LT51830332009205MOR00_B6.TIF"
  FILE_NAME_BAND_7 = "LT51830332009205MOR00_B7.TIF"
  GROUND_CONTROL_POINT_FILE_NAME =
"LT51830332009205MOR00_GCP.txt"
  REPORT_VERIFY_FILE_NAME = "LT51830332009205MOR00_VER.txt"
```

```

BROWSE_VERIFY_FILE_NAME = "LT51830332009205MOR00_VER.jpg"
METADATA_FILE_NAME = "LT51830332009205MOR00_MTL.txt"
CPF_NAME = "L5CPF20090701_20090930.16"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 0.00
IMAGE_QUALITY = 9
SUN_AZIMUTH = 124.86426995
SUN_ELEVATION = 61.43496624
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 209
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 3.527
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 2.500
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 2.488
GROUND_CONTROL_POINTS_VERIFY = 1583
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY = 0.095
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY_QUAD_UL = 0.093
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY_QUAD_UR = 0.107
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY_QUAD_LL = 0.101
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY_QUAD_LR = 0.086
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 193.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -1.520
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 365.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -2.840
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 264.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -1.170
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 221.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -1.510
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 30.200
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.370
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 15.303
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = 1.238
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 16.500
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.150
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
CORRECTION_GAIN_BAND_1 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_2 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_3 = "CPF"

```



```

CORRECTION_GAIN_BAND_4 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_5 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_6 = "INTERNAL_CALIBRATION"
CORRECTION_GAIN_BAND_7 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_1 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_2 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_3 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_4 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_5 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_6 = "CPF"
CORRECTION_BIAS_BAND_7 = "CPF"
END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 0.766
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.448
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.044
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 0.876
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 0.120
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 0.055
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 0.066
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -2.28583
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -4.28819
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -2.21398
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -2.38602
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -0.49035
RADIANCE_ADD_BAND_6 = 1.18243
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -0.21555
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 34
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
ORIENTATION = "NORTH_UP"
RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
MAP_PROJECTION_L0RA = "NA"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END

```

## **APXEIO README ΔΟΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ LANDSAT – 5/TM**

U.S. Geological Survey  
LEVEL-1 PRODUCT README: GeoTIFF

TABLE OF CONTENTS  
INTRODUCTION  
FORMAT  
ORGANIZATION  
\* DATA FILE NAMES  
\* GAP MASKS  
\* README  
\* READING DATA  
GENERAL INFORMATION and DOCUMENTATION  
PRODUCT SUPPORT  
DISCLAIMER

### INTRODUCTION

This product was created by the U.S. Geological Survey (USGS) and contains Landsat data files in Geographic Tagged Image-File Format (GeoTIFF).

The Landsat 1, 2, and 3 satellites carried the Multispectral Scanner (MSS) sensor; the Landsat 4 and 5 satellites carried both the MSS and the Thematic Mapper (TM) sensors; and the Landsat 7 satellite carries the Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) sensor. These sensors support the Landsat Project's mission to provide quality remote sensing data in support of research and applications activities.

For information on MSS products (Landsats 1-5):  
[http://eros.usgs.gov/#/Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/MSS](http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/MSS)

For information on TM products (Landsats 4-5):  
[http://eros.usgs.gov/#/Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/TM](http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/TM)

For information on ETM+ products (Landsat 7):  
[http://eros.usgs.gov/#/Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/ETM](http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/ETM)

For information on the Landsat Project, the Landsat Data Continuity Mission (LDCM), project documentation, and data acquisitions:  
<http://landsat.usgs.gov>

For detailed information on the Landsat 7 satellite, the ETM+ sensor, and Landsat 7 data products:  
<http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/>  
<http://landsat.usgs.gov>  
[http://landsat.usgs.gov/Landsat\\_Search\\_and\\_Download.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat_Search_and_Download.php)

## FORMAT

Landsat MSS, TM, and ETM+ data are provided in GeoTIFF for Level 1T (terrain corrected) products, or for either Level 1Gt (systematic terrain corrected) or Level 1G (systematic corrected) products, if Level 1T processing is not available. GeoTIFF defines a set of publicly available TIFF tags that describe cartographic and geodetic information associated with TIFF images. GeoTIFF is a format that enables referencing a raster image to a known geodetic model or map projection.

