

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

(Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών / Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών
Γεωπληροφορικής)



Πτυχιακή εργασία

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ
ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΠΕΔΑΦΕΙΩΝ
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΛΟΙΠΩΝ

Μαρία Σταύρου

Λεμεσός 2013

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

(Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών / Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών
Γεωπληροφορικής)

Πτυχιακή εργασία

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ
ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΠΕΔΑΦΕΙΩΝ
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΛΟΙΠΩΝ

Μαρία Σταύρου

Σύμβουλος καθηγητής:
Δρ. Διόφαντος Χατζημιτσής

Λεμεσός 2013

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Μαρία Σταύρου, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Ευχαριστίες

Κατ' αρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας Δρ. Διόφαντο Χατζημιτσή, Πρόεδρο του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία, για την καθοδήγησή του και τη βοήθεια του σε κάθε φάση της δημιουργίας της και κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο. Ταυτόχρονα ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον Δρ. Άθω Αγαπίου μέλος της ερευνητικής ομάδας του Δρ. Χατζημιτσή, για την δική του συνεισφορά, η οποία ήταν ιδιαίτερα σημαντική για την επιτυχή ολοκλήρωση της πτυχιακής αυτής, με τις παρατηρήσεις και τις δικές του υποδείξεις όσον αφορά τη βελτίωση της. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα της εν λόγω πτυχιακής είχαν παρουσιαστεί και στο διεθνές συνέδριο RSCy2013- First International Conference of Remote Sensing and Geoinformation of Environment, 8-10 Απριλίου 2013 στην Πάφο. Η καθοδήγηση καθώς και η συνεχής παρακολούθηση και των δύο αυτών συμβούλων καθηγητών ήταν αυτή που ουσιαστικά με βοήθησε σωματικά και ψυχικά στην αντιμετώπιση και λύση όλων των δυσκολιών και προβλημάτων που παρουσιάστηκαν σε όλη τη διάρκεια της μελέτης αυτής. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον συμφοιτητή μου Νικόλα Κούρτη για την δική του βοήθεια και υποστήριξη κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Βέβαια, την μεγαλύτερη ευγνωμοσύνη όμως οφείλω να εκφράσω στους γονείς μου για την συνεχή υποστήριξη και αγάπη που μου έδειξαν σε όλα τα στάδια της ζωής μου. Η πίστη τους στις δυνατότητες μου αποτέλεσε αρωγός σε όλους τους στόχους και τις επιδιώξεις μου, αφού με ανέθρεψαν σε ένα κατάλληλο περιβάλλον με τις απαραίτητες ηθικές αξίες, κάνοντας με πάνω από όλα ένα σωστό άνθρωπο στην κοινωνία. Χωρίς την δική τους συμπαράσταση, καθοδήγηση και στήριξη η εν λόγω μελέτη δεν θα ολοκληρωνόταν, γι' αυτό και τους οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ. Αφιερώνω την παρούσα εργασία στη μεγάλη μου αδυναμία, την μητέρα μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αναγκαιότητα της διαχείρισης και καταγραφής των αρχαιολογικών χώρων είναι τεράστια, αφού αποτελεί το θεμέλιο λίθο για τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς μιας χώρας και ενός πολιτισμού. Αρκετές μελέτες στο παρελθόν έχουν εξετάσει τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων για την ανίχνευση πιθανών αρχαιολογικών καταλοίπων. Ορισμένες πρόσφατες έρευνες κάνουν χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης αλλά και δεικτών βλάστησης, υποστηρίζοντας τις εφαρμογές ανίχνευσης, για την εύρεση υπεδάφιας αρχαιολογικών καταλοίπων. Παρόλο που οι δείκτες βλάστησης σε συνδυασμό με της υψηλής ευκρίνειας δορυφορικές εικόνες μπορούν να δώσουν πολύτιμα στοιχεία στην αρχαιολογική εξερεύνηση, εντούτοις απαιτείται να γίνεται μια εκτίμηση της ακρίβειας τους, καθώς και κριτική αξιολόγηση τους. Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα εντοπισμού υπεδάφιο νεολιθικό οικισμό (*Αλμυρός II*), ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή του Θεσσαλικού κάμπου στη Στερεά Ελλάδα. Στο ελεγχόμενο αυτό αρχαιολογικό περιβάλλον έχουν διεξαχθεί σε προηγούμενες μελέτες, επίγειες μετρήσεις με την χρήση φασματοραδιομέτρων αλλά και άλλων μεθόδων αρχαιολογικής έρευνας. Στην έρευνα αυτή 15 πολυφασματικοί δείκτες βλάστησης εφαρμόζονται από τη σχετική βιβλιογραφία, και αξιολογούνται για τη δυνατότητά τους στην ανίχνευση υπεδάφιας αρχαιολογικών καταλοίπων, σε εκτάσεις που καλύπτονται από βλάστηση, με την ταυτόχρονη υποστήριξη δορυφορικών εικόνων. Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης έχουν αξιολογηθεί 5 διαχρονικές δορυφορικές εικόνες του πολυφασματικού δορυφόρου Landsat 5 TM. Τα αποτελέσματα στηρίχτηκαν σε τιμές ανακλαστικότητας, οι οποίες προέκυψαν μετά από ατμοσφαιρική και ραδιομετρική διόρθωση που έγινε στις εικόνες. Όλοι οι δείκτες αξιολογούνται για τις επιδόσεις τους και τη διαχωριστική τους ικανότητα. Τα αποτελέσματά παρουσιάζονται μέσα από πίνακες και διαγράμματα. Τα τελικά ευρήματα έδειξαν ότι η περιοχή του Αλμυρού διαφοροποιείται από την περιβάλλουσα καλλιεργούμενη έκταση. Στο τέλος μέσα από ορισμένες ποσοτικοποιήσεις προτείνεται η εφαρμογή περισσότερων δεικτών που δεν χρησιμοποιούνται ευρέως, με την ταυτόχρονη χρήση πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων, προκειμένου να ενισχύσουν τα τελικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή στη θέση *Αλμυρός II* ενισχύουν την άποψη ότι μη καταστρεπτικές μέθοδοι όπως είναι η δορυφορική τηλεπισκόπηση μπορεί να συμβάλουν στην αρχαιολογική έρευνα και αρχαιολογίας τοπίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ



ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	viii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	x
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	6
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	21
2.1 Μαγούλες.....	21
2.1.1 Κατηγορίες περιοχών με αρχαιολογικά κατάλοιπα – ύπαρξη μαγούλων	22
2.1.2 Κατηγορίες ανάλογα με κλιματολογικές συνθήκες περιοχής	23
2.2 Δείκτες Βλάστησης.....	27
2.2.1 Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης Διαφοράς (NDVI).....	29
2.2.2 Δείκτης Βλάστησης EVI	30
2.2.3 Κάθετος Δείκτης Βλάστησης PVI.....	31
2.2.4 Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης (SAVI).....	32
2.3 Εικόνες LANDSAT.....	32
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	37
3.1 Θέση της περιοχής.....	37
3.2 Κλιματικά Χαρακτηριστικά	37
3.3 Γεωλογικά – Γεωμορφολογικά στοιχεία	38
3.4 Μαγούλες Θεσσαλίας.....	38

4.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ	41
4.1	Γεωμετρική Διόρθωση εικόνων	41
4.2	Ραδιομετρική Διόρθωση εικόνων.....	43
4.2.1	Απαιτούμενες Διορθώσεις.....	44
4.2.2	Μετατροπή Digital number (DN) σε ακτινοβολία (radiance).....	45
4.2.3	Μετατροπή σε ανακλαστικότητα (reflectance)	46
4.3	Ατμοσφαιρική Διόρθωση εικόνων	47
4.3.1	Μέθοδος του σκοτεινού στόχου (Darkest pixel) για ατμοσφαιρική διόρθωση.	49
4.3.2	Μεθοδολογία ατμοσφαιρικής διόρθωσης.....	49
4.4	Υπολογισμός Δεικτών Βλάστησης στο ArcGIS.....	50
4.4.1	Δημιουργία διαγραμμάτων ροής κάθε δείκτη	53
4.4.2	Δημιουργία προφίλ βλάστησης κάθε δείκτη για τις 5 εικόνες	59
4.4.3	Σχολιασμός προφίλ βλάστησης εικόνων	72
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	73
5.1	Εικόνα 26/07/2007	73
5.2	Εικόνα 15/07/2009	75
5.3	Εικόνα 24/07/2009	77
5.4	Εικόνα 31/07/2009	79
5.5	Εικόνα 20/09/2010	81
6.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	84
6.1	Σχολιασμός τελικών αποτελεσμάτων ποσοτικοποίησης δεικτών	87
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ/ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	88
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	94

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.....	5
Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά δορυφόρου LANDSAT	33
Πίνακας 3: Φασματική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεκτών των δορυφόρων 1 - 7	36
Πίνακας 4: Τιμές καναλιών για ακτινοβολία που επιστρέφει	47
Πίνακας 5: Τιμές απόστασης γης – ήλιου σε αστρονομικές μονάδες (Πηγή: Χατζημιτσής, 2010).....	47
Πίνακας 6: Ελάχιστο και Μέγιστο Ποσοστό συμμετοχής δεικτών στην έρευνα.....	88

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1: Η μέθοδος Γεωραντάρ (GPS) σε βαλιτσάκι	1
Εικόνα 2: Φασματική υπογραφή βλάστησης. Η βλάστηση έχει χαμηλή ανάκλαση στην ορατή περιοχή του φάσματος και υψηλή ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο	4
Εικόνα 3: Απόδοση θέσεων αρχαίων ναών και πιθανού οδικού δικτύου στη θέση Mirador στη Γουατεμάλα	16
Εικόνα 4: Απεικόνιση ραντάρ στη πόλη Angkor της Καμπότζη.	17
Εικόνα 5: Αποτέλεσμα γεωφυσικής διασκόρπισης της περιοχής οχυρού Navan στη Βόρειο Ιρλανδία.....	18
Εικόνα 6: Απεικόνιση Μαγούλας.....	21
Εικόνα 7: Μαγούλα στη Μ.Βρετανία.....	24
Εικόνα 8: Τύμβος και ταφικός περίβολος στη Μ. Βρετανία.....	26
Εικόνα 9: Φασματική υπογραφή βλάστησης σε σχέση με το έδαφος.....	27
Εικόνα 10: Γραφική αναπαράσταση εύρεσης δείκτη PVI	31
Εικόνα 11: Ανάγκη για 16 ημέρες για πλήρη κάλυψη της γης από δορυφόρους LANDSAT 4, 5 και 7	34
Εικόνα 12: Περιοχή μελέτης από Google Earth.....	39
Εικόνα 13: Η θέα από την αρχαιολογική θέση του Αλμυρού II	40
Εικόνα 14: Μέθοδοι παρεμβολής για γεωμετρική διόρθωση	42
Εικόνα 15: Φαινόμενο λωριδοποίησης (Striping).....	44
Εικόνα 16: Γραφική αναπαράσταση του υπολογισμού του Spectral radiance	46
Εικόνα 17: Χρήση εντολής Model Builder	50
Εικόνα 18: Χρήση της εντολής Interpolate Line.....	51
Εικόνα 19: Χρήση εντολής Create Profile Gragh	51
Εικόνα 20: Εξαγωγή του γραφήματος σε μορφή αρχείου excel	52
Εικόνα 21: Διάγραμμα ροής δείκτη ARVI.....	53

Εικόνα 22: Διάγραμμα ροής δείκτη DVI	53
Εικόνα 23: Διάγραμμα ροής δείκτη EVI.....	54
Εικόνα 24: Διάγραμμα ροής δείκτη GEMI	54
Εικόνα 25: Διάγραμμα ροής δείκτη GREEN_NDVI	55
Εικόνα 26: Διάγραμμα ροής δείκτη IRG.....	55
Εικόνα 27: Διάγραμμα ροής δείκτη MSAVI.....	55
Εικόνα 28: Διάγραμμα ροής δείκτη MSR	56
Εικόνα 29: Διάγραμμα ροής δείκτη MTVI2	56
Εικόνα 30: Διάγραμμα ροής δείκτη OSAVI	57
Εικόνα 31: Διάγραμμα ροής δείκτη RDVI.....	57
Εικόνα 32: Διάγραμμα ροής δείκτη SRxNDVI.....	57
Εικόνα 33: Διάγραμμα ροής δείκτη NDVI.....	58
Εικόνα 34: Διάγραμμα ροής δείκτη SR.....	58
Εικόνα 35: Διάγραμμα ροής δείκτη RVI.....	58
Εικόνα 36: Σύνθεση τελικού Διαγράμματος της Μεθοδολογίας	83
Εικόνα 37: Τελικά αποτελέσματα εικόνας 26/07/2009.....	84
Εικόνα 38: Τελικά αποτελέσματα εικόνας 24/07/2009.....	85
Εικόνα 39: Τελικά αποτελέσματα εικόνας 15/07/2009.....	85
Εικόνα 40: Τελικά αποτελέσματα εικόνας 20/09/2009.....	86
Εικόνα 41: Τελικά αποτελέσματα εικόνας 31/07/2009.....	86
Εικόνα 42: Ποσοτικοποίηση δεικτών βλάστησης.....	87

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Παρουσιάζονται πιο κάτω συνοπτικά όλες οι σημαντικές συντομογραφίες που έχουν χρησιμοποιηθεί στο κείμενο της εν λόγω πτυχακής:

ΤΕΠΑΚ:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΔΔ/ΔΙ	Διαχωριστική Διακριτική Δυνατότητα Ικανότητα
VNIR:	Very Near Infrared
GPR:	Ground Penetration Radar
VI:	Vegetation Index
LAI:	Leaf Area Index
PNIR:	Near Infrared reflectance
Pred:	Red reflectance
Pgreen:	Green reflectance
Pblue:	Blue reflectance
WRS:	Worldwide Reference System
RBV:	Return Beam Vidicon
MSS:	Multi Spectral Scanner
RADAR:	Radio detection and ranging
GIS:	Geographical Information Systems
DTM:	Digital terrain model
DEM:	Digital elevation model

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

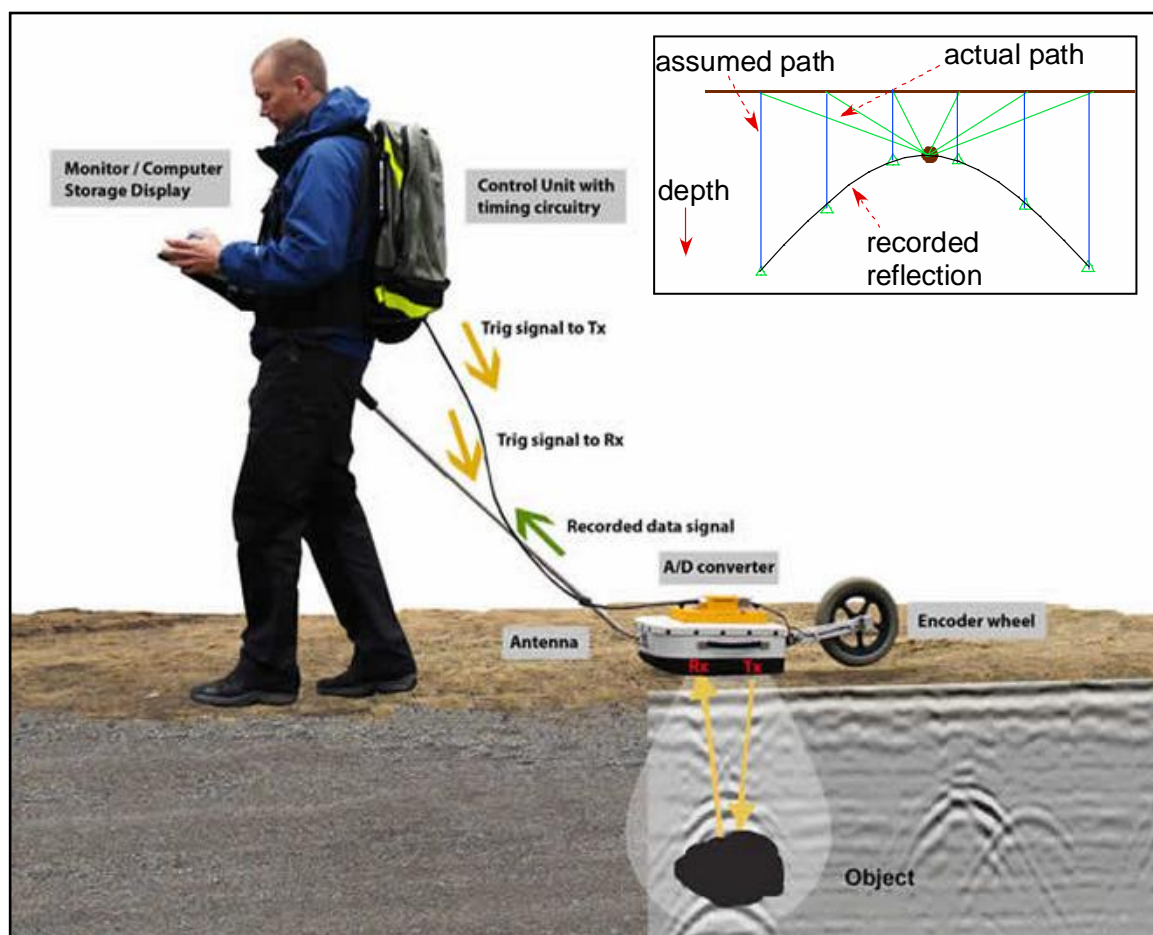
Παρουσιάζονται πιο κάτω συνοπτικά όλες οι ξενόγλωσσες ορολογίες οι οποίες δεν έχουν αποδοθεί επισήμως στην ελληνική γλώσσα:

Reflectance:	Ανακλαστικότητα
Sun elevation angle:	Γωνία ύψους του ήλου
Spectralon Panel:	Πάνελ μέτρησης της ανακλαστικότητας
Crop mark:	Μαγούλα (μικρός λοφίσκος)
Vegetation Index:	Δείκτης Βλάστησης
VNIR:	Εγγύς υπέρυθρο κανάλι
GPR:	Υπεδάφειο γεωραντάρ
Landsat TM:	Πολυφασματικός δορυφόρος
Leaf Area Index:	Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας
Broadband:	Πολυφασματικός
Pixel:	Εικονοστοιχείο
Fractional Vegetation Cover:	Ποσοστό κάλυψης υγιούς βλάστησης
Thematic Mapper:	Θεματικός Χαρτογράφος
Striping:	Λωριδοποίηση
pseudo-color:	Ψευδοχρωματικό
Remote Sensing	Τηλεπισκόπηση
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ΣΓΠ:	Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών
DTM:	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους
DEM:	Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρου

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι τεχνικές τηλεπισκόπησης έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την ανίχνευση των αρχαιολογικών χώρων (Rowlands και Σαρρής, 2007; Masini και Lasaponara, 2007). Τέτοιες τεχνικές αναζήτησης περιλαμβάνουν την εφαρμογή γεωφυσικών ερευνών με την χρήση υπεδάφειου ραντάρ (G.P.R) και μαγνητόμετρων (Ventera et al, 2006; Negria και Leucci, 2006). Άλλες τεχνικές περιλαμβάνουν τη χρήση αεροφωτογραφιών αλλά και την χρήση δορυφορικών εικόνων (Cavalli et al, 2007).

Οι γεωφυσικές έρευνες αρχαιολογικών χώρων περιλαμβάνουν μαγνητικές, ηλεκτρικές, σεισμικές και βαρυτικές τεχνικές. Το γεω - ραντάρ (G.P.R.) και η ηλεκτρική τομογραφία χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις για την κάθετη ανάλυση της στρωματογραφίας του υπεδάφους.



Εικόνα 1: Η μέθοδος Γεωραντάρ (GPS) σε βαλιτσάκι

(Πηγή: <http://geo-analysis.com/gpr/>)

Αρκετοί ερευνητές έχουν δείξει ότι η υψηλή ανάλυση δορυφορικών αισθητήρων μπορούν να έχει σημαντικές δυνατότητες για αρχαιολογικές έρευνες. Η πλειοψηφία αυτών των μελετών επικεντρώθηκαν στην χρήση υψηλής ανάλυση δορυφορικών εικόνων όπως IKONOS και Quickbird (Lasaponara και Masini, 2005, 2006, 2007). Υπερφασματικές δορυφορικές εικόνες όπως HYPERION και MIVIS έχουν βρεθεί να είναι κατάλληλες για την ανάκτηση πολύτιμων πληροφοριών σε μια αρχαιολογική περιοχή αποκαλύπτοντας θαμμένα αρχιτεκτονικά λείψανα (Traviglia, 2005; Aqduş et al, 2007, 2008; Bassani et al, 2009).

Ωστόσο, στις περισσότερες από αυτές τις μελέτες, υπάρχει έλλειψη επίγειων επαληθεύσεων από δορυφορικές έρευνες. Οι δορυφορικές εικόνες πρέπει να έχουν διορθωθεί γεωμετρικά και ατμοσφαιρικά, προτού υποβάλλονται σε οποιοσδήποτε τεχνικές μετά-επεξεργασίας. (Lillesand, 2004). Άλλες διορθώσεις που λαμβάνονται υπόψη είναι η διόρθωση της γωνίας ύψους του ήλιου (sun elevation angle) και η διόρθωση της απόστασης ήλιου - περιοχής ενδιαφέροντος. (Campbell, 2002).

Έτσι πέρα από την ανάλυση δορυφορικών εικόνων και επίγειες έρευνες με τη χρήση επίγειων μετρήσεων με φασματοραδιόμετρα, μπορεί να προσφέρουν πιο ακριβή αποτελέσματα σχετικά με την ανακλαστικότητα του κάθε στόχου. Τα όργανα αυτά μετρούν την ποσότητα ενέργειας (ακτινοβολία) που αντανακλάται από μια περιοχή του εδάφους, για ένα εύρος μηκών κύματος και ακολούθως οι μετρήσεις αυτές μπορούν να μετατραπούν σε τιμές ανακλαστικότητας (reflectance), χρησιμοποιώντας βαθμονομημένο στόχο το ονομαζόμενο spectralon (Peddle et al., 2001).

Ως εκ τούτου τα φασματοραδιόμετρα μπορεί να χρησιμοποιηθούν και για τη μέτρηση του συντελεστή ανάκλασης σε περιοχές με αρχαιολογικό ενδιαφέρον. Φασματικά δεδομένα λαμβάνονται τυπικά για μικρές περιοχές στην επιφάνεια του εδάφους ή από πλατφόρμες, χρησιμοποιώντας φορητά φασματοραδιόμετρα πεδίου.

Οι τηλεπισκοπικές μέθοδοι μπορεί να δώσουν πολύτιμες πληροφορίες για την περιοχή, αν θεωρήσουμε το γεγονός ότι το ανθρώπινο μάτι ανιχνεύει μόνο ένα μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, από περίπου 400 έως 700 nm, αφού λαμβάνει πληροφορίες σε μια ευρύτερη περιοχή του φάσματος όπως είναι το εγγύς υπέρυθρο.

Η μελέτη αυτή παρουσιάζει τα αποτελέσματα από την αρχαιολογική θέση "Αλμυρός ΙΙ" στην περιοχή της Θεσσαλίας στην κεντρική Ελλάδα, που εμφανίζεται σήμερα με τη μορφή μαγούλας. Η μαγούλα είναι ουσιαστικά ψηλός γηλόφος, ο οποίος είναι ορατός από μακριά.

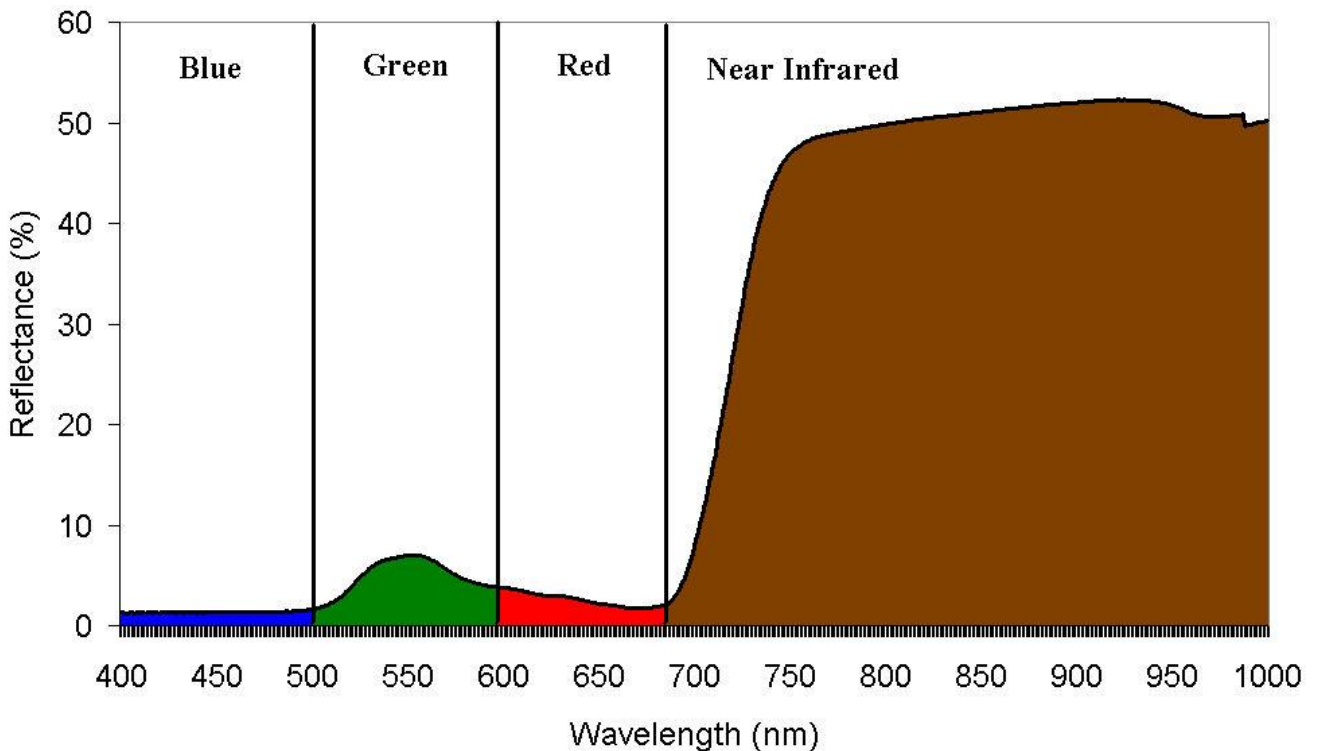
Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι η επεξεργασία πέντε δορυφορικών εικόνων διαφορετικής χρονολογίας για την συγκεκριμένη θέση, η χρήση 15 δεικτών βλάστησης και η δημιουργία διαγραμμάτων που παρουσιάζουν την συμπεριφορά της μαγούλας σε κάθε ένα από τους δείκτες αυτούς.

Οι δείκτες βλάστησης έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί και εφαρμοστεί για την ανίχνευση αρχαιολογικών στοιχείων σε διάφορους τομείς (π.χ. Rowlands και Σαρρής, 2007; Masini και Lasaponara, 2007; Cavalli et al, 2007; Parcak, 2009; Lasaponara και Masini, 2005, 2006, 2007; Aqdas et al., 2007). Μελέτες έδειξαν ότι η χρήση πολυφασματικών δεδομένων Quickbird μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό θαμμένων ερείπιων. Επιπρόσθετα, αποδείχθηκε ότι οι φασματικές διαφορές στις περιοχές βλάστησης που συνδέονται με την παρουσία των αρχαίων θαμμένων καταλοίπων τονίζονται καλύτερα στο εγγύς υπέρυθρο (VNIR) κανάλι.

Η χρησιμότητα των δεικτών βλάστησης είναι πολύ μεγάλη, καθώς επιτρέπουν εύκολο υπολογισμό και ερμηνεία των αποτελεσμάτων και ταυτόχρονα μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τις ατμοσφαιρικές και άλλες επιδράσεις. Κατά καιρούς έχουν προταθεί πάρα πολλοί δείκτες βλάστησης οι οποίοι παρέχουν πληθώρα πλεονεκτημάτων Παρόλα αυτά ανάλογα με την περίπτωση εμφανίζουν και μειονεκτήματα.

Από το 1960 οι επιστήμονες εξάγουν και μοντελοποιούν ποικίλες βιοφυσικές παραμέτρους χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικά δεδομένα. Πολλές από αυτές τις προσπάθειες οδήγησαν στην παραγωγή δεικτών βλάστησης. Οι δείκτες βλάστησης έχουν διάφορα χαρακτηριστικά ανάλογα με το σκοπό που έχουν δημιουργηθεί. Ωστόσο όλοι οι δείκτες βλάστησης, όπως αναφέρθηκε παρουσιάζουν μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα και ανάλογα χρησιμοποιούνται από τους επιστήμονες για διάφορους σκοπούς.

Οι αισθητήρες που καταγράφουν το ηλεκτρομαγνητικό σήμα της βλάστησης δέχονται πολύ χαμηλό σήμα στην μπλε και κόκκινη περιοχή, κάπως εντονότερο σήμα στην πράσινη και πολύ ισχυρό στην κοντινή υπέρυθη περιοχή του φάσματος. Εάν η ισχύς του σήματος για την κάθε περιοχή του φάσματος παρουσιαστεί σε ένα γράφημα, θα είναι κάπως έτσι:



Εικόνα 2: Φασματική υπογραφή βλάστησης. Η βλάστηση έχει χαμηλή ανάκλαση στην ορατή περιοχή του φάσματος και υψηλή ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο

(Πηγή: <http://www.seos-project.eu>)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε πίνακα οι δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιήθηκαν για την εν λόγω μελέτη. Πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν 15 πολυφασματικοί δείκτες (broadband). Εμπεριέχεται το όνομα του κάθε δείκτη, η εξίσωση του και η πηγή από την οποία προέρχεται. Το PNIR, P_{red} , P_{green} , P_{blue} , είναι η ακτινοβολία στο υπέρυθρο, κόκκινο, πράσινο και μπλε κανάλι αντίστοιχα.

Πίνακας 1: Δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη

A/A	Vegetation Index	Equation	Reference
Broadband Vegetation Indices			
1	EVI (Enhanced Vegetation Index)	$2.5 (pNIR - pred) / (pNIR + 6 pred - 7.5 pblue + 1)$	Huete et al., 1997
2	Green NDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)	$(pNIR - pgreen) / (pNIR + pgreen)$	Gitelson et al., 1996
3	NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(pNIR - pred) / (pNIR + pred)$	Rouse et al. (1974)
4	SR (Simple Ration)	$pNIR / pred$	Jordan (1969)
5	MSR (Modified Simple Ratio)	$pred / (pNIR / pred + 1)0.5$	Chen, 1996
6	MTVI2 (Modified Triangular Vegetation Index)	$[1.5(1.2*(pNIR - pgreen)-2.5(pRed - pgreen))] / [(2 pNIR+1)^2 - (6 pNIR - 5 pRed0.5)-0.5]0.5$	Haboudane et al., 2004
7	IRG (Red Green Ratio Index)	$pRed - pgreen$	Gamon et al., 1999
8	RDVI (Renormalized Difference Vegetation Index)	$(pNIR - pred) / (pNIR + pred)1/2$	Roujean and Breon, 1995
9	RVI (Ratio Vegetation Index)	$pred / pNIR$	Pearson et al., 1972
10	DVI (Difference Vegetation Index)	$pNIR - pred$	Tucker, 1979
11	MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index)	$[2 pNIR+1-[(2 pNIR+1)^2-8(pNIR - pred)]1/2]/ 2$	Qi et al., 1994
12	ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index)	$(pNIR - prb) / (pNIR + prb),$ $prb = pred - \gamma (pblue - pred)$	Kaufman and Tanré, 1992
13	GEMI (Global Environment Monitoring Index)	$n(1-0.25n)(pred - 0.125) / (1 - pred)$ $n = [2(pNIR^2 - pred^2) + 1.5 pNIR + 0.5 pred] / (pNIR + pred + 0.5)$	Pinty and Verstraete, 1992
14	SR × NDVI (Simple Ratio x Normalized Difference Vegetation Index)	$(pNIR^2 - pred) / (pNIR + pred^2)$	Gong P et al., 2003
15	OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index)	$(pNIR - pred) / (pNIR + pred + 0.16)$	Rondeaux et al., 1996

1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Τα αρχαιολογικά μνημεία και ευρήματα πέρα από την αναμφισβήτητη ιστορική και αισθητική τους αξία, έχουν σημαντική επιστημονική αξία. Παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα γεωλογικά, κλιματολογικά και περιβαλλοντικά φαινόμενα του παρελθόντος. Συντελούν έτσι στην κατανόηση της γεωτεκτονικής εξέλιξης, του παλαιοκλίματος και της γενικότερης περιβαλλοντικής εξέλιξης της περιοχής στην οποία βρίσκονται. Σε πολλές περιπτώσεις οι κατασκευαστικές λύσεις και η αρχιτεκτονική των οικοδομημάτων οφείλονται στην προσπάθεια των κατοίκων να προστατευτούν από τεκτονικά ή μετεωρολογικά φαινόμενα. Η μελέτη των αρχαιολογικών ευρημάτων συμβάλλει ακόμη στην κατανόηση της εξέλιξης της κοινωνίας στην πορεία του χρόνου και της παιδείας της ανθρώπινης κοινωνίας της περιοχής που αντιπροσωπεύουν. Επιτρέπει επίσης την εύρεση των χρονικών περιόδων κατά τις οποίες η περιοχή ευημερούσε οικονομικά ή όχι. Έχουν επομένως τόσο κοινωνική όσο και εκπαιδευτική αξία. Τέλος, τα αρχαιολογικά μνημεία και ευρήματα αποτελούν σημεία τουριστικού ενδιαφέροντος για την περιοχή, συμβάλλοντας έτσι στην κοινωνική, οικονομική και πολιτιστική της ανάπτυξη.

Δεν πρέπει να αγνοηθεί όμως το γεγονός ότι η σχέση της αρχαιολογίας με την ανάπτυξη της τουριστικής βιομηχανίας, δημιουργεί νέα περιβαλλοντικά δεδομένα και αυξάνει τις ανάγκες προστασίας των αρχαιοτήτων. Η ανθρώπινη επέμβαση στα φυσικά οικοσυστήματα αυξάνει τη συχνότητα και τη δριμύτητα των φυσικών κινδύνων. Κατά συνέπεια, τα αρχαιολογικά μνημεία κινδυνεύουν τόσο από την ανθρωπογενή δράση, όσο και από τις φυσικές καταστροφές. Δημιουργείται λοιπόν η ανάγκη για βελτίωση του σχεδιασμού διαχείρισης και ανάδειξης των πολιτισμικών πόρων, μέσω των γεωφυσικών μεθόδων, αλλά και της δορυφορικής τηλεπισκόπησης η οποία χρόνο με τον χρόνο αναπτύσσεται ραγδαία, προσφέροντας πολλές δυνατότητες στον άνθρωπο.

Από τα πρώτα βήματα της Αρχαιολογίας παρατηρήθηκε ότι οι φυσικές ιδιότητες του υπεδάφους μπορούσαν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για την ανακάλυψη θαμμένων στοιχείων (κατασκευές, αντικείμενα κλπ). Μία πρώτη αναφορά (Clark, A.J., 1990) απαντάται σε ταξιδιωτικές καταγραφές του στρατιωτικού, εθνολόγου και αρχαιολόγου Augustus Pitt Rivers το 1893 στις ΗΠΑ, όπου καταγράφεται ότι χτυπώντας το έδαφος με ένα λοστό και ακούγοντας τις μεταβολές της αντήχησης, μπορούσαν να ανιχνεύσουν σε μεγάλο βαθμό τη διάταξη θαμμένων τάφων κάτω από ασβεστολιθικούς λόφους.

Ο Tony Clark (1990), ένας από τους πρωτοπόρους της γεωφυσικής στην αρχαιολογία, περιγράφει στο βιβλίο του 'Seeing Beneath the Soil', τη συμβολή της γεωφυσικής ως την «ικανότητα να βλέπουμε κάτω από το υπέδαφος» και τη «δυνατότητα του αρχαιολόγου να εισχωρήσει κάτω από την επιφάνεια χωρίς να καταφύγει σε άσκοπες, δαπανηρές ή καταστροφικές εκσκαφές».

Σήμερα, τεχνικές των γεωφυσικών διασκοπήσεων και της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, αποβλέπουν στην αποτύπωση του επιφανειακού και του υπεδάφικου περιβάλλοντος και εμπλουτίζουν την αρχαιολογική έρευνα προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες τόσο στην αρχαιολογική κοινότητα όσο και σε άλλους ενδιαφερόμενους φορείς.

Το σύνολο των μεθόδων και τεχνικών των θετικών επιστημών, που αξιοποιούνται από την Αρχαιολογία αποτελεί πλέον μια αυτοτελή επιστημονική οντότητα, που ονομάστηκε "Αρχαιομετρία και Αρχαιοτηλεπισκόπηση". Αρχικά (τέλος δεκαετίας του 1950) δεν ήταν τίποτε άλλο από το συνδυασμό τεχνικών και μεθόδων, οι οποίες είχαν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στη λύση άλλων επιστημονικών προβλημάτων και συνέβαλλαν στη λύση κάποιων αρχαιολογικών ζητημάτων. Με την πάροδο του χρόνου κατέστη αναγκαίο οι ίδιες αυτές μέθοδοι να εξελιχθούν σε νέους κλάδους με αφετηρία την επιστήμη την οποία επικουρούν, δηλαδή την Αρχαιολογία και τις απαιτήσεις της αρχαιολογικής έρευνας. Οι γεωφυσικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σήμερα στην αρχαιολογία έχουν προσαρμοστεί σε μικρότερη κλίμακα από τις αντίστοιχες μεθόδους που εφαρμόζονται για τις γεωλογικές έρευνες, την έρευνα των κοιτασμάτων, την γεωτεχνική έρευνα, τις μικροζωνικές μελέτες, τις γεωπεριβαλλοντικές έρευνες κλπ. Ο Wynn (1986) εισήγαγε τον όρο "γεωφυσικές διασκοπήσεις υψηλής διακριτικής ικανότητας" ως γενική περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση θαμμένων αρχαιοτήτων. Ο όρος αυτός είναι πράγματι δόκιμος, γιατί οι ανωμαλίες των πεδίων, που αναζητούνται και καταγράφονται κατά την εξερεύνηση αρχαιολογικών θέσεων, έχουν κατά πολύ μικρότερο πλάτος και μήκος κύματος. Οι Sarris και Jones (2000) παρουσιάζουν μια επισκόπηση των γεωφυσικών εξερευνήσεων σε αρχαιολογικούς χώρους γύρω από τη Μεσόγειο θάλασσα και σε αρκετές περιπτώσεις δίδονται λεπτομέρειες που αφορούν στην επεξεργασία δεδομένων και αποτελέσματα.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι μπορούν να ταξινομηθούν σε ενεργητικές και σε παθητικές. Οι ενεργητικές μέθοδοι στέλνουν ποσά 'ενέργειας' προς το έδαφος (όπως το παραπάνω παράδειγμα της αντήχησης του λοστού που αναφέρθηκε παραπάνω) και μετρούν την 'απόκριση' στην επιφάνεια.

Τέτοιες μέθοδοι είναι η σεισμική διασκόπηση, η γεωηλεκτρική διασκόπηση, οι ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές, κ.ά. Αντίθετα οι παθητικές μέθοδοι μετρούν απλά τις υπάρχουσες φυσικές ιδιότητες του εδάφους και περιλαμβάνουν τη μαγνητομετρία και τη μελέτη επιτάχυνσης της βαρύτητας.

Από το 1950, στη διαδικασία της γεωλογικής χαρτογράφησης μια αρχαιολογικής περιοχής, εισήχθησαν μέθοδοι που σχετίζονται με την τηλεπισκόπηση και φωτοερμηνεία (Scanvic, 1997). Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες, οι οποίες ήταν η πρώτη μορφή δεδομένων τηλεπισκόπησης, που με το πέρασμα των χρόνων βελτιώθηκαν και πλέον κατέχουν βασικό ρόλο στη γεωλογική χαρτογράφηση.

Η πρώτη λήψη εναέριας φωτογραφίας έγινε πάνω από το χωριό Petit Becetre κοντά στο Παρίσι, το 1859 από τον Gaspar Tournachon με αερόστατο. Πριν από το 1960, το μοναδικό σύστημα που υπήρχε για την παρατήρηση της γης ήταν η εναέρια φωτογραφία. Με τα επιτεύγματα του διαστημικού προγράμματος στις αρχές της δεκαετίας του 60 και τις πρώτες φωτογραφίες από τους αμερικανικούς δορυφόρους Explorer και Mercury, οι ρυθμοί τεχνολογικής ανάπτυξης επιταχύνθηκαν.

Οι δύο Παγκόσμιοι Πόλεμοι που ακολούθησαν, έδωσαν τεράστια ώθηση στην εναέρια φωτογραφία. Ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου, οι Γερμανοί και οι Βρετανοί ανέπτυξαν μεγάλες αναγνωριστικές και φωτοερμηνευτικές δυνατότητες. Πέρα όμως από την ανάπτυξη της εναέριας φωτογραφίας, ο ίδιος πόλεμος έδωσε την ευκαιρία να αναπτυχθούν και άλλα συστήματα, όπως εκείνα που χρησιμοποιούσαν υπέρυθρους θερμικούς δέκτες καθώς και δέκτες ενεργών μικροκυμάτων (RADAR).

Αυτές οι συσκευές μπορούν να τοποθετηθούν στη σύγχρονη εποχή πάνω σε ένα δορυφόρο. Οι δέκτες αποτελούν το βασικότερο στοιχείο σε ένα αναγνωριστικό σύστημα, αφού μπορούν να καταγράφουν εικόνες από την επιφάνεια της γης. Η κυριότερη μέθοδος που ακολουθείται για την παρακολούθηση όσων συμβαίνουν σε μια περιοχή, είναι η τηλεπισκόπηση ή τηλεανίχνευση (Remote Sensing).

Η τηλεπισκόπηση ορίζεται ως η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από ένα στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς στην πραγματικότητα να έρθουμε σε επαφή με τον στόχο (Μερτίκας, 1999).

Η τεχνολογία της σύγχρονης Τηλεπισκόπησης ξεκίνησε με την εφεύρεση της φωτογραφικής μηχανής. Αναπτύχθηκε πολύ από το 1960 και έπειτα, παράλληλα με τη μεγάλη ανάπτυξη της επιστήμης της πληροφορικής, την εξέλιξη των δορυφορικών συστημάτων και τον ανταγωνισμό που προήλθε στις διαστημικές και δορυφορικές έρευνες κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου.

Το μοναδικό χαρακτηριστικό της Τηλεπισκόπησης να παρέχει πληροφορίες χωρίς την ανάγκη επιτόπιας επίσκεψης του επιστήμονα, χωρίς την παρέμβαση στην περιοχή μελέτης και με ιδιαίτερα χαμηλό σχετικά κόστος, αποτελεί ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της έναντι άλλων μεθόδων συλλογής πληροφορίας.