The initial tags are followed by image data that, in turn, may be interrupted by more descriptive tags. By using the GeoTIFF format, both metadata and image data can be encoded into the same file.

The Landsat 7 ETM+ GeoTIFF file format is described in detail in the "Landsat 7 ETM+ Level 1 Product Data Format Control Book (DFCB), LS-DFCB-04":  
<http://landsat.usgs.gov/documents/LS-DFCB-04.pdf>

The Landsat 4-5 TM GeoTIFF file format is described in detail in the "Landsat Thematic Mapper (TM) Level 1 (L1) Data Format Control Book (DFCB), LS-DFCB-20":  
<http://landsat.usgs.gov/documents/LS-DFCB-20.pdf>

The Landsat MSS file format is described in detail in the "Landsat Multispectral Scanner (MSS) Level 1 (L1) Data Format Control Book (DFCB)":  
<http://landsat.usgs.gov/documents/LS-DFCB-22.pdf>

For more information on GeoTIFF visit:  
<http://trac.osgeo.org/geotiff>

## ORGANIZATION

Each band of Landsat data in the GeoTIFF format is delivered as a grayscale, uncompressed, 8-bit string of unsigned integers.

A metadata (MTL) file is included with data processed through the Level-1 Product Generation System (LPGS). A file containing the ground control points (GCP) used during image processing is also included. A processing history (WO) file is included with data processed through the National Landsat Archive Production System (NLAPS). Landsat 7 ETM+ SLC-off products processed after December 11, 2008, will include an additional directory (gap\_mask) that contains a set of flat binary scan gap mask files (one per band). (Please note that the processing date and acquisition date are not necessarily the same.)

#### \* DATA FILE NAMES

The file naming convention for Landsat LPGS-processed GeoTIFF data is as follows:

LMSppprrrYYYYDOYGSIVV\_BN.TIF where:

L	= Landsat
M	= Mission (E for ETM+ data; T for TM data; M for MSS)
S	= Satellite (7 = Landsat 7, 5 = Landsat 5, 4 = Landsat 4)
ppp	= starting path of the product
rrr	= starting and ending rows of the product
YYYY	= acquisition year
DOY	= Julian date
GSI	= Ground Station Identifier
VV	= 2 digit version number
BN	= file type:
B1	= band 1
B2	= band 2
B3	= band 3
B4	= band 4
B5	= band 5
B6_VCID_1	= band 6L (low gain) (ETM+)
B6_VCID_2	= band 6H (high gain) (ETM+)
B6	= band 6 (TM and MSS)
B7	= band 7
B8	= band 8 (ETM+)
MTL	= Level-1 metadata
GCP	= ground control points
TIF	= GeoTIFF file extension

The file naming convention for Landsat NLAPS-processed GeoTIFF data is as follows:

LLNppprrrOOYYDDMM\_AA.TIF where:



LL	= Landsat sensor (LT for TM data)
N	= satellite number
ppp	= starting path of the product
rrr	= starting row of the product
OO	= WRS row offset (set to 00)
YY	= last two digits of the year of acquisition
DDD	= Julian date of acquisition
MM	= instrument mode (10 for MSS; 50 for TM)
AA	= file type:
B1	= band 1
B2	= band 2
B3	= band 3
B4	= band 4
B5	= band 5
B6	= band 6
B7	= band 7
WO	= processing history file
TIF	= GeoTIFF file extension

#### \* GAP MASKS

All Landsat 7 ETM+ SLC-off imagery processed on or after December 11, 2008, will include gap mask files. (Please note the difference between acquisition date and processing date, files dates are not necessarily the same.)

The gap mask files are bit mask files showing the locations of the image gaps (areas that fall between ETM+ scans). One tarred and gzip-compressed gap mask file is provided for each band in GeoTIFF format. The file naming convention for gap mask files is identical to that described above for LPGS-processed GeoTIFF data, with "\_GM" inserted before file type.