Πέρα από τις τηλεπισκοπικές μεθόδους των αρχαίων προγόνων μας (για την παρατήρηση της φύσης από ψηλά σημεία του εδάφους μέχρι και την παρατήρηση των άστρων), ιστορικά η Τηλεπισκόπηση ξεκίνησε γύρω στο 1850, με τις πρώτες φωτογραφίες από αερόστατο και στη συνέχεια έχει δεθεί ιστορικά η εξέλιξή της με την εξέλιξη των πτητικών μηχανών (αερόστατα, αεροπλάνα και στη συνέχεια τεχνητοί δορυφόροι).

Στη σημερινή εποχή, έχει δοθεί ιδιαίτερο βάρος στην παρατήρηση της γήινης επιφάνειας από δορυφορικές πλατφόρμες (δορυφορικούς δέκτες) και από αερομεταφερόμενους δέκτες, ψηφιακούς ή αναλογικούς. Ειδικότερα με την έλευση της ψηφιακής εποχής και την ταυτόχρονη ανάπτυξη των επιστημών των ηλεκτρονικών υπολογιστών, της όρασης υπολογιστών και της τεχνητής νοημοσύνης, η τηλεπισκόπηση πέρασε σε μια καθαρά ψηφιακή εποχή και έγινε ένα από τα καλύτερα πεδία εφαρμογής των παραπάνω πιο θεωρητικών επιστημών. Από τη δεκαετία του 1960, όταν οι τεχνικές δυνατότητες των δορυφόρων συνέκλιναν με τη ραγδαία ανάπτυξη των δυνατοτήτων των Η/Υ για τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, η χρήση της τηλεπισκόπησης άρχισε να αναπτύσσεται σε μεγάλο βαθμό. Η ραγδαία ανάπτυξη της δορυφορικής τηλεπισκόπησης τις δυο τελευταίες δεκαετίες σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους εκτόξευσης των δορυφορικών συστημάτων, διαχείρισης και επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων έχει καταγραφεί μέσα από τις διάφορες εφαρμογές που βρίσκει σήμερα η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης.

Η πιο σημαντική όμως συμβολή της Τηλεπισκόπησης είναι η δυνατότητα παρακολούθησης διαχρονικών μεταβολών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι δορυφόροι Τηλεπισκόπησης είναι ηλιοσύγχρονοι, που σημαίνει ότι βρίσκονται σε τροχιές που είναι σύγχρονες με την τροχιά του Ηλίου. Έτσι τα δεδομένα συλλέγονται την ίδια ώρα της ημέρας και ο δορυφόρος επαναλαμβάνει την κάλυψη της ίδιας περιοχής σε τακτά χρονικά διαστήματα. Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατή η συνεχής ενημέρωση των στοιχείων και η παρακολούθηση διάφορων φαινομένων, ανάλογα πάντα με το σκοπό και με τη διαχρονική ανάλυση του δορυφόρου που χρησιμοποιείται.

Τις τελευταίες δεκαετίες διαπιστώθηκε ότι οι ανάγκες για αξιόπιστες και ενημερωμένες πληροφορίες γύρω από τη γη, την κοινωνία και το περιβάλλον δεν ήταν δυνατό να ικανοποιηθούν από τους παραδοσιακούς τρόπους συλλογής, καταγραφής, ενημέρωσης και επεξεργασίας των πληροφοριών. Έτσι, από τα τέλη της δεκαετίας του '70, ξεκίνησε η ανάπτυξη της τεχνολογίας των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών ΣΓΠ (Geographical Information Systems – GIS). Η επιστήμη των ΣΓΠ σημείωσε ραγδαία εξέλιξη κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 και έπειτα.

Η ανάπτυξη της Πληροφορικής σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους των ηλεκτρονικών υπολογιστών οδήγησε στην ευκολότερη εισχώρηση της τεχνολογίας των ΣΓΠ σε δημόσιους οργανισμούς, πανεπιστήμια και ιδιωτικές εταιρίες. Στη δεκαετία του 1980, το παγκόσμιο αίτημα για προστασία του περιβάλλοντος και η ανάπτυξη της επιστήμης της πληροφορικής έδωσε νέα ώθηση στη χρήση των ΣΓΠ. Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες το ερευνητικό ενδιαφέρον εστιάζεται στην περιφερειακή ανάπτυξη και στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Αποτέλεσμα των παραπάνω, είναι η αύξηση της ζήτησης σε πληροφορίες που σχετίζονται με το περιβάλλον και η ανάδειξη των ΣΓΠ σε εργαλείο απαραίτητο για την ορθολογική λήψη αποφάσεων και την παρακολούθηση των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον.

Με τα ΣΓΠ ο χρήστης είναι σε θέση να εξετάσει, εποπτεύσει και παρατηρήσει στον ηλεκτρονικό υπολογιστή τις περιβαλλοντικές συνθήκες του χώρου στον οποίο τοποθετούνται οι περιοχές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Η χρήση του Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Εντοπισμού (Global Positioning Systems - GPS) συντελεί στον ακριβή προσδιορισμό της θέσης των αρχαιολογικών ευρημάτων.

Γνωρίζοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες των αρχαιολογικών θέσεων, πετυχαίνεται η ακριβής χαρτογράφηση και ηλεκτρονική απογραφή τους. Η απογραφή των αρχαιοτήτων συντελεί έμμεσα και στην προστασία τους, αφού δεν δύναται η προστασία οποιασδήποτε περιοχής αν αυτή δεν εντοπίζεται και οριοθετείται γεωγραφικά.

Ανάμεσα στα προϊόντα της χρήσης της τεχνολογίας των ΣΓΠ που μπορεί να εκμεταλλευτεί ο αρχαιολόγος είναι και οι χάρτες των ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DEM) και ψηφιακών μοντέλων υψομέτρου (DTM). Αυτοί δημιουργούνται από συνδυασμό τοπογραφικών και υδρολογικών δεδομένων που απορρέουν από χάρτες, αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες. Αποδίδουν την περιοχή μελέτης σε τρισδιάστατη μορφή έχοντας πραγματικά υψόμετρα και πραγματικό γεωμορφολογικό ανάγλυφο. Η αρχαιολογική ερμηνεία βελτιώνεται ακόμη περισσότερο, αφού τα ΣΓΠ επιτρέπουν την υπέρθεση πολλαπλών επιπέδων πληροφορίας. Με τη χρήση των ΣΓΠ, ο αρχαιολόγος αποφεύγει τις χρονοβόρες επισκέψεις πεδίου και είναι σε θέση να εποπτεύσει θέσεις οι οποίες δεν είναι εύκολα προσβάσιμες.

Συνδυάζοντας πληροφορίες από αεροφωτογραφίες και τοπογραφικούς χάρτες, είναι σε θέση να εκτιμήσει την γεωμορφολογία της περιοχής (απότομα πρανή, λεκάνες, ακτογραμμές κλπ). Διευκολύνεται ακόμη στη μελέτη της χωροθέτησης των αρχαιολογικών θέσεων, την εύρεση της απόστασής τους από τη θάλασσα, του γεωλογικού υποβάθρου στο οποίο τοποθετούνται, των αποστάσεών τους από το οδικό και υδρογραφικό δίκτυο, καθώς και από αστικές περιοχές. Συνδυάζοντας αυτές τις πληροφορίες μπορεί να οδηγηθεί σε ανάληψη των κατάλληλων μέτρων προστασίας τους.

Η σύνταξη Χαρτών Επικινδυνότητας των ιστορικών μνημείων με χρήση των ΣΓΠ αποτελεί άμεση προτεραιότητα, ώστε να καταστεί δυνατή μια σωστή και πλήρης προστασία των μνημείων με τη χρήση της διαθέσιμης τεχνολογίας. Οι τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν την ανάπτυξη μεθοδολογιών που υπό άλλες συνθήκες θα απαιτούσαν μεγάλο οικονομικό κόστος και μεγάλες υπολογιστικές δυνατότητες.

Η Τηλεπισκόπηση είναι ένα ανεκτίμητο εργαλείο για την παρακολούθηση, καταγραφή και προστασία της πολιτιστικής μας κληρονομιάς με εφαρμογές πολλών μεθόδων ανίχνευσης αρχαιολογικών καταλοίπων. Στον Κυπριακό χώρο μάλιστα, η συμβολή της Τηλεπισκόπησης κρίνεται πολύ σημαντική τα τελευταία χρόνια, με τους πολλούς αρχαιολογικούς χώρους που παρουσιάζει, γι αυτό αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι σε επίπεδο διαχείρισης κρίσεων και λήψης αποφάσεων.

Πιο κάτω παρουσιάζονται αρκετά διαχρονικά παραδείγματα ερευνών, με χρήση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, που φανερώνουν τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει στη ανακάλυψη θαμμένων αρχαιολογικών καταλοίπων.

Το καλοκαίρι του 1983 πραγματοποιήθηκε μια συστηματική αρχαιολογική έρευνα στην περιοχή που περιβάλλει μια περιοχή, κοντά στο **Fortenelle και Green River** του νοτιοδυτικού **Wyoming των Η.Π.Α.**, όπου 25 αγροτεμάχια, τετράγωνου σχήματος με πλευρά 500 μ., από αεροφωτογραφίες διακριτικής ικανότητας 5μ : χαρτογραφήθηκαν και περιγράφηκαν λεπτομερώς 16.183 ευρήματα. Το καλοκαίρι του 1985 στα αγροτεμάχια που είχαν φωτοερμηνευθεί πραγματοποιήθηκε ξανά επίγειος έλεγχος και εκτιμήθηκε η αξιοπιστία της ταξινόμησης που είχε ήδη γίνει με βάση τον τύπο της βλάστησης και την πυκνότητα της επιφάνειας του εδάφους.

Στην έρημο της **Ανατολικής Ιορδανίας**, κοντά στην όαση του Azraq (*Riley, 1987*) έγινε μια χαρτογράφηση φυσικών και αρχαιολογικών χαρακτηριστικών σε μια άγονη περιοχή όπως αυτή μπορεί εύκολα να πραγματοποιηθεί από τις αεροφωτογραφίες.

Στο **Ανάκτορο του Νέστορος στην Πύλο** (Νομός Μεσσηνίας, Ελλάδα), κατά το έτος 1997, συνεχίστηκαν οι εργασίες του Προγράμματος Πύλου του Πανεπιστημίου της Minnesota για την αρχιτεκτονική αποτύπωση των αρχαιολογικών καταλοίπων. Το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε στην ολοκλήρωση των ερευνών στο χώρο και στην καταγραφή των ευρημάτων από τις προηγούμενες περιόδους. Επίσης, πραγματοποιήθηκε αεροφωτογράφιση του χώρου από το Τμήμα Φωτογραμμετρίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Προτιμήθηκε η χρήση ελικοπτέρου και όχι αερόστατου που πετάει σε χαμηλό ύψος.

Σε μερικές περιοχές, όπως στο χαμηλότερο τμήμα της βόρειας ακτής **Saint Lawrence του Καναδά** (*Perras, 1987*), όπου προκύπτουν δυσκολίες (λόγω της μεγάλης έκτασης της περιοχής, του τύπου της βλάστησης και των πολιτιστικών παραδόσεων των κατοίκων που εξαιτίας του νομαδικού τρόπου ζωής τους έχουν αφήσει ελάχιστα ίχνη), είναι δύσκολο να προσδιοριστούν αρχαιολογικές θέσεις μέσω των αεροφωτογραφιών. Σε αυτή την περίπτωση ψάχνονται πιθανές ζώνες με υψηλό αρχαιολογικό δυναμικό, λαμβάνοντας υπόψη παλαιοπεριβαλλοντολογικές συνθήκες. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες. Για τον προσδιορισμό κάποιων αρχαιολογικών ζωνών λήφθηκαν υπόψη γεωμορφολογικοί και γεωγραφικοί παράγοντες. Αποτέλεσμα της παραπάνω μελέτης ήταν να εντοπισθούν πάνω από 15 αρχαιολογικές θέσεις που καλύπτουν περισσότερα από 7.500 χρόνια ιστορίας. Η συγκεκριμένη μέθοδος προσδιορισμού αρχαιολογικών ζωνών διευκολύνει

ιδιαίτερα στην ανίχνευση αρχαιολογικών θέσεων, αφού το ενδιαφέρον του φωτοερμηνευτή στρέφεται σε συγκεκριμένες περιοχές, τις οποίες έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί στη συνέχεια διεξοδικότερα και με ασφαλέστερο τρόπο.

Βασιζόμενη στο ίδιο σκεπτικό πραγματοποιήθηκε και η μελέτη του Istituto CNR, της Ρώμης (*Parmegiani-Poscolieri, 1993*), με αντικείμενο την ολοκληρωμένη ανάλυση εικόνων Landsat, ψηφιακού μοντέλου εδάφους και επίγειων ελέγχων και στόχο τη διερεύνηση των σχέσεων που συνδέουν προϊστορικούς αρχαιολογικούς χώρους με το περιβάλλον τους, στη **Νότια Ετρουρία της Ιταλίας**.

Μια άλλη, παρόμοια έρευνα, έλαβε χώρα στην ανατολική ακτή του **Viti Levu**, του κυριότερου νησιού του συγκροτήματος **Fiji**, που στις αρχές του 19ου αιώνα ήταν πυκνά κατοικημένο: μελετήθηκαν οι κυκλικές αμυντικές τάφροι των οικισμών καθώς και οι κήποι των οικιών, βάσει αεροφωτογραφιών.

Η χρήση επομένως αεροφωτογραφιών, για τη μελέτη του περιβάλλοντος περιοχών που κατοικήθηκαν πολύ πρώιμα, είναι σημαντική για περιοχές όπου ένα μεγάλο τμήμα της αρχικής χλωρίδας τους διατηρείται (όπως συμβαίνει σε πολλά σημεία της Αμερικής), αλλά δεν είναι δυνατή στις περισσότερες χώρες του Παλαιού Κόσμου, διότι κατά τη διάρκεια της μακράς και συνεχούς κατοίκησης τους, η χλωρίδα έχει υποστεί μεγάλες μεταβολές από τον άνθρωπο. Αυτό βέβαια, με την προϋπόθεση ότι δεν έχουν σημειωθεί ριζικές κλιματολογικές μεταβολές που να έχουν αυτές προκαλέσει τροποποιήσεις στη χλωρίδα. Από διαφορετικές περιπτώσεις εφαρμογής της φωτοερμηνείας-τηλεπισκόπησης στην αρχαιολογική έρευνα, έχει αποδειχθεί απαραίτητη η λήψη και μελέτη τηλεπισκοπικών απεικονίσεων της περιοχής κατά διαφορετικές περιόδους.

Έτσι, σε μια σχετική μελέτη που έγινε στην **Ιταλία** (*Alvisi, 1964*) για τις περιοχές **Fortore** (για την οποία χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες του 1958 και 1962) και **Ordona** (για την οποία χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες του 1953, προέκυψαν τα εξής: 1) Στην Fortore, οδοί που ήταν ορατές στις αεροφωτογραφίες του 1958 είχαν εξαφανιστεί σε αυτές του 1962 στις οποίες το έδαφος παρ' όλο που διατηρούσε τα πλαστικά του χαρακτηριστικά, εμφανιζόταν ομοιόμορφο χρωματικά. Τα ελάχιστα ίχνη που είχαν διατηρηθεί μπορούσαν να μελετηθούν και να ταξινομηθούν μόνο με την υλοποίηση περαιτέρω ερευνών. 2) Στην Ordona, οι αεροφωτογραφίες του 1953 αποκάλυπταν ολόκληρα την πόλη, σε αυτές του 1954 πολλές λεπτομέρειες είχαν εξαφανιστεί, ενώ σε αυτές του 1962 είχε χαθεί κάθε πληροφορία.

Στην περιοχή **Blangy-Tronville**, κοντά στην **Amiens** της **Γαλλίας** (*Agache, 1977*), πραγματοποιήθηκαν συστηματικές αεροφωτογραφήσεις της περιοχής για μια περίοδο 15 ετών, γεγονός που επέτρεψε την καταγραφή και χαρτογράφηση, χιλιάδων προ-ρωμαϊκών και ρωμαϊκών θέσεων της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα: τον Ιούνιο του 1971 μετά από πολλές άκαρπες αεροφωτογραφήσεις, εμφανίζονται για πρώτη φορά ίχνη σιτηρών τα οποία αποκαλύπτουν δύο συστήματα τάφρων, χαρακτηριστικών των τειχισμάτων μικρών γαλατικών αγροικιών, από ξύλο και πηλό ή μικρών ρωμαϊκών σπιτιών με λίθινα θεμέλια : δεν υπήρχε κανένα στοιχείο που να υποδηλώνει εάν επρόκειτο για ρωμαϊκή οικία (δεν υπήρχαν ίχνη θεμελίων) ή γαλατική (δεν υπήρχαν ίχνη ξύλινων στύλων που συναντώνται σε αυτά). Το Φεβρουάριο του 1972 αυτό το σημείο διαλευκάνθηκε : αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν από άλλη οπτική γωνία αποκάλυψαν θεμέλια από άσπρη πέτρα. Τον Ιούνιο του 1978 (από την ίδια οπτική γωνία) διακρινόταν ξεκάθαρα αυτή τη φορά το σχέδιο της οικίας.

Στην περιοχή **Glenlochar** του **Kirkcudbrightshire**, στη **Μ. Βρετανία** (*St Joseph, 1966*), με συγκριτική μελέτη αεροφωτογραφιών του 1949 και του 1953 αποκαλύφθηκαν τα ίχνη ενός Ρωμαϊκού φρουρίου με όλες του τις λεπτομέρειες (τάφροι, προμαχώνες, δρομίσκοι, οικοδομήματα). Στη συγκεκριμένη περίπτωση η περιοχή του Ρωμαϊκού φρουρίου δεν είχε τύχει να φωτογραφηθεί ποτέ κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες ώστε να γίνει αντιληπτή, έως τη χρονιά κατά την οποία καλλιεργήθηκαν σιτηρά.

Στην περιοχή **Mam Tor** του **Castleton**, στο **Derbyshire** της **Μ. Βρετανίας** (*Riley, 1987*), αποκαλύφθηκαν τα ίχνη ενός φρουρίου πάνω σε λόφο (διακρίνονται τα τείχη και πολλές μικρές επίπεδες επιφάνειες που λαξεύτηκαν στην απόκρημνη πλαγιά προκειμένου να διευκολυνθεί το χτίσιμο μικρών οικιών), χάρη στη συγκριτική μελέτη δύο αεροφωτογραφιών. Στη μια του 1976 τα ίχνη εντοπίστηκαν από τις σκιές του μικροαναγλύφου και παρέχουν πολλές πληροφορίες, οι οποίες όμως γίνονται πιο σαφείς με τη λήψη της το 1983, όπου έχουμε ίχνη χιονιού.

Στο **Foxley Farm** του **Eynsham**, στο **Oxfordshire** της **Μ. Βρετανίας** (*Riley, 1987*), έχουμε και πάλι συγκριτική μελέτη αεροφωτογραφιών του 1933 και του 1982. Η συμπληρωματική παρατήρηση των ιχνών σιτηρών που εμφανίστηκαν, έδωσαν την εικόνα των κυκλικών τάφρων της Εποχής του Χαλκού και των περιβόλων και δρομίσκων ενός οικισμού πιθανόν της Εποχής του Σιδήρου ή της Ρωμαϊκής περιόδου που παρατηρούνται στις δύο λήψεις.

Σε μια άλλη συγκριτική μελέτη αεροφωτογραφιών που έγινε για το **Green Down** του **Childrey**, στο **Oxfordshire** της **Μ. Βρετανίας** (Riley, 1987), αποκαλύφθηκαν τοιχάρια αρχαίων κτημάτων κατά μήκος ενός τμήματος των οποίων βρίσκονται σειρές μεγάλων λάκκων που ίσως ανοίχθηκαν κατά μια μεταγενέστερη περίοδο για την εξόρυξη κρητίδος (κιμωλίας). Στη μια λήψη το 1943 τα τοιχάρια και οι λάκκοι διακρίνονται χάρη στις έντονες φωτοσκιάσεις. Οι πληροφορίες αυτές ενισχύονται και συμπληρώνονται με μια άλλη λήψη το 1982 στην οποία έχουμε την ίδια περιοχή έτσι όπως φαίνεται μετά από όργωμα : τα τοιχάρια εμφανίζονται λευκά (διότι υλικό του υπεδάφους ήρθε στην επιφάνεια, ενώ στην προηγούμενη αεροφωτογραφία διακρίνονταν τα ακραία σημεία της άνω επιφάνειάς τους), συχνά συνοδευόμενα από μαύρα σημάδια.

Στο **Ragnall** του **Nottinghamshire** της **Μ. Βρετανίας** (Riley, 1987), λήφθηκαν δύο διαφορετικές αεροφωτογραφίες της περιοχής. Με τη συγκριτική μελέτη και των δύο αποκαλύφθηκαν τα ίχνη του εγκαταλελειμμένου χωριού του Whimpton. Και στις δύο τηλεπισκοπικές απεικονίσεις παρουσιάζεται η ίδια περιοχή. Εκείνο που διαφοροποιείται είναι η εποχή και η ώρα λήψης, γεγονός που παίζει σημαντικότατο ρόλο, αφού τονίζονται και αποκαλύπτονται διαφορετικές λεπτομέρειες κάθε φορά.

Στο **Ferrybridge** του **West Yorkshire** στη **Μ. Βρετανία** (Riley, 1987), η συμπληρωματική παρατήρηση αεροφωτογραφιών διαφορετικών περιόδων οδήγησε σε μια πιο ολοκληρωμένη αποκάλυψη ενός μνημείου: η λήψη της 5-8-1981 έδωσε ορισμένα στοιχεία βάσει ιχνών σιτηρών, ενώ η λήψη της 24-3-1982 συμπληρώνει την έρευνα βάσει εδαφικών ιχνών.

Σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της ιεραποστολής **Vieja de la Purisima**, στη **Santa Barbara** της **California** των **Η.Π.Α.** (Tinney, Jensen και Estes, 1977), προκειμένου να αποδοθεί λεπτομερώς σε χάρτη η διαμόρφωση του χώρου πριν την καταστροφή από σεισμό το 1812, χρησιμοποιήθηκαν 37 φωτογραφίες, χρονολογίας από το 1885 μέχρι το 1915, και δύο σετ στερεοσκοπικών αεροφωτογραφιών του 1954, και του 1938. Η μελέτη ξεκινά τον Ιανουάριο του 1975 με προκαταρκτικές έρευνες στην περιοχή για να εντοπισθούν τα θεμέλια των τοίχων των οικοδομημάτων του συγκροτήματος και να συγκεντρωθούν ευρήματα που βρίσκονταν στην επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, δεν ήταν δυνατό να προσδιοριστεί η ακριβής διαμόρφωση του χώρου χωρίς την πραγματοποίηση ανασκαφών. Έτσι αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν παλιές φωτογραφίες της περιοχής προκειμένου να προσδιοριστούν οι θέσεις των κτιρίων και των διαφόρων κατασκευών.

Οι 37 φωτογραφίες από το 1885 μέχρι το 1915 συσχετίστηκαν με σερ στερεοσκοπικών αεροφωτογραφιών του 1954 και του 1938 (που ο χώρος ήταν ακόμη ανέπαφος από νέα οικοδομική δραστηριότητα) κι έτσι προσδιορίστηκαν τα τείχη της ιεραποστολής.

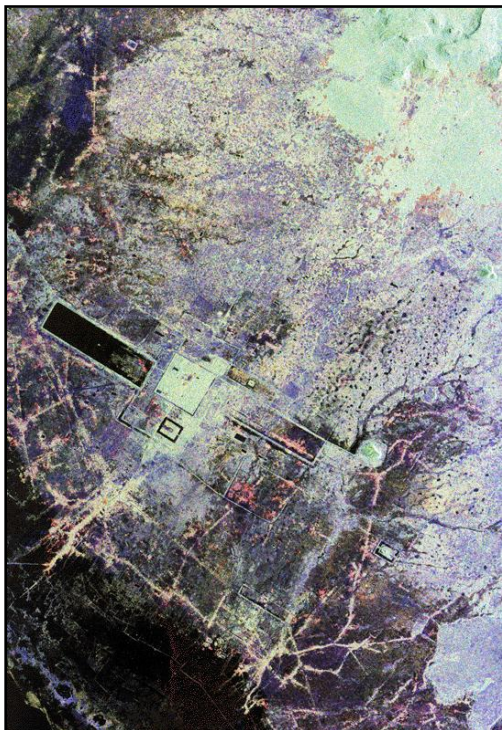
Η **Lille** στην **Alberta** του **Καναδά** (*Forsman,1987*) είναι μια σημαντική ιστορική και αρχαιολογικού ενδιαφέροντος πόλη και περιοχή με ορυχεία, στην οποία δόθηκε προτεραιότητα στις μελέτες του Archaeological Survey of Alberta και του Alberta Remote Sensing Center, λόγω του αδιατάρακτου του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής, της σύνθετης βιομηχανικής και οικιστικής δομής και της εκτεταμένης κατανομής και ποικιλίας καταλοίπων.

Η περιοχή **Peten** στη **Γουατεμάλα** προστατευόμενη σήμερα περιοχή, καθώς αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα τμήματα του πιο εκτεταμένου τροπικού δάσους στην Κεντρική Αμερική, υπήρξε κατά την αρχαιότητα ο τόπος κατοικίας πολλών εκατομμυρίων ανθρώπων της φυλής των Μάγια. Ο Miller (1991), πραγματοποίησε έρευνα με στόχο τον εντοπισμό και προστασία αρχαιολογικών θέσεων στην περιοχή αλλά και την ταυτόχρονη προστασία του τροπικού δάσους από τις σημερινές ανθρώπινες καταστροφικές επεμβάσεις, χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικές απεικονίσεις του Θεματικού Χαρτογράφου Landsat, που λήφθηκαν κατά τα έτη 1986-1997. Από την επεξεργασία των δεδομένων ιδιαίτερα αποτελεσματική φάνηκε η διαίρεση του καναλιού 4 (εγγύς υπέρυθρο) με το κανάλι 3 (κόκκινο) : κάτω από την πυκνή βλάστηση της αρχαιολογικής θέσης *Mirador* αποκαλύφθηκαν αρχαίες κατασκευές ναών και ίχνη μονοπατιών των Μάγια, παράλληλα με φυσικά γεωλογικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 3: Απόδοση θέσεων αρχαίων ναών και πιθανού οδικού δικτύου στη θέση *Mirador* στη Γουατεμάλα (Πηγή:http://wwwghcc.msfc.nasa.gov./archeology/peten_tm.htm)

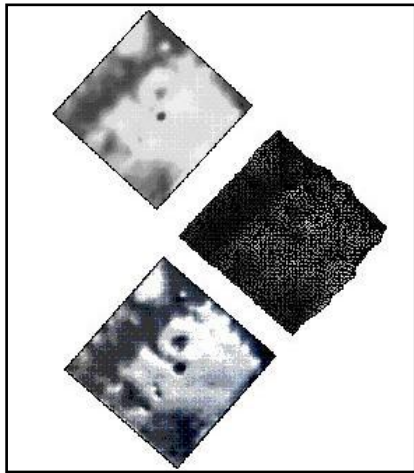
Η πόλη **Angkor** της **Καμπότζης** (<http://www.jpl.nasa.gov/sircxsar>) περιλαμβάνει ένα σύμπλεγμα 60 περίπου αρχαίων ναών που χρονολογούνται τον 9ο μ.Χ. αιώνα. Σήμερα, το σύμπλεγμα αυτό είναι κρυμμένο κάτω από τα πυκνά φυλλώματα ενός παρθένου δάσους, καθιστώντας έτσι τις επίγειες έρευνες των καταλοίπων της αρχαίας πόλης εξαιρετικά δύσκολες. Οι ναοί υπέστησαν καταστροφές από τις καιρικές συνθήκες, τους πολέμους και τους επιδρομείς. Κατάλοιπα ενός εκτεταμένου αρδευτικού συστήματος που σταμάτησε να χρησιμοποιείται εδώ και πολύ καιρό, κέντρισαν το ενδιαφέρον των αρχαιολόγων για τη μελέτη της πόλης αυτής. Η περίπτωση της Angkor είναι από τα καλύτερα παραδείγματα χρήσης λήψεων radar, αφού η ικανότητά του να διαπερνά σύννεφα και βλάστηση το καθιστά καταλληλότερο για τη μελέτη τέτοιων περιοχών. Το υδρολογικό σύστημα διακρίνεται με εξαιρετική σαφήνεια στις απεικονίσεις (1994, radar SIR-C/X-SAR, διαστημικός πύραυλος Endeavour), ενώ μια προκαταρκτική ανάλυση αποκάλυψε την πιθανότητα ύπαρξης μεγάλων εκτάσεων οργανωμένης κατοίκησης στα βόρεια του σημερινού αρχαιολογικού πάρκου.



Εικόνα 4: Απεικόνιση ραντάρ στη πόλη Angkor της Καμπότζη.

(Πηγή: <http://www.jpl.nasa.gov/radar/sircxsar/sc-angko.gif>)

Η γεωφυσικός του Κρατικού Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια, E. Ambos, χρησιμοποίησε μικροκυματικό radar (**Ground Penetrating Radar – G.P.R.**) προκειμένου να εντοπίσει τα αρχαιολογικά κατάλοιπα του αρχαίου οχυρού **Navan** στη **Βόρειο Ιρλανδία** (<http://www.spie.org/web/oer/july/jul00/cover1.html>). Έτσι ανιχνεύτηκαν θαμμένα τείχη.



Εικόνα 5: Αποτέλεσμα γεωφυσικής διασκόρπισης της περιοχής οχυρού Navan στη Βόρειο Ιρλανδία

(Πηγή: <http://www.saa.org/Portals/0/SAA/publications/SAAbulletin/15-1/SAA11.html>)

Παρόμοια έρευνα πραγματοποιήθηκε και στην περιοχή του **El Salvador** (<http://www.spie.org/web/oer/july/jul00/cover1.html>) για τη μελέτη της θέσης ενός αρχαίου οικισμού, θαμμένου σήμερα κάτω από ηφαιστειακό υλικό, σε βάθος 5 μέτρων. Σε υγρότερα κλίματα οι αρχαιολόγοι χρησιμοποιούν δορυφορικές εικόνες για τη μελέτη τύπων βλάστησης που υποδηλώνουν την ύπαρξη αρχαίων οικισμών. Για παράδειγμα, οι αρχαιολόγοι του πανεπιστημίου του Delaware χρησιμοποίησαν εικόνες Landsat για τον εντοπισμό σημείων όπου υπήρξαν καταυλισμοί Ινδιάνων, εξετάζοντας την υγρασία του εδάφους, την έκθεση στον ήλιο και την κλίση. Η έρευνα αυτή πέτυχε και εντοπίστηκαν 55 τέτοια σημεία.

Στο **Delaware** των **Η.Π.Α.** λοιπόν (*EOSAT, 1991*), με αφορμή την προοπτική κατασκευής μιας οδού τεσσάρων λωρίδων ταχείας κυκλοφορίας, χρηματοδοτήθηκε το αρχαιολογικό τμήμα του πανεπιστημίου του Delaware, προκειμένου να χαρτογραφήσει την όλη περιοχή, εντοπίζοντας πιθανές αρχαιολογικές θέσεις. Ήταν γνωστό ότι η υπό μελέτη περιοχή είχε κατοικηθεί πριν από 12.000 περίπου χρόνια από Ινδιάνους κυνηγούς και τροφосуλλέκτες.

Ήταν επίσης γνωστό ότι αν και το κλίμα αυτής της περιοχής είχε μεταβληθεί σημαντικά από τότε, ωστόσο κάποια χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος είχαν παραμείνει αμετάβλητα κι έτσι ήταν δυνατή η ταύτιση ορισμένων θέσεων κατάλληλων για κατοίκηση από κυνηγούς και τροφοσυλλέκτες. Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα Landsat, που κάλυπταν 240 τετραγωνικά μίλια. Με αυτά έγινε προσπάθεια να εντοπισθούν περιοχές με αυξημένη υγρασία, και ειδικότερα περιοχές κοντά σε πηγές και τρεχούμενα νερά. Τα σημεία αυτά έχουν συνήθως πλούσια βλάστηση. Από τη στιγμή λοιπόν που εντοπίστηκαν τέτοιες περιοχές, ήταν δυνατή κατόπιν μια περαιτέρω ταξινόμησή τους ως δυνατών και πιθανών τόπων καταυλισμών Ινδιάνων, βάσει κάποιων χαρακτηριστικών που μπορούσαν ν' ανιχνευθούν στις εικόνες Landsat.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα έρευνα στο ίδιο πνεύμα της μελέτης της σχέσης και αλληλεπίδρασης αρχαιολογικών οικισμών και κατασκευών με τον περιβάλλοντα χώρο – είναι αυτή που πραγματοποιήθηκε από ομάδα αμερικανών επιστημόνων διαφορετικών ειδικοτήτων στην περιοχή της κοιλάδας του ποταμού **Arroux** στην **Βουργουνδία** της **Γαλλίας** και που ξεκίνησε εδώ και δύο περίπου δεκαετίες (<http://deathstar.rutgers.edu/projects/france/france.html>). Η ομάδα πραγματοποιεί την έρευνα από την οπτική μιας ολοκληρωμένης ανάλυση της αλληλεπίδρασης πολιτισμού - περιβάλλοντος κατά το πέρασμα του χρόνου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αναλύεται μια περίοδος μεγαλύτερη των 2.000 ετών. Στη συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήθηκαν ποικίλες τεχνικές τηλεπισκόπησης.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η χρήση δορυφορικών απεικονίσεων IKONOS-2 σε έρευνα του Πανεπιστημίου της Σιένα που διεκπεραίωσε ο κ. Stefano Campana για τον εντοπισμό αρχαιολογικών θέσεων σε δύο διαφορετικού τύπου, από γεωλογικής άποψης, περιοχές: την επίπεδη περιοχή της επαρχίας του Λιβόρνο και τη λοφώδη περιοχή στα νότια της επαρχίας της Σιένα. Η μελέτη και τα αποτελέσματα της ψηφιακής επεξεργασίας των απεικονίσεων IKONOS-2 αποκάλυψαν ίχνη αρχαιολογικών καταλοίπων τα οποία δεν είχαν εντοπισθεί κατά τη διάρκεια της μελέτης αεροφωτογραφιών. (http://www.lapetlab.it/testi/Ikonos_2.pdf).

Οι ερευνητές R. Lasaponara, A. Lanorte, R. Coluzzi και N. Masini στη προσπάθειά τους για τον εντοπισμό αρχαιολογικών καταλοίπων στην περιοχή του Metaronto στην Ιταλία, χρησιμοποίησαν δορυφορικές απεικονίσεις Quickbird από την ψηφιακή επεργασία των οποίων εντοπίστηκε ένα δίκτυο οριοθέτησης αγροτεμαχίων και συστήματος άρδευσης των

εκτάσεων αυτών κατά την αρχαιότητα. (<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-C53/papers/FPL006.pdf>)

Αξιοσημείωτη είναι και η έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα, και συγκεκριμένα στην Ανατολική Μακεδονία για τον εντοπισμό νέων αρχαιολογικών θέσεων: βασικός στόχος της διερεύνησης ήταν ο εντοπισμός ιχνών που θα αποκάλυπταν την αρχαία *Εγνατία Οδό*, η οποία διερχόταν από δύο εξαιρετικά σημαντικές πόλεις κατά την αρχαιότητα, την Αμφίπολη και του Φιλίππους. Για την υλοποίηση της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν παλαιότερες και νεότερες αεροφωτογραφίες καθώς και δορυφορικές εικόνες Quickbird-2 και WorldView-1 σε συνδυασμό με ιστορικούς και σύγχρονους χάρτες. Τα αποτελέσματα ενσωματώθηκαν σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (G.I.S.) το οποίο αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την περαιτέρω μελέτη της περιοχής. Η έρευνα αυτή παρουσιάστηκε στο 22ο Συμπόσιο CIPA στο Κυότο της Ιαπωνίας, τον Οκτώβριο του 2009. (Kaimaris, D, 2009).

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ακόμη μία έρευνα στην οποία βασίζεται και η εν λόγω μελέτη, η οποία πραγματοποιήθηκε στη Θεσσαλία με στόχο τον εντοπισμό Νεολιθικών θέσεων. Χρησιμοποιήθηκαν ποικίλες δορυφορικές απεικονίσεις (Landsat ETM, ASTER, EO1-HYPERION και IKONOS) προκειμένου να διαπιστωθεί ποιες είναι οι καταλληλότερες για τον εντοπισμό τέτοιου τύπου αρχαιολογικών καταλοίπων (<http://www.mdpi.com/1424-8220/9/2/1167>).

Γενικότερα, οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις αποκαλύπτουν κατ' αρχήν τις σχέσεις μιας αρχαιολογικής περιοχής με το φυσικό της περιβάλλον. Επίσης αποκαλύπτουν οικισμούς που σήμερα έχουν εξαφανιστεί, το δίκτυο των εσωτερικών οδών του οικισμού καθώς και τη θέση ορισμένων δημόσιων οικοδομημάτων. Σε περίπτωση οικισμών που κατοικούνται διαρκώς, ο φωτοερμηνευτής αναδημιουργεί την ιστορία και την εξέλιξη του οικισμού, αποκαλύπτει τον αρχικό πυρήνα του, καθώς και την ένταση της ανάπτυξης κάτω από το πρίσμα της προοπτικής μιας συνεχούς εξέλιξης (Vouzaksakis, C., 2009).

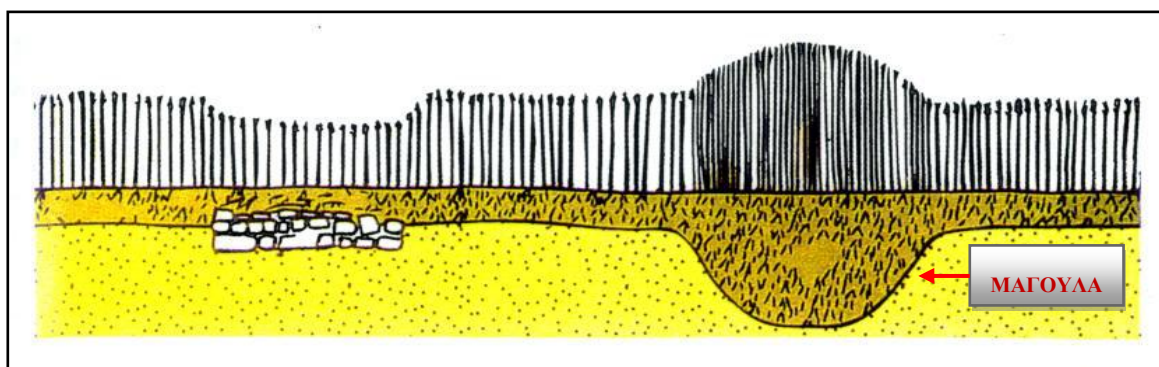
Γενικά η τηλεπισκοπική απεικόνιση (αναλογική ή ψηφιακή), αποτελεί ένα στοιχείο πρακτικά ανεξάντλητο. Θα πρέπει να αφυπνίζει ένα νέο τρόπο σκέψης, απελευθερωμένο από συγκεκριμένες βιβλιογραφικές γνώσεις και να οδηγεί τον ερευνητή σε μια καθαρά προσωπική σκέψη και συνεπώς σε αληθινές ανακαλύψεις.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Στο κεφάλαιο αυτό προσθέτονται ορισμένα στοιχεία και επεξηγήσεις για καλύτερη κατανόηση όσων θα ακολουθήσουν. Γίνεται μια μικρή αναφορά στις μαγούλες τις διαφοροποιήσεις της βλάστησης, γνωστά και ως crop marks και στη συνέχεια παρουσιάζεται εν συντομία ο ορισμός των δεικτών βλάστησης οι χρήσεις τους , και τα χαρακτηριστικά τους.

2.1 Μαγούλες

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία (www.wikipedia.org) οι μαγούλες είναι μικροί λοφίσκοι, που ανάλογα με τα θαμμένα αρχαιολογικά κατάλοιπα που υπάρχουν η βλάστηση διαφοροποιείται (crop marks). Πολύ χρήσιμες στην εξαγωγή πληροφορίας σχετικής με τη βλάστηση και την αναγνώριση των μαγούλων (μικρών λοφίσκων), είναι οι αλγεβρικές πράξεις μεταξύ του εικόνων της ορατής και υπέρυθρης ζώνης. Οι λεγόμενοι δείκτες βλάστησης, χρησιμεύουν στον χαρακτηρισμό της βλάστησης και της ποιότητας της βιομάζας. Βασίζονται στα διαφορετικά φασματικά χαρακτηριστικά που εμφανίζει η υγιής βλάστηση στο ορατό και στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος.



Εικόνα 6: Απεικόνιση Μαγούλας

(Πηγή: Renfrew C, 1996)

Το πιο πάνω σχέδιο αποδίδει τον τρόπο με τον οποίο η υπερκείμενη βλάστηση επηρεάζεται από τα θαμμένα αρχαιολογικά κατάλοιπα: θετικά ίχνη φυτών δημιουργούνται στα σημεία όπου το έδαφος έχει μεγαλύτερο βάθος (π.χ. ύπαρξη τάφρου), ενώ αρνητικά ίχνη φυτών δημιουργούνται στα σημεία όπου το έδαφος έχει μικρότερο βάθος (π.χ. αρχαιολογικά κατάλοιπα τοίχων).

Έχοντας ως άξονες μελέτης συγγράμματα (Riley, 1987 και Chevallier, 1965,), πληροφορούμαστε τα ακόλουθα: Απαραίτητη στην ανίχνευση αρχαιολογικών θέσεων, διά της μεθόδου της φωτοερμηνείας και τηλεπισκόπησης, είναι η γνώση των γεωλογικών δεδομένων της υπό μελέτη περιοχής, δεδομένου ότι θα συμβάλει ουσιαστικά στην αποδοχή ή όχι από τον ερευνητή, στην περίπτωση εντοπισμού κάποιων ιχνών, των συγκεκριμένων ιχνών ως αποκαλυπτόντων αρχαιολογικά κατάλοιπα, δεδομένου ότι θα είναι πλέον γνωστή η αλληλεξάρτησή τους με το φυσικό περιβάλλον και την εξέλιξή του.

2.1.1 Κατηγορίες περιοχών με αρχαιολογικά κατάλοιπα – ύπαρξη μαγούλων

Πολύ γενικά, οι περιοχές με αρχαιολογικά κατάλοιπα θα μπορούσαν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: (1) σε εκείνες οι οποίες φέρουν αρχαιολογικά κατάλοιπα μικρής κλίμακας (μεγέθους) και ερευνώνται καλύτερα με ένα συνδυασμό λήψης τηλεπισκοπικής απεικόνισης και επίγειου ελέγχου, και (2) εκείνες στις οποίες τα αρχαιολογικά κατάλοιπα είναι πολύ μεγαλύτερης κλίμακας και αποκαλύπτονται κυρίως χάρη στις αγροτικές καλλιέργειες, δεδομένου ότι ερευνώνται καλύτερα από μεγάλο ύψος.

Τα είδη ιχνών ικανών να αποκαλύψουν αρχαιολογικές θέσεις είναι επίσης δυνατό να διακριθούν σε δύο άλλες κατηγορίες:

1. Τα διαρκή ίχνη: εμφανίζονται με τρόπο ξεκάθαρο και σταθερό στην επιφάνεια του εδάφους, τις περισσότερες φορές λόγω ανωμαλιών του αναγλύφου, περισσότερο ή λιγότερο έντονων. Αν και ορατά σε όλες τις εποχές αυτά τα ίχνη ωστόσο ανιχνεύονται με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα το χειμώνα. Σε καλλιεργήσιμα εδάφη δεν καλύπτονται την εποχή αυτή από καμία καλλιέργεια. Σε εδάφη που καλύπτονται από δάση, τα κλαδιά, οι σκιές των κορμών των δέντρων και το στρώμα των νεκρών φύλλων δημιουργούν ένα φυσικό καμουφλάζ το οποίο είναι δύσκολο να διαπεραστεί.

Ωστόσο είναι δυνατό να επιτευχθούν θετικά αποτελέσματα, όπως προκύπτει από έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 1966 στις περιοχές Alesia, Les Bolards, Mirebeau και Vix στη Γαλλία, με αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν σε διάστημα 8 ετών με ποικίλες τεχνικές (Goguey, 1966), κάτω από δύο διαφορετικές συνθήκες: πριν αρχίσει να αναπτύσσεται η βλάστηση και σε περιόδους χιονοπτώσεων.

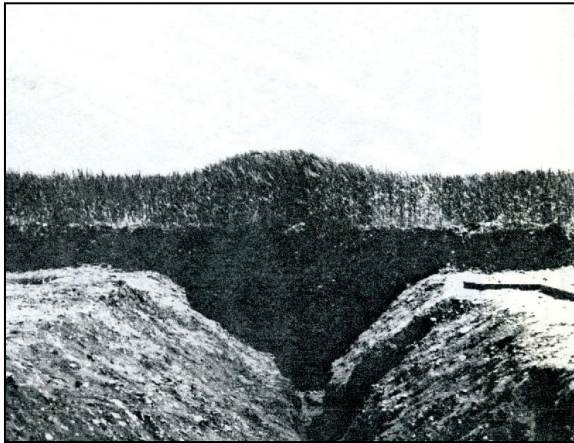
2. Τα εποχιακά ίχνη : αποτελούν τα πιο πολυάριθμα και ενδιαφέροντα ίχνη στις καλλιεργήσιμες περιοχές, αποκαλύπτοντας αρχαιολογικά κατάλοιπα ολότελα άγνωστα και συχνά ανέγγιχτα αφού είναι προστατευμένα (λόγω του ότι είναι θαμμένα). Είναι δυνατό να αποτελέσουν τους μάρτυρες της ύπαρξης ενός ευρύτατου φάσματος ειδών αρχαιολογικών καταλοίπων, που ξεκινά από την προϊστορική τάφρο και φτάνει μέχρι ολόκληρη πόλη. Δίνουν τις πιο συγκεκριμένες τοπογραφικές πληροφορίες: χάρη σε αυτά μπορεί με την αεροφωτογράφιση να καταγραφεί το πλήρες σχέδιο ενός οικοδομήματος μέσα στο γεωγραφικό του περιβάλλον. Δυστυχώς εμφανίζονται σπάνια και πάντα πολύ φευγαλέα. Μέσα σε 8 χρόνια (σύμφωνα με την έρευνα του 1966 που προαναφέρθηκε) τα περισσότερα από αυτά που ανιχνεύθηκαν εμφανίστηκαν μόνο μια με τρεις φορές και η διάρκειά τους δεν ξεπέρασε μερικές ώρες ή γύρω στις 8 μέρες.

2.1.2 Κατηγορίες ανάλογα με κλιματολογικές συνθήκες περιοχής

Ανάλογα με τις συνήθειες κλιματολογικές , οι οποίες μπορούν να διαταράξουν το βάθος υπάρχουν οι εξής κατηγορίες:

1. **Αρχαιολογικά κατάλοιπα κάτω από την επιφάνεια του νερού**, σε λίμνες ή στη θάλασσα, που μπορούν να διακριθούν από διαφορές στο χρώμα ή στον τόνο, και μπορούν να φωτογραφηθούν επιτυχώς, αρκεί το νερό που τα καλύπτει να είναι ρηχό, καθαρό και ήρεμο, όπως στην περίπτωση του Starnberger See, Bavaria, Δ. Γερμανία (Riley, 1987).
2. **Εδαφικά – χρωματικά ίχνη σε γυμνό έδαφος, σε περιοχές μη καλλιεργήσιμης γης :** σε άγονες περιοχές με περιορισμένη βλάστηση όπου το χρώμα της επιφάνειας του εδάφους είναι σχετικά ομοιόμορφο, αυτό το χρώμα της επιφάνειας του εδάφους αποτελεί το σημαντικότερο, αν όχι το μοναδικό, μέσο με το οποίο είναι δυνατό να ανιχνευθούν αρχαίες κατασκευές, οι οποίες διαφοροποιούνται χρωματικά από τον περιβάλλοντα χώρο. Εντοπίζονται ευκολότερα από μεγάλο ύψος και κάτω από κατάλληλες συνθήκες. Σχετικά παραδείγματα έχουμε στις περιοχές Masada/Ισραήλ, κοντά στη Shivta/Negev/Ισραήλ, (Riley, 1987).
3. **Εδαφικά – χρωματικά ίχνη σε γυμνό έδαφος, σε περιοχές καλλιεργήσιμης γης :** όταν μια περιοχή στην οποία βρίσκονται αρχαιολογικά κατάλοιπα αρχίσει να καλλιεργείται, το όργωμα φέρνει στην επιφάνεια εδαφικό υλικό διαφορετικών αποχρώσεων: χρωματικές διαφοροποιήσεις αυτού του τύπου οφείλονται σε διαφορές ορυκτών και

οργανικών περιεχομένων του εδάφους. Όταν το έδαφος στεγνώνει, τα ίχνη αυτά εξαφανίζονται. Παλιές τάφροι διακρίνονται από μαύρες γραμμές εκεί όπου το υλικό από τις επιχώσεις τους έρχεται στην επιφάνεια. Οι μήνες κατά τους οποίους είναι πιθανό να εμφανιστούν εδαφικά ίχνη, εξαρτώνται από τις μεθόδους καλλιέργειας της γης που εφαρμόζονται στις διάφορες περιοχές και για διαφορετικές καλλιέργειες.



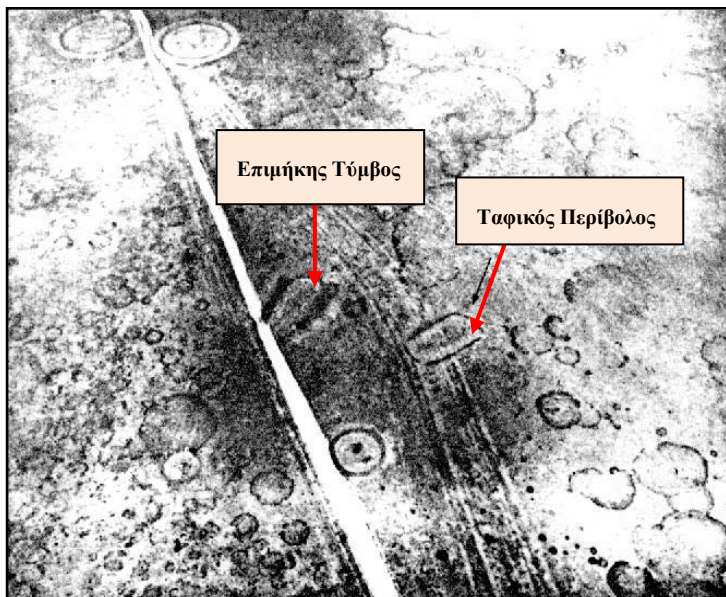
Εικόνα 7: Μαγούλα στη Μ.Βρετανία

Η πιο πάνω εικόνα είναι από το Spong Hill, North Elmham, Norfolk, Μ.Βρετανία: παρουσιάζει την τομή θετικών φυτικών ιχνών σε καλλιέργεια κριθαριού. Τα φυτά αναπτυσσόμενα επάνω από μια Ρωμαιο-Βρετανική τάφρο απέκτησαν πολύ μεγαλύτερο ύψος από τα υπόλοιπα, δημιουργώντας έτσι θετικά ίχνη που τελικά μαρτυρούν την ύπαρξη της θαμμένης τάφρου. (Πηγή: Riley, 1987).

4. **Διαφοροποιήσεις Εδαφών:** για υγρά εδάφη, όταν γυμνό έδαφος στεγνώνει μετά από μια βροχή, διαφορές στην περιεκτικότητά του σε υγρασία προκαλούν συχνά σκουρότερες ή ανοιχτότερες κηλίδες : αύξηση της υγρασίας κάνει το έδαφος σκουρότερο και προκύπτουν μαύρα ίχνη. Είναι αξιοσημείωτο ότι τα υγρά ίχνη είναι συνήθως ευδιάκριτα και σαφή ως προς τη μορφή και δεν είναι τεθλασμένες γραμμές ή γραμμές που να δημιουργούνται από κηλίδες, όπως είναι τα εδαφικά ίχνη που προκύπτουν όταν το όργωμα φέρνει στην επιφάνεια έδαφος και υπέδαφος διαφορετικής σύνθεσης. Ωστόσο δεν υπάρχει αμφιβολία για το ότι σε μερικές περιπτώσεις σκουρόχρωμα ίχνη του τελευταίου τύπου ενισχύονται από υγρά ίχνη, όπως στην περιοχή Behen/Somme/Γαλλία (Riley., 1987).

5. **Ίχνη χιονιού** : οι θέσεις αρχαιολογικών καταλοίπων θαμμένων κάτω από καλλιεργήσιμα εδάφη δηλώνονται συχνά από μαύρες γραμμές λειωμένου χιονιού ή λευκές γραμμές άλιωτου χιονιού. Η πρώτη περίπτωση ιχνών χιονιού (μαύρες γραμμές λειωμένου χιονιού) παρατηρείται νωρίς το χειμώνα, ενώ η δεύτερη (λευκές γραμμές άλιωτου χιονιού) κατά τη διάρκεια του λιώσιματος του χιονιού, μετά από μια μακρά κρύα περίοδο. Τα ίχνη συνήθως δημιουργούνται λόγω των επιχώσεων των θαμμένων τάφρων, όμως μπορεί επίσης να εμφανίζονται και πάνω από θεμέλια τοίχων, όπως στην περιοχή Sweet Side/Grassington/North Yorkshire/M. Βρετανία (Riley, 1987).
6. **Ίχνη σκιών μικροαναγλύφου**: αυτά πιο εύκολα εντοπίζονται από μεγάλο ύψος και κάτω από κατάλληλες συνθήκες. Ανωμαλίες μικροαναγλύφου που διακρίνονται χάρη σε φωτοσκιάσεις έχουν καταγραφεί από τα πρώτα χρόνια της αεροφωτογραφίας. Ακόμη και σε περιοχές όπου υπάρχουν χρωματικές διαφορές, οι φωτοσκιάσεις συντελούν στον τονισμό ορισμένων χαρακτηριστικών του εδάφους. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει επίσης να δοθεί στην κλίση του εδάφους, και κυρίως όπου οι ανωμαλίες μικροαναγλύφου βρίσκονται σε πλαγιές λόφων. Ακόμη, εξαιρετικά σημαντική είναι η επιλογή της ώρας λήψης της αεροφωτογραφίας, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να βρίσκονται στη σωστή γωνία. Όπου η βλάστηση έχει μεγαλύτερο ύψος, διακρίνονται πολύ λιγότερα στοιχεία, αν και καλές λήψεις μπορούν να πραγματοποιηθούν το χειμώνα, μετά την καταστροφή ή ισοπέδωση της βλάστησης από το χιόνι.
7. **Ίχνη λόγω στάσιμων υδάτων** : σε μερικές περιπτώσεις το νερό που πλημμυρίζει μια περιοχή υπογραμμίζει ανωμαλίες του μικροαναγλύφου που μπορεί είτε να προεξέχουν από την επιφάνεια του νερού σε επίπεδο έδαφος είτε το νερό να γεμίζει κοιλάτρες.
8. **Φυτικά ίχνη σε μη καλλιεργήσιμη περιοχή** : οι θέσεις αρχαιολογικών ιχνών είναι ακόμη δυνατό να δηλώνονται από διαφορές στη βλάστηση που αναπτύσσεται πάνω από αυτά. Οι διαφορές αυτές ποικίλλουν ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες : σε εύκρατες χώρες το χορτάρι μπορεί να είναι πιο πράσινο στη βάση των τάφρων και ανοιχτότερο στις πλευρές των τάφρων, ενώ σε ορεινές περιοχές διαφορές στις θέσεις των τμημάτων γης με διαφορετικά είδη βλάστησης είναι δυνατό να αποκαλύπτουν παλαιά τείχη.
9. **Φυτικά ίχνη σε καλλιεργήσιμη περιοχή** : ο σπουδαιότερος τρόπος ανίχνευσης θαμμένων καταλοίπων σε καλλιεργήσιμη γη βασίζεται στην παρατήρηση των επιδράσεών τους στη βλάστηση που αναπτύσσεται πάνω από αυτά. Θαμμένες τάφροι και επιχώσεις λάκκων ευνοούν την ανάπτυξη των φυτών, ενώ θαμμένα θεμέλια τοίχων ή άλλες κατασκευές που αποτελούν εμπόδια για τις ρίζες, έχουν αντίθετη επίδραση.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τα φυτικά ίχνη εξαρτώνται από το είδος της καλλιέργειας και την περίοδο σποράς, τον τύπο του εδάφους και τις βροχοπτώσεις. Για περιοχές με μεγαλύτερη βλάστηση χρησιμοποιείται ο όρος *θετικά ίχνη* : είναι κατά κανόνα πιο σκούρα πράσινα, ψηλότερα και παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα (αν και όλα αυτά τα χαρακτηριστικά δεν είναι απαραίτητα να εμφανίζονται σε κάθε περίπτωση). Για περιοχές με πιο ισχνή βλάστηση χρησιμοποιείται ο όρος *αρνητικά ίχνη* : εδώ τα φυτά είναι πιο ασθενικά, έχουν ανοιχτότερο πράσινο χρώμα και μικρότερη πυκνότητα. Σημαντικές διαφορές μπορούν να παρατηρηθούν ανάμεσα σε ίχνη που καταγράφηκαν στην ίδια περιοχή κατά διαφορετικά έτη και σε γειτονικές περιοχές κατά το ίδιο έτος. Μια περιοχή στην οποία μελετώνται φυτικά ίχνη πρέπει να παρακολουθείται για πολλά έτη προκειμένου να εξασφαλισθεί το ότι όλα τα τμήματα έχουν παρατηρηθεί κάτω από τις σωστές συνθήκες. Η ανίχνευση επομένως και καταγραφή φυτικών ίχνων είναι πολύ πιο χρονοβόρα.



Εικόνα 8: Τύμβος και ταφικός περίβολος στη Μ. Βρετανία

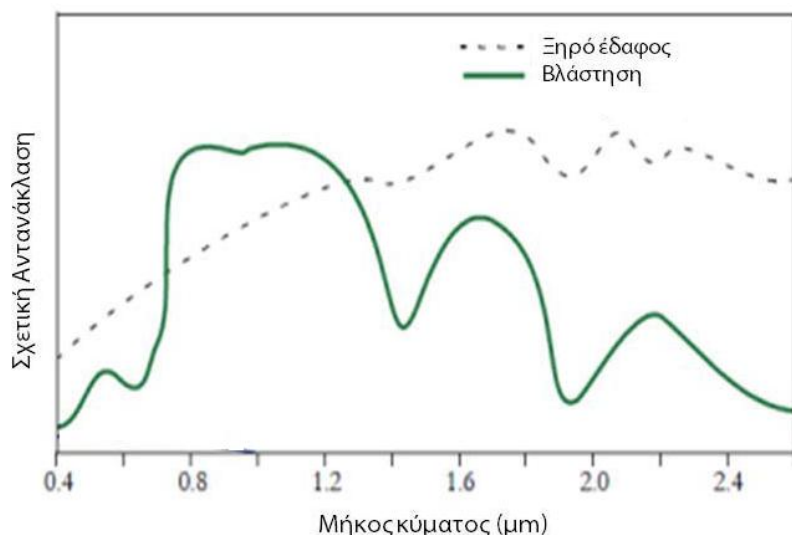
(Πηγή: Riley, 1987)

Η παραπάνω εικόνα αφορά την περιοχή Normanton Down, Wilsford cum Lake, Wiltshire, Μ.Βρετανία : ένας επιμήκης τύμβος, ένας ταφικός περίβολος (υποδεικνύεται με βέλος στην εικόνα) και τέσσερις κυκλικοί τύμβοι αποκαλύπτονται στη συγκεκριμένη αεροφωτογραφία χάρη σε φυτικά ίχνη χόρτου (συγκεκριμένα, οι τάφροι γύρω από τον τύμβο αποδίδονται με σκουρότερους τόνους, ενώ το υπερυψωμένο τμήμα του τύμβου με ανοιχτότερους). Τα πολυάριθμα μαύρα ίχνη ποικίλων μεγεθών και ακανόνιστων σχημάτων είναι χαρακτηριστικοί σχηματισμοί, που συναντώνται σε αρχαίους βοσκότοπου.

2.2 Δείκτες Βλάστησης

Οι δείκτες βλάστησης (vegetation index) είναι ποσοτικές εκφράσεις οι οποίες υπολογίζονται από τις τιμές ακτινοβολίας των εικονοστοιχείων (pixel) των δορυφορικών δεδομένων και σχετίζονται κυρίως με την κατάσταση της βλάστησης ή τη βιομάζα. Η συσχέτιση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και των δεικτών βλάστησης αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της παρακολούθησης του περιβάλλοντος με τηλεπισκόπηση και έχει μελετηθεί ευρέως (Tucker, 1979, Jackson et al., 1983, Tucker et al., 1991). Η χρήση των δεικτών βλάστησης στην τηλεπισκόπηση βασίζεται στο εξής γεγονός: Όταν το φύλλωμα που περιέχει χλωροφύλλη αλλοιώνεται, τότε η αναλογία κόκκινης και της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας αλλάζει (Gong & Xu, 2003).

Με τους δείκτες βλάστησης υπολογίζονται οι τιμές ακτινοβολίας της βλάστησης και χρησιμοποιούνται ως μέσο παρακολούθησης της βλάστησης καθώς και για διαχρονικές συγκρίσεις.



Εικόνα 9: Φασματική υπογραφή βλάστησης σε σχέση με το έδαφος

(Πηγή: Χατζημιτσής, 2010)

Οι περισσότεροι δείκτες βλάστησης βασίζονται στο γεγονός ότι η υγιής βλάστηση παρουσιάζει μεγάλη ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (VNIR) και μικρή στο κόκκινο (Red), αντίθετα με το γυμνό έδαφος που εμφανίζει κάποια σταθερότητα. Επομένως δημιουργώντας την αναλογία VNIR/Red η βλάστηση θα εμφανίσει μεγάλες τιμές ενώ το γυμνό έδαφος μικρότερες.

Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται συχνά ως ποιοτικά εργαλεία για τη χαρτογράφηση της βλάστησης, αν και σ' αυτή την περίπτωση πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη η γωνία του ήλιου και του αισθητήρα του δορυφόρου εξ' αιτίας των φαινομένων σκίασης που παρατηρούνται. Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται και ως ποσοτικά εργαλεία για την ταξινόμηση μίας εικόνας, για το διαχωρισμό των εκτάσεων με βλάστηση και χωρίς βλάστηση και ως βοηθητικά εργαλεία για τον ακριβέστερο καθορισμό των διαφόρων τύπων και πυκνοτήτων βλάστησης (Campbell, 2002). Επιπλέον, σημαντική είναι και η χρησιμοποίησή τους σε διάφορα χρονικά διαστήματα για την παρακολούθηση της βλάστησης στις εποχές του χρόνου ή στις συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών ετών όσον αφορά την υγεία της βλάστησης την ποσότητα και την κατανομή της. Οι δείκτες βλάστησης έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην παρακολούθηση της βλάστησης, επειδή συσχετίζονται με διάφορες παραμέτρους που περιγράφουν την κατάσταση της βλάστησης, όπως: ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), η φαινολογία της βλάστησης, το κλάσμα της ενεργού φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας που απορροφάται από τη βλάστηση (FAPAR), την πυκνότητα της βλάστησης, την ξηρότητα και την υγεία της φυσικής και διαχειριζόμενης βλάστησης.

Σύμφωνα με τον Jensen (2005) ένας δείκτης βλάστησης πρέπει να: (α) Μεγιστοποιεί την ευαισθησία στις βιοφυσικές παραμέτρους των φυτών. Προτιμότερο δε είναι να έχει γραμμική εξάρτηση με τις βιοφυσικές παραμέτρους και να έχει ένα μεγάλο εύρος από καταστάσεις της βλάστησης και να διευκολύνει επικύρωση και βαθμονόμηση του δείκτη, (β) κανονικοποιεί ή να μοντελοποιεί εξωτερικές επιρροές όπως τη γωνία του ήλιου, τη γωνία του αισθητήρα και την ατμόσφαιρα για συνεπείς χωρικές και χρονικές συγκρίσεις, (γ) κανονικοποιεί εσωτερικές επιρροές όπως επιπτώσεις από την ποικιλομορφία των κομών των δέντρων, συμπεριλαμβάνοντας την τοπογραφία (κλίση και έκθεση στον ορίζοντα), διαφοροποιήσεις που οφείλονται στο έδαφος και να ξεχωρίζουν την ξυλώδη από την ξηρή βλάστηση και (δ) να είναι συνδεδεμένος με κάποιες ειδικές μετρήσιμες βιοφυσικές παραμέτρους όπως η βιομάζα, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας για να μπορούν να επαληθευτούν από επίγειες μετρήσεις και να γίνει έλεγχος της ποιότητάς τους.