If gap mask files are not included with the data, a tutorial for creating them can be found at:  
[http://landsat.usgs.gov/gap\\_mask\\_files\\_are\\_not\\_provided\\_can\\_i\\_create\\_my\\_own.php](http://landsat.usgs.gov/gap_mask_files_are_not_provided_can_i_create_my_own.php)

#### \* README

The README\_GTF.TXT (or README.GTF) is an ASCII text file and is this file.

#### \* READING DATA

Delivered via file transfer protocol (FTP): data files are tarred and g-zip compressed and will need to be unzipped and untarred before the data files can be used. UNIX systems should have the "gunzip" and "tar" commands available for uncompressing and accessing the data. For PC users, free software can be downloaded from an online source. Otherwise, check your PC, as you may already have appropriate software available.

No software is included on this product for viewing Landsat data.

#### GENERAL INFORMATION and DOCUMENTATION

Landsat and the Landsat Data Continuity Mission (LDCM):  
<http://landsat.usgs.gov>

Landsat 7 (ETM+):  
[http://eros.usgs.gov/#Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/ETM](http://eros.usgs.gov/#Find_Data/Products_and_Data_Available/ETM)

Landsat 4-5 (TM):  
[http://eros.usgs.gov/#Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/TM](http://eros.usgs.gov/#Find_Data/Products_and_Data_Available/TM)

Landsat 1-5 (MSS):  
[http://eros.usgs.gov/#Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/MSS](http://eros.usgs.gov/#Find_Data/Products_and_Data_Available/MSS)

Landsat data access:

- \* USGS Global Visualization Viewer (GloVis):  
<http://glovis.usgs.gov>
- \* USGS EarthExplorer: <http://earthexplorer.usgs.gov>
- \* Landsat International Ground Station (IGS) network:

[http://landsat.usgs.gov/about\\_ground\\_stations.php](http://landsat.usgs.gov/about_ground_stations.php)

FGDC metadata:  
<http://www.fgdc.gov/metadata>

Data restrictions and citation:  
[http://eros.usgs.gov/#/About\\_Us/Customer\\_Service/Data\\_Citation](http://eros.usgs.gov/#/About_Us/Customer_Service/Data_Citation)

\* National Snow and Ice Data Center (NSIDC)  
Radarsat Antarctic Mapping Project (RAMP) elevation data  
citation:

Liu, H., K. Jezek, B. Li, and Z. Zhao. 2001.  
Radarsat Antarctic Mapping Project digital elevation model  
version 2.  
Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. Digital media.

For information on the data, please refer to the data set documentation available at the following web site:  
<http://nsidc.org/data/nsidc-0082.html>

#### PRODUCT SUPPORT

For further information on this product, contact USGS EROS Customer Services:

Customer Services (ATTN: Landsat)  
U.S. Geological Survey  
Earth Resources Observation and Science (EROS) Center  
47914 252nd Street  
Sioux Falls, SD 57198-0001

Tel: 800-252-4547  
Tel: 605-594-6151  
Fax: 605-594-6589  
Email: [custserv@usgs.gov](mailto:custserv@usgs.gov)  
Web: <http://eros.usgs.gov/>

For information on other products from USGS EROS:  
<http://eros.usgs.gov/>

For information on other USGS products:  
<http://ask.usgs.gov/>  
or call 1-888-ASK-USGS (275-8747)

#### DISCLAIMER

Any use of trade, product, or firm names is for descriptive purposes only and does not imply endorsement by the U.S. Government.

Publication Date: November 2012

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ & ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Μ.Π.Σ. ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: **ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

ΤΣΙΑΜΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ, ΓΕΩΛΟΓΟΣ Α.Π.Θ.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΤΑΘΑΚΗΣ

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

- ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΤΑΘΑΚΗΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ.
- ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΕΡΑΚΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ.
- ΣΕΡΑΦΕΙΜ ΠΟΛΥΖΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΤΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ.

ΒΟΛΟΣ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2015