Οι δείκτες βλάστησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν ή να ανιχνεύσουν διάφορα χαρακτηριστικά της βλάστησης όπως: Ανάλυση χωρικής κατανομής της βλάστησης, ανίχνευση διαφορών γεγονότων (π.χ. ξηρασία, έξαψη της βλαστητικής δραστηριότητας μετά

από βροχοπτώσεις κ.τ.λ.), το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index – LAI), το ποσοστό κάλυψης της υγιούς βλάστησης (Fractional Vegetation Cover), την ακτινοβολία που απορροφάται ως ενέργεια για τη φωτοσύνθεση και την παραγωγή των καλλιεργειών, τα αποθέματα και τη ροή του άνθρακα, την ανίχνευση των πρόσφατων βροχοπτώσεων, και την ανίχνευση αρχαιολογικών καταλοίπων.

Η έρευνα σήμερα γύρω από τους δείκτες βλάστησης εστιάζεται :

- (α) στην εκτίμηση της ικανότητάς τους να καθορίζουν τις βιολογικές ιδιότητες των φυτών,
- (β) στο ρόλο τους ως χαρτογραφικά εργαλεία για να διαχωρίσουν περιοχές με βλάστηση από άλλες χωρίς βλάστηση και
- (γ) στη βελτίωση των μαθηματικών τους τύπων, έτσι ώστε να είναι προσαρμοσμένοι για χρήση σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται μερικοί από τους πιο σημαντικούς και ευρέως διαδεδομένους δείκτες βλάστησης που συναντιούνται σήμερα στη διεθνή βιβλιογραφία:

2.2.1 Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης Διαφοράς (NDVI)

Ο δείκτης βλάστησης NDVI, είναι από τους παλαιότερους, πιο γνωστούς και πιο συχνά χρησιμοποιούμενους δείκτες βλάστησης. Είναι σχεδόν αναλλοίωτος κάτω από την επίδραση διαφόρων συνθηκών, λόγω του κανονικοποιημένου τύπου του και της υψηλής απορρόφησης της ανακλώμενης ακτινοβολίας που παρουσιάζει στις περιοχές του φάσματος όπου υπάρχει χλωροφύλλη. Όμως, κάτω από συνθήκες πυκνής βλάστησης και όταν ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας - Leaf Area Index (LAI) παίρνει μεγάλες τιμές, μπορεί να πάθει κορεσμό σήματος (saturation) στις τιμές του κι έτσι να μην αυξάνεται ανάλογα με τη αύξηση της χλωροφύλλης. Επίσης είναι πολύ ευαίσθητος στις μεταβολές της βλάστησης του υπέρυθρου και η υποβάθμιση του σήματός του γίνεται πιο έντονη όταν υπάρχουν συνθήκες υψηλής βιομάζας (Huete, 1988). Παίρνει τιμές από -1 έως +1, όμως οι συνήθεις τιμές που εμφανίζει για την υγιή βλάστηση είναι από +0.2 έως +1 (Rouse et al, 1973, Tucker, 1979, Jackson, 1983, Sellers, 1985). Ο μαθηματικός τύπος του δείκτη αυτού είναι ο παρακάτω:

Όπου: p είναι η ανακλώμενη ακτινοβολία

$$NDVI = \frac{pNIR - pRED}{pNIR + pRED}$$

Εξίσωση 1: Υπολογισμός δείκτη NDVI

Αργότερα διαπιστώθηκε ότι ο NDVI είναι συνδεδεμένος με πολλές ιδιότητες των φυτών. Σε πολλές περιπτώσεις εξακολουθεί να είναι χρήσιμος για τον προσδιορισμό της κατάστασης της υγείας των φυτών, να παρουσιάζει φαινομενικές αλλαγές, την εκτίμηση της πράσινης βιομάζας και της απόδοσης των καλλιεργειών, καθώς και σε άλλες εφαρμογές.

Ωστόσο, ο NDVI έχει ιδιαίτερες αδυναμίες. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα λεπτά σύννεφα μπορούν να επηρεάσουν τον υπολογισμό του NDVI όταν χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα. Όταν η κάλυψη βλάστησης είναι χαμηλή, ότι είναι κάτω από την κόμη της βλάστησης συμβάλλει στο καταγραμμένο σήμα ανάκλασης.

Αυτό μπορεί να είναι γυμνό έδαφος, κατάλοιπα βλάστησης ή κάποιο άλλο είδος βλάστησης. Καθένα από αυτά τα έχει ιδιαίτερη και διαφορετική φασματική απόκριση από την βλάστηση που μελετάται.

2.2.2 Δείκτης Βλάστησης EVI

Ο δείκτης βλάστησης EVI αποτελεί μια τροποποίηση του NDVI και δημιουργήθηκε για να δώσει βελτιωμένα αποτελέσματα, χρησιμοποιώντας την ανάκλαση του πιο ευαίσθητου ατμοσφαιρικά μπλε διαύλου για να διορθώσει τον κόκκινο δίαυλο της ακτινοβολίας από τις επιδράσεις των μικροσωματιδίων (aerosols) της ατμόσφαιρας (Kaufman, Y. J. και Tanre, D. 1992). Ο δείκτης αυτός μπορεί να φανεί πιο χρήσιμος στις περιοχές που παίρνει μεγάλες τιμές ο LAI, καθώς ο NDVI μπορεί να πάθει κορεσμό σήματος. Οι τιμές που παίρνει είναι από -1 έως +1 και το σύνηθες εύρος τιμών του για την υγιή βλάστηση από +0,2 έως +1 (Huete et al, 1997). Ο μαθηματικός του τύπος είναι ο παρακάτω:

$$EVI = 2.5 * \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + 6\rho_{RED} - 7.5\rho_{BLUE} + 1} \right)$$

Εξίσωση 2: Υπολογισμός δείκτη EVI

2.2.3 Κάθετος Δείκτης Βλάστησης PVI

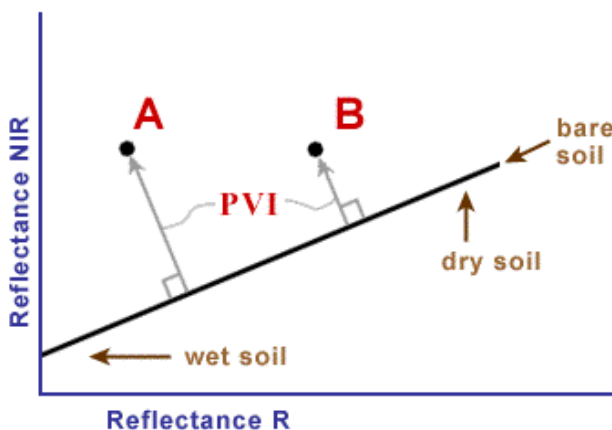
Ο Κάθετος Δείκτης Βλάστησης (PVI) χρησιμοποίησε τα κόκκινα και κοντινά υπέρυθρα κανάλια για να υπολογίσει την κάθετη απόσταση μεταξύ του σημείου της βλάστησης στο δυσδιάστατο χώρο VNIR-Red και της γραμμής εδάφους. Δεδομένου ότι η βλάστηση έχει υψηλότερη ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο και χαμηλότερη στο κόκκινο φάσμα από το υποκείμενο έδαφος, το σημείο βλάστησης θα είναι στην επάνω αριστερή γωνία του δυσδιάστατου χώρου. Καθώς η βλάστηση αυξάνεται σε πυκνότητα, το σημείο βλάστησης θα προχωράει πιο πολύ προς τα πάνω αριστερά, μακριά από τη γραμμή του εδάφους. Η αδυναμία του PVI είναι ότι βασίζεται στην υπόθεση ότι θα υπάρχει μόνο ένας τύπος εδάφους κάτω από τη βλάστηση. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει πάντα, ιδιαίτερα σε μεγάλες περιοχές, όπου συχνά υπάρχει ένα μείγμα από διαφορετικούς τύπους εδαφών (για παράδειγμα ένα μείγμα από χώμα και πέτρες) μέσα σε πολύ μικρό χώρο.

Η ανακλαστικότητα του εδάφους στο κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο μήκος κύματος σε διαφορετικά ποσοστά υγρασίας δίνει τη βασική γραμμή – γραμμή εδάφους για το συγκεκριμένο δείκτη βλάστησης. Στην εικόνα που φαίνεται πιο κάτω το PVI μετράται κάθετα από την αρχική τιμή του εδάφους.

Έτσι, το σημείο A έχει μεγαλύτερο PVI (και ως εκ τούτου, η πυκνότητα της βλάστησης) από το σημείο B. Από μαθηματική άποψη, το μέτρο αυτό αντιπροσωπεύεται από την εξίσωση , όπου το σύμβολο "ρ" αναφέρεται σε ανάκλασης, S αναφέρεται στο έδαφος, V αναφέρεται σε βλάστηση, R δείχνει την κόκκινη ζώνη και NIR δείχνει την εγγύς υπέρυθρη ζώνη.

$$PVI = \sqrt{(\rho_{S, R} - \rho_{V, S})^2 + (\rho_{S, NIR} - \rho_{V, NIR})^2}$$

Εξίσωση 3: Υπολογισμός δείκτη PVI



Εικόνα 10: Γραφική αναπαράσταση εύρεσης δείκτη PVI

2.2.4 Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης (SAVI)

Ο Huete (1988) πρότεινε τον Εδαφικά Προσαρμοσμένο Δείκτη Βλάστησης SAVI, για την μείωση του θορύβου από την ανακλαστικότητα του εδάφους. Ο SAVI έχει προκύψει από τις σχέσεις των δεικτών NDVI και PVI. Ο τύπος εκφράζεται με:

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} (1 + L)$$

Εξίσωση 4: Υπολογισμός δείκτη SAVI

Το L είναι ένας συντελεστής διόρθωσης και η τιμή του εξαρτάται από την κάλυψη της βλάστησης. Για πλήρη κάλυψη από τη βλάστηση λαμβάνει την τιμή μηδέν, με το αποτέλεσμα το SAVI να γίνει ίδιος με τον NDVI. Για πολύ χαμηλή κάλυψη βλάστησης, λαμβάνει την τιμή 1. Ο Huete (1988) πρότεινε ότι η τιμή του 0,5 να χρησιμοποιείται όταν η κάλυψη της βλάστησης είναι άγνωστη, καθώς το 0,5 αντιπροσωπεύει ενδιάμεσο κάλυψη της βλάστησης.

2.3 Εικόνες LANDSAT

Αν και σήμερα υπάρχει μια πληθώρα διαθέσιμων δορυφορικών απεικονίσεων με υψηλής χωρικής, φασματικής και ραδιομετρικής ανάλυσης, η διαθεσιμότητα τέτοιων δεδομένων για αρχαιολογικές έρευνες αποτελεί πολλές φορές ένα αρκετά δύσκολο εγχείρημα. Αυτό οφείλετε στο γεγονός ότι τέτοιες εικόνες έχουν συνήθως υψηλό κόστος το οποίο πολλαπλασιάζεται εάν απαιτούνται διαχρονικές λήψεις εικόνων για την μελέτη των διαφοροποιήσεων της βλάστησης. Απεναντίας, δορυφορικές εικόνες μεσαίας ανάλυσης είναι σήμερα διαθέσιμες δωρεάν, ενώ οι εικόνες τύπου Landsat έχουν αποκτήσεις και ιστορική αξία, ιδιαίτερα σημαντική για την αρχαιολογική έρευνα.

Οι δορυφορικές εικόνες LANDSAT αποτελούν τις πιο παλιές εμπορικά διαθέσιμες εικόνες. Ο πρώτος δορυφόρος LANDSAT εκτοξεύτηκε το 1972 και από τότε πέντε συνολικά δορυφόροι έχουν εκτοξευθεί επιτυχώς. Σύντομα αναμένεται να είναι διαθέσιμος και ο έκτος δορυφόρος του εν λόγω διαστημικού προγράμματος.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά τους είναι:

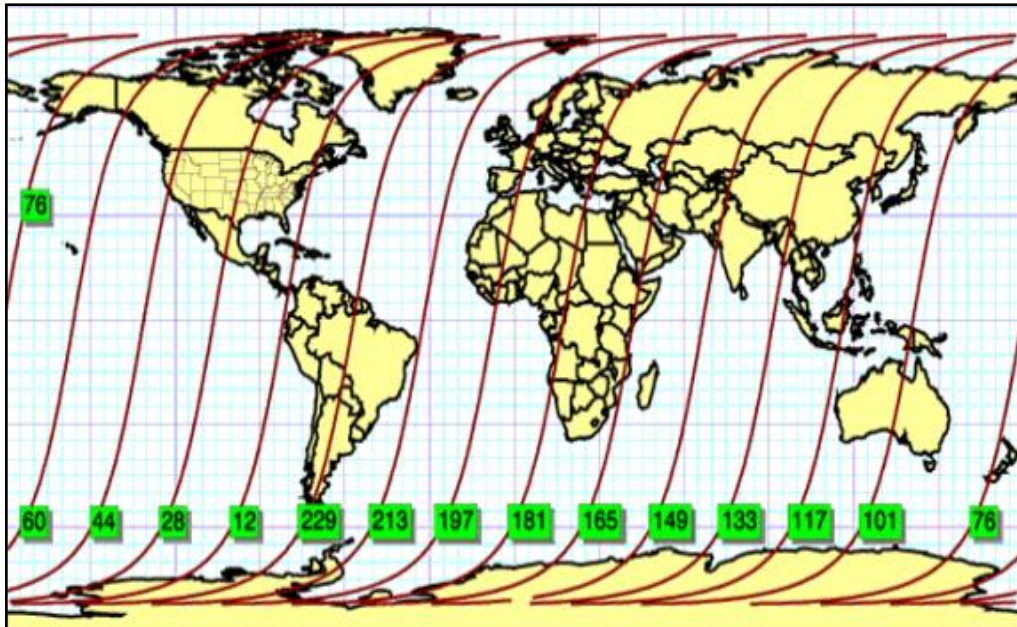
(α) Περισσότερες από 30 συνεχόμενες λήψεις. Το μεγαλύτερο τμήμα της Γης έχει συλλεχθεί περισσότερες από 350 φορές. Για την Κύπρο υπάρχουν πέραν των 120 διαθέσιμων διαθέσιμων εικόνων.(β) Έξι φασματικά κανάλια πολυφασματικής εικόνας σε ανάλυση 30m και ταυτόχρονη λήψη του παγχρωματικού καναλιού σε ανάλυση 15m. (γ) Ένα θερμικό κανάλι σε ανάλυση 60m.

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά όλων των δορυφόρων LANDSAT.

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά δορυφόρου LANDSAT

ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΥΨΟΣ ΤΡΟΧΙΑΣ (Χμ)	ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑ (Ημέρες)	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ
Landsat 1	23/07/1972-06/01/1978	907	18	RBV, MSS
Landsat 2	22/01/1975-05/02/1982	908	18	RBV, MSS
Landsat 3	05/03/1978-07/01/1983	915	18	RBV, MSS
Landsat 4	16/07/1982-1993	705	16	MSS, TM
Landsat 5	1984-σήμερα	705	16	MSS, TM
Landsat 6	1993 (απέτυχε)	705	16	ETM
Landsat 7	1999-σήμερα	705	16	ETM+

Οι δορυφόροι LANDSAT 1, 2 και 3 έπαψαν να στέλνουν ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις στη γη το 1978, το 1982 και το 1983 αντίστοιχα. Ο LANDSAT-6, μετά από αποτυχημένη εκτόξευση, δεν έγινε δυνατό να τεθεί σε τροχιά. Οι δορυφόροι LANDSAT 4, 5 και 7 χρειάζονται 16 ημέρες για μία πλήρη κάλυψη της γης, (ήταν 18 ημέρες για τους LANDSAT-1, 2, 3) και συνεπώς μπορούμε με τον τηλεπισκοπικό δέκτη του ίδιου δορυφόρου να παρακολουθούμε συστηματικά ενδιαφέροντα φαινόμενα και χαρακτηριστικά τα οποία εξελίσσονται ή μεταβάλλονται δυναμικά δια μέσου του χρόνου στη φυσική γήινη επιφάνεια έως και 23 φορές μέσα στη διάρκεια ενός έτους και μάλιστα την ίδια ώρα σε κάθε συγκεκριμένη περιοχή. Οι τροχιές όμως των LANDSAT 4 και 5 έχουν διαφορά φάσης 8 ημερών, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επαναλαμβανόμενη κάλυψη από τους τηλεπισκοπικούς τους δέκτες της ίδιας περιοχής κάθε 8 ημέρες.



Εικόνα 11: Ανάγκη για 16 ημέρες για πλήρη κάλυψη της γης από δορυφόρους LANDSAT 4, 5 και 7
(Πηγή: Ρόκος Δ., 2005)

Όλοι οι δορυφόροι LANDSAT είναι προγραμματισμένοι να διασχίζουν τον Ισημερινό στις 9:45π.μ., αφού αυτή την ώρα η ατμόσφαιρα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαύγεια, ενώ η ηλιοσύγχρονη τροχιά των δορυφόρων εξασφαλίζει ιδανικές συνθήκες φωτισμού.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3 πιο κάτω οι LANDSAT 1 και 2 μετέφεραν δύο τηλεπισκοπικούς δέκτες. Έναν δέκτη RBV (Return Beam Vidicon) με 3 κανάλια και ένα πολυφασματικό δέκτη MSS (Multi Spectral Scanner) με 4 κανάλια. Η χωρική Διαχωριστική Διακριτική Δυνατότητα Ικανότητα και των δύο δεκτών ήταν περίπου 80m. Στον LANDSAT 3 έγιναν δύο βασικές αλλαγές. Ο δέκτης RBV είχε ένα μόνο κανάλι με χωρική $\Delta\Delta/\Delta I$ 30m. Προστέθηκε επίσης ένα θερμικό κανάλι στον δέκτη MSS του δορυφόρου, το οποίο όμως για τεχνικούς λόγους δεν λειτούργησε.

Ο πολυφασματικός τηλεπισκοπικός σαρωτής MSS των δορυφόρων LANDSAT από το 1972 μέχρι σήμερα (πίνακας 7) με τις ψηφιακές τηλεπισκοπικές του απεικονίσεις καταγράφει πιστά την κατάσταση, την ποιότητα, τα χαρακτηριστικά και τις μεταβολές της φυσικής και της κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας με επαρκή ακρίβεια και σε κατάλληλη κλίμακα για την μελέτη, την έρευνα και την παρακολούθηση συγκεκριμένων εκτατικών φαινομένων ή εμφανίσεων. Από τα τέσσερα κανάλια του MSS τα δύο είναι ευαίσθητα στο ορατό τμήμα του φάσματος της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας 0,5–0,6μm (πράσινο) και 0,6–0,7μm (κόκκινο) και τα άλλα δύο στο εγγύς υπέρυθρο (0,7–0,8μm και 0,8–1,1μm). Τα κανάλια αυτά ονομάζονται 4, 5, 6 και 7 και το πλάτος σάρωσης και κάλυψης της φυσικής γήινης επιφανείας ήταν 185km.

Οι LANDSAT 4 και 5, είναι εφοδιασμένοι με δύο πολυφασματικούς τηλεπισκοπικούς δέκτες, τον πολυφασματικό σαρωτή MSS και τον Θεματικό Χαρτογράφο (Thematic Mapper ή TM). Ο MSS είναι όμοιος με εκείνον ο οποίος υπήρχε στους LANDSAT 1, 2 και 3. Τα τέσσερα κανάλια του MSS μετονομάστηκαν σε κανάλια 1, 2, 3, 4 και το πλάτος σάρωσης παρέμεινε 185 km. Ο πολυφασματικός δέκτης Thematic Mapper έχει 7 κανάλια. Τα τρία πρώτα είναι ευαίσθητα στο ορατό τμήμα του φάσματος της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας, 0,45-0,52 μm (μπλε), 0,52-0,60 μm (πράσινο) και 0,63-0,69 μm (κόκκινο). Το κανάλι 4 είναι ευαίσθητο στο εγγύς υπέρυθρο (0,76- 0,90 μm), τα κανάλια 5 και 7 είναι ευαίσθητα στο μέσο υπέρυθρο (1,55-1,75 μm και 2,08-2,35 μm αντίστοιχα) και τέλος, το κανάλι 6 είναι ευαίσθητο στην περιοχή του θερμικού υπέρυθρου (10,4-12,5 μm).

Η χωρική διακριτική ικανότητα του Θεματικού Χαρτογράφου είναι 30m για όλα τα κανάλια πλην του θερμικού υπέρυθρου, το οποίο έχει 120m. Η μεγάλη χωρική και φασματική διακριτική ικανότητα του Θεματικού Χαρτογράφου τον καθιστά πολύτιμο τηλεπισκοπικό δέκτη για το μεγαλύτερο ποσοστό των σχετικών εφαρμογών.

Στους δορυφόρους LANDSAT 6 και 7 τοποθετήθηκε μόνο ένας πολυφασματικός δέκτης, ο Θεματικός Χαρτογράφος με την προσθήκη ωστόσο ενός παγχρωματικού καναλιού (0,5–0,86 μm), με χωρική διακριτική ικανότητα 15m. Η έκδοση αυτή του Thematic Mapper ονομάστηκε Enhanced Thematic Mapper στον LANDSAT 6 και Enhanced Thematic Mapper Plus στον LANDSAT 7. Στον τελευταίο η $\Delta\Delta/\Delta I$ του θερμικού καναλιού βελτιώθηκε και από τα 120 έφθασε στα 60m.

Μία σημαντική λειτουργία των δύο αυτών δεκτών είναι η από το έδαφος ρύθμιση της ευαισθησίας τους ανάλογα με την φωτεινότητα της υπό απεικόνιση περιοχής (low and high gains). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγάλη βελτίωση της ποιότητας των απεικονίσεων.

Πίνακας 3: Φασματική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεκτών των δορυφόρων 1 - 7

Δέκτης	Αποστολή	Φασματική Διακριτική Ικανότητα	Χωρική Διακριτική Ικανότητα
RBV	LANDSAT 1, 2	0,475-0,575μm	80m
		0,580-0,680μm	80m
0,690-0,830μm		80m	
	LANDSAT 3	0,505-0,750μm	30m
MSS	LANDSAT 1 ως 5	0,5-0,6μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		0,6-0,7μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		0,7-0,8μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		0,8-1,1μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		10,4-12,6μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5) 240m (μόνο στον LANDSAT-3)
TM	LANDSAT 4, 5	0,45-0,52μm	30m
		0,52-0,60μm	30m
		0,63-0,69μm	30m
		0,76-0,90μm	30m
		1,55-1,75μm	30m
		10,4-12,5μm	120m
		2,08-2,35μm	30m
ETM & ETM+	LANDSAT 6, 7	0,52-0,90μm	15m
		0,45-0,52μm	30m
		0,52-0,60μm	30m
		0,63-0,69μm	30m
		0,75-0,90μm	30m
		1,55-1,75μm	30m
		10,4-12,5μm	120m (ETM), 60m (ETM+)
		2,08-2,35μm	30m

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ακολούθως παρουσιάζεται η θέση της περιοχής μελέτης, τα κλιματικά της χαρακτηριστικά, καθώς και τα γεωλογικά – γεωμορφολογικά στοιχεία. Ταυτόχρονα επεξηγούνται γενικά οι μαγούλες (αρχαιολογικές θέσεις) και συγκεκριμένη η θέση του Αλμυρού II.

3.1 Θέση της περιοχής

Η Θεσσαλία βρίσκεται στην κεντρική περιοχή της ελληνικής χερσονήσου (βλ εικόνα 12). Οι εκτεταμένες πεδινές εκτάσεις που περικλείονται από ψηλά βουνά αποτελούν το κύριο χαρακτηριστικό της περιοχής. Μεγάλα ποτάμια, με σημαντικότερο τον Πηνειό, διασχίζουν τις πεδινές αυτές εκτάσεις και εκβάλλουν τελικά στα ανατολικά, στο Αιγαίο πέλαγος. Η θάλασσα, στα ανατολικά της περιοχής, αποτελεί ένα όριο αλλά και έναν εν δυνάμει διάυλο επικοινωνίας με περιοχές έξω από τη Θεσσαλία. Το μέσο υψόμετρο της δυτικής πεδιάδας βρίσκεται γύρω από την ισοϋψή των 100 μέτρων χωρίς έντονες υψομετρικές διακυμάνσεις.

3.2 Κλιματικά Χαρακτηριστικά

Για το κλίμα, όπως αυτό διαμορφώνεται σήμερα, κύριο ρόλο διαδραματίζουν η θάλασσα και το χαμηλό υψόμετρο της περιοχής. Ήπιοι υγροί χειμώνες και ξηρά, θερμά καλοκαίρια είναι τα χαρακτηριστικά του κλίματος της πεδινής περιοχής. Το ύψος της βροχής κυμαίνεται μεταξύ 400-600mm ετησίως με σαφή πτώση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι άνεμοι επηρεάζουν επίσης το μικροκλίμα των επί μέρους περιοχών. Η πεδιάδα του Βόλου έχει υψηλότερες ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας το χειμώνα σε σχέση με την περιοχή του Αλμυρού, καθώς το Πήλιο την προστατεύει από τους βόρειους ανέμους. Αντίστροφα ο ζεστός νοτιάς στην περιοχή Αλμυρού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ανεβάζει αρκετά τις θερμοκρασίες. Η θαλάσσια αύρα τέλος συντελεί στα αυξημένα επίπεδα υγρασίας, η οποία πέφτει κατακόρυφα τους καλοκαιρινούς μήνες ταυτόχρονα με την άνοδο της θερμοκρασίας και την πτώση της έντασης των ανέμων.

3.3 Γεωλογικά – Γεωμορφολογικά στοιχεία

Η συγκεκριμένη περιοχή παρουσιάζει γεωλογικά και γεωμορφολογικά μια αξιοσημείωτη ποικιλία και εναλλαγή τοπίων από ψηλά ασβεστολιθικά βουνά, χαμηλούς λόφους με αργιλώδη χώματα κατάλληλα για καλλιέργεια, πεδινές εκτάσεις σχηματισμένες από αλουβιακές προσχώσεις, ρέματα και ποτάμια με εποχικό κυρίως χαρακτήρα και παραθαλάσσιες περιοχές, οι οποίες κατά καιρούς μετατρέπονταν σε έλη και λιμνοθάλασσα. Πρόκειται για ένα δυναμικό τοπίο διαχρονικά μεταβαλλόμενο, παράλληλα με τις κλιματικές αλλαγές, επηρεάζοντας τελικά και τη βλάστηση και την πανίδα. Η επί αιώνες σταθερή θέση κάποιων οικισμών μέσα σε αυτό το μεταβαλλόμενο τοπίο, πιθανόν να αποτελούσε ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό προκειμένου να τους αποδοθεί σπουδαιότητά ως ορόσημα και σημεία αναφοράς. Πρόκειται για μια περιοχή με γεωργική κυρίως χρήση μέχρι σήμερα. Έτσι ο χώρος, ανοικτός και ελεύθερος από εμπόδια, προσφέρεται για επιφανειακή έρευνα εφόσον δεν συμπίπτει με σύγχρονους οικισμούς ή πόλεις.

3.4 Μαγούλες Θεσσαλίας

Στο Θεσσαλικό κάμπο, εντοπίζονται πολλές θέσεις (γήλοφοι - μαγούλες) που χρονολογούνται από την Πρώιμη Νεολιθική περίοδο μέχρι και την Εποχή του Χαλκού (6000 – 3000 π.Χ.). Τυπικά, οι μαγούλες είναι μικροί λοφίσκοι με υψομετρική διαφορά 1-5 μέτρα από τη γύρω περιοχή και αποτελούνται από μάργες και λάσπη. Εκατοντάδες τέτοιες μαγούλες βρίσκονται διασκορπισμένες στη Θεσσαλία και είναι καλυμμένες κάτω από διαφορετικά είδη βλάστησης. Λόγω της εντατικής καλλιέργειας στη σύγχρονη εποχή πολλές τέτοιες μαγούλες δεν είναι σήμερα ορατές από το έδαφος λόγω ισοπέδωσης των λοφίσκων (Alexakis *et al.*, 2009; Alexakis *et al.*, 2011).

Πιο κάτω παρουσιάζεται ένας χάρτης που παρουσιάζει την περιοχή μελέτης μαζί με την αρχαιολογική θέση *Αλμυρός II*, από το Google Earth.



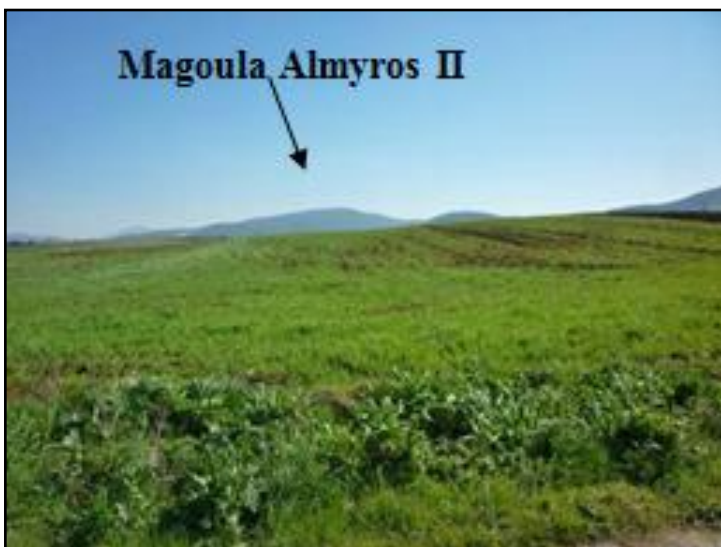
Εικόνα 12: Περιοχή μελέτης από Google Earth

Οι πρώτες έρευνες για τις θέσεις στη Θεσσαλία έγιναν από τον Χρ. Τσουντα (1908). Μάλιστα όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Βουζαξάκης (2009), η ενασχόληση του Τσουντα με τις θέσεις της Θεσσαλίας είναι ένα αξιοσημείωτο θέμα αφού δεν υπήρχε καμία αναφορά στα έως τότε γνωστά και αποδεκτά πρότυπα της κλασικής αρχαιότητας. Τις έρευνες συνεχίζουν οι Βρετανοί ερευνητές Wace και Thompson (1912) ενώ ακολουθούν άλλες έρευνες στην περιοχή. Παρόλα αυτά, η πρώτη δημοσιευμένη επιφανειακή έρευνα διενεργήθηκε τη δεκαετία του 1980 στην πεδιάδα της Λάρισας από τον Κ. Γαλλή και τους συνεργάτες του στην ΙΕ' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων (Γαλλής, 1992). Όπως ο Βουζαξάκης τονίζει στην δική του έρευνα (2009), είναι εμφανές, ότι στην περιοχή της Θεσσαλίας δεν έχουν αναπτυχθεί επιφανειακές αρχαιολογικές έρευνες, σε αντίθεση με άλλες περιοχές του ελλαδικού χώρου.

Εκτεταμένη μελέτη για τον εντοπισμό μαγούλων στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας με τη χρήση τεχνικών Γεωπληροφορικής έχει γίνει από τους Alexakis *et al.* (2009,2011). Η μεθοδολογία τους βασιζόταν κυρίως στη χρήση πολυφασματικών και υπερφασματικών εικόνων μέσης και υψηλής χωρικής ανάλυσης. Διάφοροι αλγόριθμοι (κυρίως δείκτες) σε δορυφορικές εικόνες μαζί με φίλτρα σε Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία για την εξαγωγή των μαγούλων.

Παράλληλα γεωφυσικές διασκοπήσεις που έγιναν σε Νεολιθική θέση της Θεσσαλίας (θέση Ζερέλια) έδειξαν ότι υπεδάφια κατάλοιπα μπορεί να ανιχνευτούν από επίγειες γεωφυσικές διασκοπήσεις (Papadopoulos *et al.*, 2011). Οι διασκοπήσεις είναι σε θέση να χαρτογραφήσουν τις υπεδάφειες ανωμαλίες (π.χ. γραμμικές, κυκλικές) αλλά παράλληλα με βάση τις μετρήσεις να γίνουν υποθέσεις σχετικά με το είδος των αρχαιολογικών καταλοίπων (π.χ. τάφος, κτίσμα κ.τ.λ.).

Στην περιοχή της Θεσσαλίας εξετάστηκε η αρχαιολογική θέση *Αλμυρός II*. Η θέση αυτή επιλέχτηκε αφού αποτελεί μια δύσκολη θέση να εντοπιστεί λόγω του γεγονός ότι ο τεχνικός λοφίσκος (μαγούλα) έχει σχεδόν ισοπεδωθεί (Εικόνα 17). Η συγκεκριμένη θέση ήταν καλλιεργημένη κατά την περίοδο των επίγειων μετρήσεων που έγιναν στον πλαίσιο της παρούσας έρευνας.



Εικόνα 13: Η θέα από την αρχαιολογική θέση του Αλμυρού II

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ

Για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας χρειάστηκε το λογισμικό Erdas Imagine , και το ArcGIS 9.3.1. Χρησιμοποιήθηκαν όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο 5 εικόνες του πολυφασματικού δορυφόρου Landsat. Αρχικά απαιτήθηκε να γίνει γεωμετρική διόρθωση των εικόνων, ακολούθως ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι 15 δείκτες στο λογισμικό ArcGIS με την χρήση της εντολής Field Calculation. Για συστηματοποιημένη και ελεγχόμενη διαδικασία όλοι οι δείκτες υπολογίστηκαν με την χρήση της εντολής "Model Builder", δημιουργώντας διαγράμματα ροής των υπολογισμών. Με την χρήση της εντολή Interpolate Line σχεδιάζεται μια γραμμή σαν τομή κοντά στην μαγούλα του Αλμυρού. Στη συνέχεια με την χρήση του Create Profile Graph σχηματίστηκαν τα προφίλ βλάστησης του κάθε δείκτη και σχολιάζονται τα αποτελέσματα. Πιο κάτω περιγράφονται αναλυτικά όλα τα βήματα της συγκεκριμένης διαδικασίας που ακολουθήθηκε.

4.1 Γεωμετρική Διόρθωση εικόνων

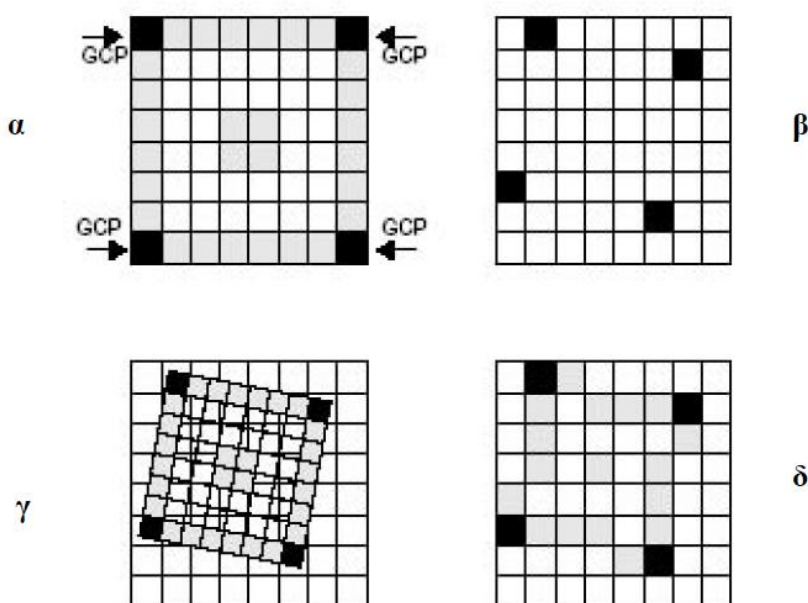
Οι γεωμετρικές παραμορφώσεις της εικόνας επηρεάζουν τη γεωμετρία της, δηλαδή την προβολή, την κλίμακα και τον προσανατολισμό της. Οφείλονται στον δέκτη, στον προσανατολισμό του δορυφόρου και στη φύση της πραγματικής εικόνας του εδάφους, όπως για παράδειγμα το ανάγλυφο.

Οι πολυφασματικές ψηφιακές εικόνες μετά τη διόρθωση των συστηματικών γεωμετρικών σφαλμάτων, συγκρινόμενες με ένα χάρτη της περιοχής που απεικονίζουν, εμφανίζουν διαφορετική γεωμετρία. Στην πραγματικότητα έχουν ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς συντεταγμένων. Για να αποκτήσουν χαρτογραφικές ιδιότητες, είναι απαραίτητος ο συσχετισμός τους με κάποιο χάρτη ή εικόνα που βρίσκονται σε ένα υπαρκτό σύστημα αναφοράς συντεταγμένων. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές.

Η διαδικασία μετασχηματισμού της εικόνας σε χάρτη της ίδιας περιοχής, ονομάζεται γεωαναφορά της εικόνας (image rectification ή georeference). Η εγγραφή της εικόνας (image registration) εφαρμόζεται μεταξύ δυο εικόνων της ίδιας περιοχής αλλά διαφορετικής ημερομηνίας λήψης, ή μεταξύ δυο εικόνων της ίδιας περιοχής και ημερομηνίας λήψης, αλλά που καταγράφηκαν σε διαφορετικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (διαφορετικός φασματικός δίαυλος) ή από διαφορετικό δέκτη. Η εγγραφή των δυο εικόνων είναι χρήσιμη στη διαπίστωση αλλαγών όταν πρόκειται για διαχρονικές εικόνες της ίδιας περιοχής.

Βασική προϋπόθεση εφαρμογής των παραπάνω μετασχηματισμών, είναι η εύρεση κοινών σταθερών σημείων (ground control points-GCP) μεταξύ της εικόνας και του χάρτη ή μεταξύ των δύο εικόνων. Κατά την τεχνική του γεωμετρικού μετασχηματισμού, η μία εικόνα (ή χάρτης) λαμβάνεται ως αναφορά, ενώ η δεύτερη προσαρμόζεται στην πρώτη ώστε να αποκτήσει το ίδιο σύστημα συντεταγμένων με αυτή. Η ακρίβεια της γεωμετρικής διόρθωσης (RMS) αναφέρεται στην ικανότητα σύμπτωσης κάθε σημείου της μιας εικόνας με το αντίστοιχο σημείο της άλλης εικόνας (ή του χάρτη).

Μετά από κάθε γεωμετρικό μετασχηματισμό, επαναπροσδιορίζονται οι τιμές έντασης της ακτινοβολίας για όλα τα εικονοστοιχεία, στις νέες θέσεις. Η διαδικασία αυτή γίνεται με μια μέθοδο παρεμβολής και ονομάζεται επαναδειγματοληψία (resampling) της εικόνας. Συνήθως χρησιμοποιούνται η μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor), η διαγραμμική παρεμβολή (bilinear interpolation), ή η δικυβική παρεμβολή (bicubic interpolation).



Εικόνα 14: Μέθοδοι παρεμβολής για γεωμετρική διόρθωση

Στο σχήμα α φαίνεται η θέση των σημείων GCP σε τμήμα της αρχικής αδιόρθωτης εικόνας. Στο σχήμα β φαίνεται η θέση των ίδιων σημείων στην εικόνα αναφοράς. Το σχήμα γ δείχνει την γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα, ενώ στο δ φαίνονται οι αντιστοιχίες των τιμών ανακλαστικότητας των εικονοστοιχείων στις νέες θέσεις, μετά την εφαρμογή της επαναδειγματοληψίας.

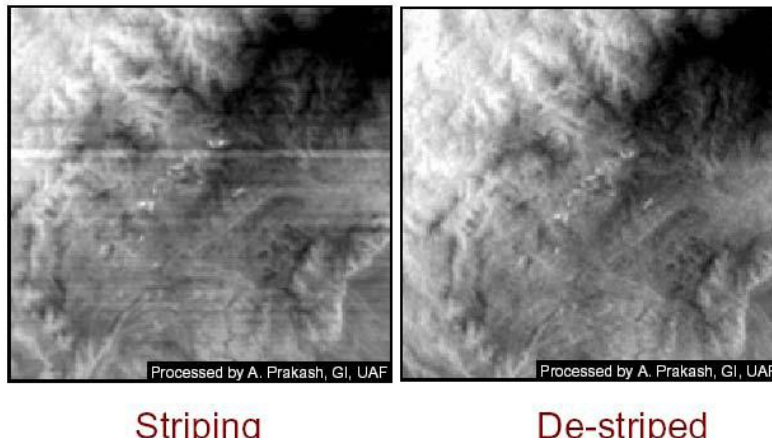
4.2 Ραδιομετρική Διόρθωση εικόνων

Οι επιδράσεις στη ραδιομετρία μιας εικόνας οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, όπως ο θόρυβος του συστήματος λήψης, η κακή ή ελαττωματική λειτουργία των αισθητήρων και η ατμόσφαιρα. Το αποτέλεσμα στην εικόνα είναι ότι μπορεί να εμφανισθεί απώλεια ή τονισμός μιας γραμμής ή τμήματος μιας γραμμής σάρωσης, καθώς και αυξομείωση της τιμής έντασης των ψηφίδων ενός ή όλων των διαύλων. Η ύπαρξη των σφαλμάτων αυτών δημιουργεί προβλήματα στην ερμηνεία και στατιστική επεξεργασία των εικόνων. Σκοπός της βελτίωσης της ψηφιακής εικόνας είναι η καλύτερη ερμηνεία της. Με τροποποίηση των επιπέδων φωτεινότητας, ή της έντασης της ακτινοβολίας, γίνεται ευκολότερη η διάκριση ορισμένων χαρακτηριστικών και κατά συνέπεια και η ερμηνεία της εικόνας. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες μεθόδων ραδιομετρικής διόρθωσης:

α) Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι ραδιομετρικές τεχνικές σημείου. Χρησιμοποιούν τις τιμές έντασης της ακτινοβολίας των εικονοστοιχείων, δίχως να λαμβάνουν υπόψη τη σχετική θέση τους σε κάθε διάυλο της εικόνας.

β) Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι χωρικές τεχνικές. Εφαρμόζονται στον χώρο της εικόνας από εικονοστοιχείο σε εικονοστοιχείο, λαμβάνοντας υπόψη τη θέση τους σε σχέση με τα γειτονικά εικονοστοιχεία. Η τεχνική του χωρικού συνελκτικού φιλτραρίσματος χρησιμοποιεί συνελκτικές μάσκες με σκοπό τη βελτίωση της χωρικής συχνότητας και την απόσπαση είτε των χαμηλών είτε των υψηλών συχνοτήτων από την ψηφιακή εικόνα. Εδώ ανήκουν τα φίλτρα εξομάλυνσης ή διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων που προκαλούν εξομάλυνση και θόλωση στην εικόνα και αποσκοπούν στη μείωση του θορύβου. Αντίθετα τα φίλτρα ενίσχυσης ακμών ή διέλευσης υψηλών συχνοτήτων αποσκοπούν στο να τονίσουν γραμμικά στοιχεία-ακμές. Τα σημεία αυτά εμφανίζουν απότομες αλλαγές της τιμής έντασης της ακτινοβολίας από τη μια ψηφίδα στην άλλη, έχουν δηλαδή απότομες μεταβάσεις από τις χαμηλές στις υψηλές συχνοτήτες.

γ) Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν οι ραδιομετρικές τεχνικές που εφαρμόζονται στον χώρο των χωρικών συχνοτήτων, με τη χρήση μετασχηματισμών Fourier. Η ανάλυση Fourier είναι μια μαθηματική τεχνική με την οποία η εικόνα ξεχωρίζει στα στοιχεία των χωρικών συχνοτήτων της. Χρησιμοποιείται κυρίως για απομάκρυνση του συστηματικού θορύβου και για εξάλειψη του φαινομένου της λωριδοποίησης.



Εικόνα 15: Φαινόμενο λωριδοποίησης (Striping)

(Πηγή: Χατζημιτσής, 2010)

4.2.1 Απαιτούμενες Διορθώσεις

4.2.1.1 Διόρθωση της γωνίας ύψους του ήλιου

- Η ανάγκη διόρθωσης της γωνίας ύψους του ήλιου προκαλείται από την εποχιακή θέση του ήλιου σχετικά με τη γη.
- Στις περιπτώσεις που ψηφιακά δεδομένα έχουν ληφθεί κάτω από διαφορετικές γωνίες ηλιακού φωτισμού, κανονικοποιούνται, υπολογίζοντας ψηφιακές τιμές κάτω από την υπόθεση ότι ο ήλιος ήταν στο ζενίθ για κάθε χρονική στιγμή λήψης των δορυφορικών δεδομένων.
- Η διόρθωση γίνεται πολλαπλασιάζοντας την ψηφιακή τιμή του κάθε εικονοστοιχείου με το συνημίτονο της γωνίας του ήλιου από το ζενίθ (ή με το ημίτονο της γωνίας ύψους του ήλιου)

4.2.1.2 Διόρθωση της απόστασης γης - ήλιου

- Η διόρθωση για την απόσταση γης-ήλιου εφαρμόζεται για να κανονικοποιήσει τις ψηφιακές τιμές ως προς τις εποχιακές μεταβολές της απόστασης μεταξύ γης και ήλιου.
- Η απόσταση γης και ήλιου συνήθως εκφράζεται σε αστρονομικές μονάδες (μία αστρονομική μονάδα είναι ισοδύναμη με την μέση απόσταση μεταξύ γης και ήλιου περίπου $149,6 * 10^6$ km)
- Όλες οι σχετικές πληροφορίες όπως γωνιά ύψους του ήλιου και της απόστασης γης-ήλιου για κάθε δορυφορική εικόνα βρίσκονται στα βοηθητικά δεδομένα που συνοδεύουν την εικόνα.(header files)

4.2.2 Μετατροπή Digital number (DN) σε ακτινοβολία (radiance)

Γραμμική απόκριση:

- Συνήθως οι ανιχνευτές σχεδιάζονται ώστε να παρέχουν μια γραμμική απόκριση στην προσπίπτουσα φασματική ένταση ακτινοβολίας.
- Για παράδειγμα το κάθε φασματικό κανάλι του Landsat έχει την δική του συνάρτηση απόκρισης και τα χαρακτηριστικά του παρακολουθούνται με τη χρήση εσωτερικών λυχνιών βαθμονόμησης (και θερμοκρασιών αναφορών για τα θερμικά κανάλια).
- Η έξοδος της απόλυτης φασματικής έντασης ακτινοβολίας των πηγών βαθμονόμησης είναι γνωστή ως βαθμονόμηση πριν την εκτόξευση (pre-flight) και υποτίθεται ότι είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της ζωής του δέκτη.

Πως γίνεται η βαθμονόμηση Landsat:

- Χρησιμοποιώντας είτε τα $L_{max}-L_{min}/255$ & L_{min}
- Ή είτε απευθείας τις τιμές των offset & gain

$$L = gain * DN + offset$$

$$L = (L_{max} - L_{min} / 255) * DN + L_{min}$$

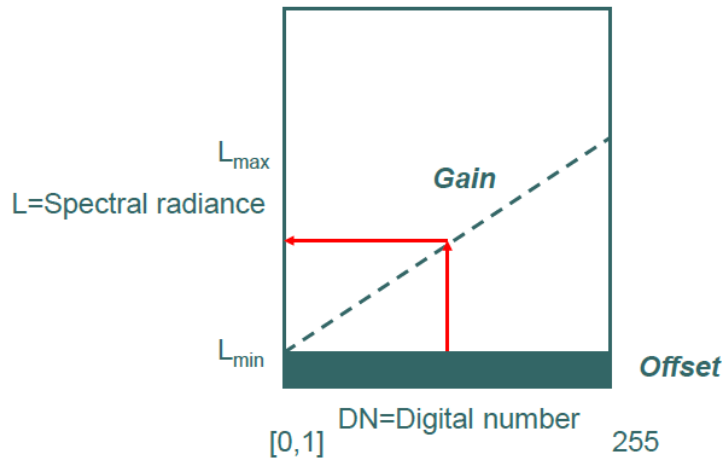
Όπου:

L=Spectral radiance measured (over the spectral bandwidth of the channel)

LMAX=The minimum radiance required to generate the maximum DN (here 255)

LMIN=The spectral radiance corresponding to a DN response of 0

DN=Digital number value recorded



Εικόνα 16: Γραφική αναπαράσταση του υπολογισμού του Spectral radiance

4.2.3 Μετατροπή σε ανακλαστικότητα (reflectance)

$$\rho = \frac{\pi * Lts}{Eo + \cos(\theta) + d}$$

Όπου:

Lts- ακτινοβολία στον στόχο(υπολογίστηκε στο πρώτο μέρος της ραδιομετρικής)

Eo- ακτινοβολία του Ήλιου(Βρίσκεται μέσα από πίνακες)

θo- ηλιακή ζενίθια γωνία κατά την λήψη (metadata)

d – συντελεστής διόρθωσης απόστασης ήλιου-γης(υπολογίζεται από πίνακες με βάση τον αριθμό της ημέρας λήψης μέσα στον χρόνο)

Ο συντελεστής d υπολογίζεται από την πιο κάτω μαθηματική σχέση:

$$d = [1/1 - 0.01674 \cos(0.9856(DOY - 4))]^2$$

Όπου: 0.01674 η εκκεντρότητα της τροχιάς της γης

DOY= η Ιουλιανή ημέρα του έτους 1-365 ή 366 στην οποία μετρείται ο χρόνος από την 1 Ιανουαρίου

Πίνακας 4: Τιμές καναλιών για ακτινοβολία που επιστρέφει

Band	watts/(meter squared * μm)
1	1969.000
2	1840.000
3	1551.000
4	1044.000
5	225.700
7	82.07

Πίνακας 5: Τιμές απόστασης γης – ήλιου σε αστρονομικές μονάδες (Πηγή: Χατζημιτσής, 2010)

Julian Day	Distance	Julian Day	Distance	Julian Day	Distance	Julian Day	Distance	Julian Day	Distance
1	.9832	74	.9945	152	1.0140	227	1.0128	305	.9925
15	.9836	91	.9993	166	1.0158	242	1.0092	319	.9892
32	.9853	106	1.0033	182	1.0167	258	1.0057	335	.9860
46	.9878	121	1.0076	196	1.0165	274	1.0011	349	.9843
60	.9909	135	1.0109	213	1.0149	288	.9972	365	.9833

Η διαδικασία της ραδιομετρικής διόρθωσης μέσα από το λογισμικό του Erdas Imagine προστίθεται στα παραρτήματα.

4.3 Ατμοσφαιρική Διόρθωση εικόνων

Η συσχέτιση μεταξύ δορυφορικών μετρήσεων και εκείνων στο πεδίο για την εύρεση των ιδιοτήτων των αερολυμάτων έχει φανεί ότι είναι μεγάλη. Αυτό είναι ένα ενθαρρυντικό αποτέλεσμα για τη χρησιμοποίηση δορυφορικών εικόνων αντί μετρήσεων στην επίβλεψη και ανάκτηση του οπτικού πάχους αερολυμάτων. Πολλές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων. Η μέθοδος όμως που ακολουθήθηκε για την ατμοσφαιρική διόρθωση σε αυτή την περίπτωση ήταν αυτή του σκοτεινού στόχου (Darkest pixel).

Οι διορθώσεις εικόνας είναι εκείνες που είναι απαραίτητες πριν την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων ώστε αυτές αφενός να μετασχηματιστούν από το σύστημα κατόπτρευσης του δορυφόρου που έχουν ληφθεί σε συγκεκριμένο χαρτογραφικό σύστημα προβολής και αφετέρου να εξαλειφθεί η αλλοίωση που προκαλεί στην ακτινοβολία επίδραση της ατμόσφαιρας η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ του στόχου και του δέκτη. Οι διορθώσεις αυτές εντάσσονται στο γενικότερο πλαίσιο της προ-επεξεργασίας των εικόνων.

Μια σημαντική ραδιομετρική διόρθωση είναι και η ατμοσφαιρική διόρθωση η οποία αφορά την αποκατάσταση της ατμοσφαιρικής παραμόρφωσης πάνω σε εικόνα. Παρά την ποικιλία των τεχνικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, εντούτοις παραμένει μια δύσκολη διαδικασία κατά την προ-επεξεργασία των δεδομένων εικόνας.

Οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας σε φασματικές υπογραφές και των δεικτών βλάστησης έχει γίνει ένα σημαντικό θέμα της όσον αφορά την επιστημονική βιβλιογραφία από το 1980. Οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις είναι αποτέλεσμα της μοριακής σκέδασης και απορρόφησης και επηρεάζουν την ποιότητα των πληροφοριών που προέρχονται από απομακρυσμένες μετρήσεις τηλεπισκόπησης. Τέτοιες σφάλμα από την ατμοσφαιρική επίδραση μπορεί να αυξήσει την αβεβαιότητα των μετρήσεων έως και 10%, ανάλογα με το φασματικό κανάλι. Ως εκ τούτου η ατμοσφαιρική διόρθωση είναι ένα σημαντικό προ-επεξεργασία βήμα που απαιτείται σε πολλές εφαρμογές τηλεπισκόπησης. Στη βιβλιογραφία De Haan et al., (1991), Cracknell and Hayes (1993), Campbell (1996), Jensen (1996), Hadjimitsis (1997), Hope et al. (1997), Hadjimitsis (1999), Hadjimitsis (2004), υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι διόρθωσης τους οποίους μπορούμε να διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες:

- (1) Κατηγορία (Α): Απόλυτες διορθώσεις: Η κατηγορία αυτή μπορεί να υποδιαιρεθεί σε δύο υποκατηγορίες: με βάση την εικόνα (για παράδειγμα, Darkest Pixel, μέθοδος πίνακα συνδιακύμανσης) και διορθώσεις με ανεξάρτητα δεδομένα για τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (συμπεριλαμβανομένων επί τόπου μετρήσεις ή ιστορικό αρχείο)
- (2) Κατηγορίας (Β): Σχετικές διορθώσεις: Το πλεονέκτημα των ατμοσφαιρικών διορθώσεων με βάση την εικόνα είναι το γεγονός ότι δεν απαιτούν κανένα επιπλέον δεδομένο. Ένα από τα πιο απλά μοντέλα είναι η **μέθοδος του σκοτεινού στόχου (Darkest Pixel)**.

4.3.1 Μέθοδος του σκοτεινού στόχου (Darkest pixel) για ατμοσφαιρική διόρθωση

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην υπόθεση η ανακλαστικότητα σκοτεινών στόχων (π.χ. φράγμα / δεξαμενές κ.τ.λ.) έχουν κατά προσέγγιση να μηδενική ανακλαστικότητα. Έχει αποδειχθεί ότι η μέθοδος αυτή είναι αρκετά αποτελεσματική ιδιαίτερα σε περιπτώσεις χωρίς νεφοκάλυψη. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται δηλαδή σε αίθριο καιρό όταν κυριαρχεί δηλαδή η σκέδαση Rayleigh ($\tau_g = 1/\lambda^4$). Η τελευταία ως γνωστό επιδρά περισσότερο στα μικρά μήκη κύματος της ακτινοβολίας και ιδιαίτερα στο ορατό φάσμα.

Για την ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Σκοτεινότερων Εικονοστοιχείων (Darkest Pixel). Στην μέθοδο αυτή κάθε μαύρο στοιχείο στην δορυφορική εικόνα θα πρέπει να έχει ψηφιακή τιμή μηδέν, εάν η ψηφιακή του είναι μεγαλύτερη από το μηδέν η τιμή αυτή είναι η επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην δορυφορική εικόνα. (Μερτίκας 1999).

4.3.2 Μεθοδολογία ατμοσφαιρικής διόρθωσης

Αρχικά για την εφαρμογή της μεθόδου των σκοτεινότερων εικονοστοιχείων, οι ψηφιακές τιμές (Digital number) των δορυφορικών εικόνων μετατράπηκαν σε μονάδες μέτρησης της ροής ακτινοβολίας (L). Η μετατροπή έγινε με την παρακάτω συνάρτηση. (Saunier και Jackson 2009):

$$(1) \quad L = gain * DN + offset$$

Επόμενο στάδιο ήταν η μετατροπή της ροής της ακτινοβολίας σε αντανακλαστικότητα (reference, ρ_{tg}).

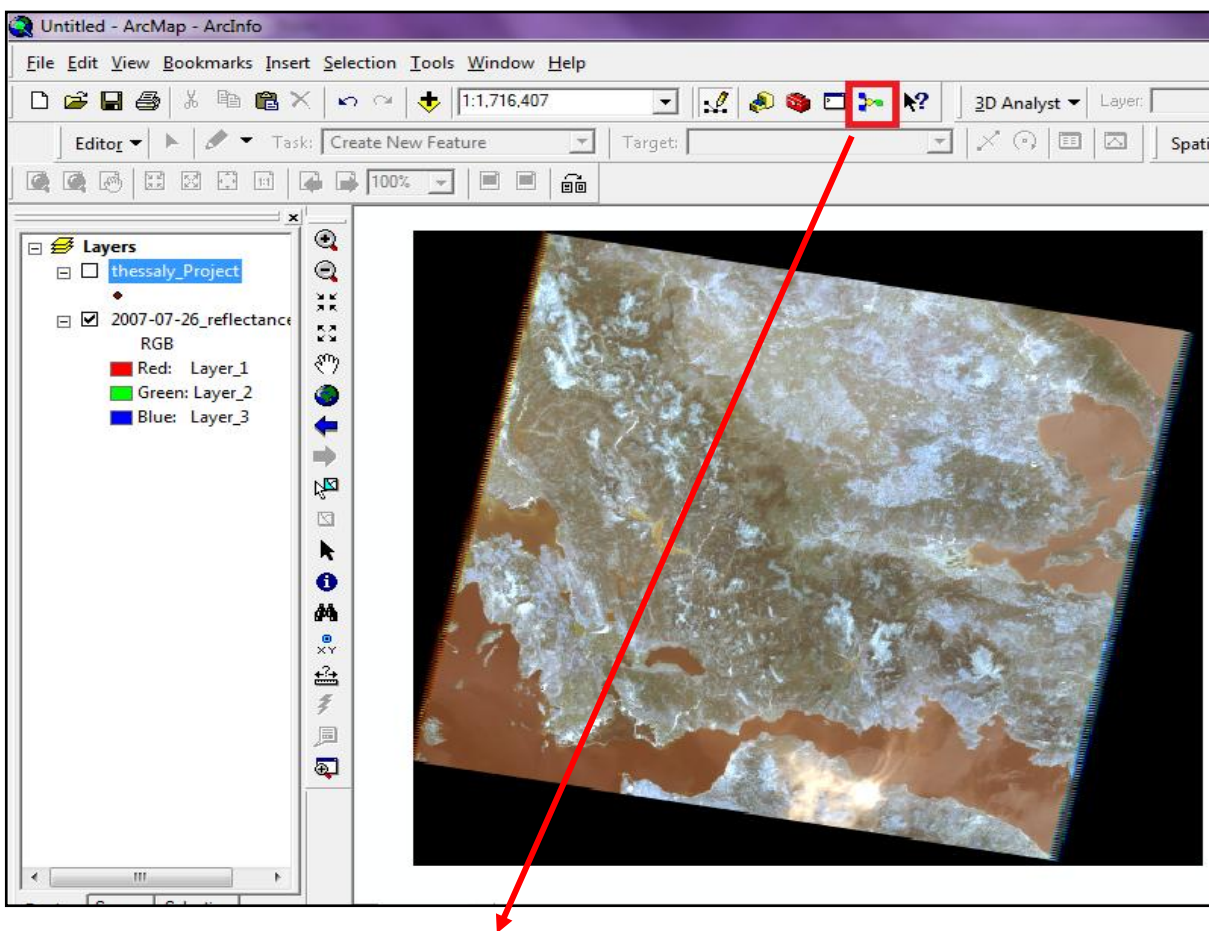
$$(2) \quad \rho_{tg} = \frac{\pi * Lts}{Eo + \cos(\theta_0) + d}$$

Εφόσον εφαρμόστηκε η παραπάνω μεθοδολογία, μετατράπηκαν όλες οι ψηφιακές τιμές των εικόνων σε ανακλαστικότητα. Για την ολοκλήρωση της μεθόδου εντοπίστηκε το σκοτεινότερο εικονοστοιχείο σε κάθε κανάλι και αφαιρέθηκε η τιμή του από όλες τις δορυφορικές εικόνες.

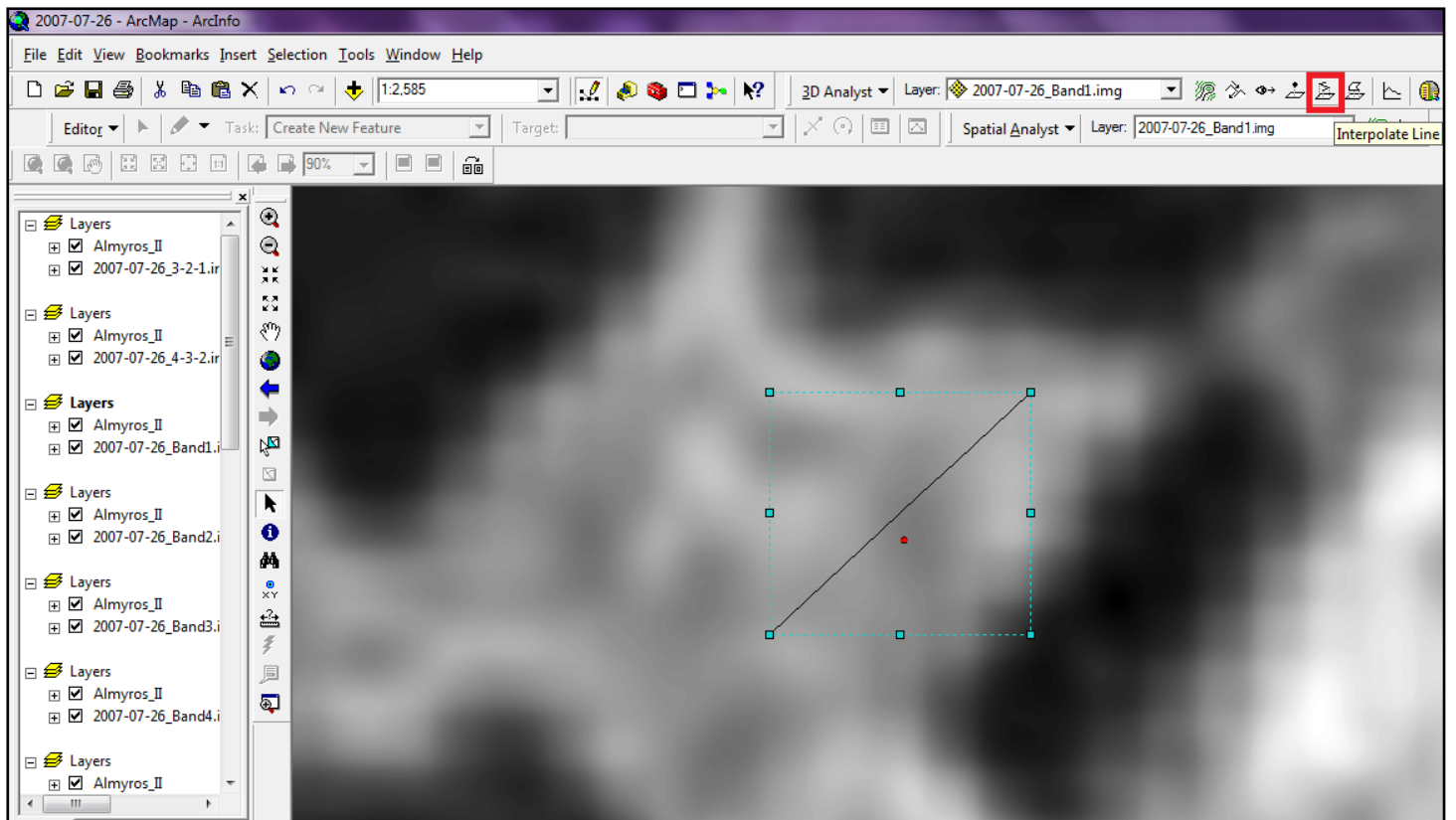
4.4 Υπολογισμός Δεικτών Βλάστησης στο ArcGIS

Για να συστηματοποιηθεί η διαδικασία υπολογισμού των 15 δεικτών βλάστησης επιλέχθηκε η χρήση της εντολής "Model Builder" του λογισμικού ArcGIS για κάθε μία από τις 5 διαθέσιμες εικόνες Landsat 5 TM. Έτσι δημιουργήθηκαν 15 διαγράμματα ροής των υπολογισμών, ένα για κάθε δείκτη. Πιο κάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα αυτά για μία μόνο εικόνα, αυτήν στις 26/07/2007, μιας και για τις υπόλοιπες ήταν ακριβώς τα ίδια. Το μόνο που άλλαζε κάθε φορά ήταν η επόμενη στη σειρά εικόνα.

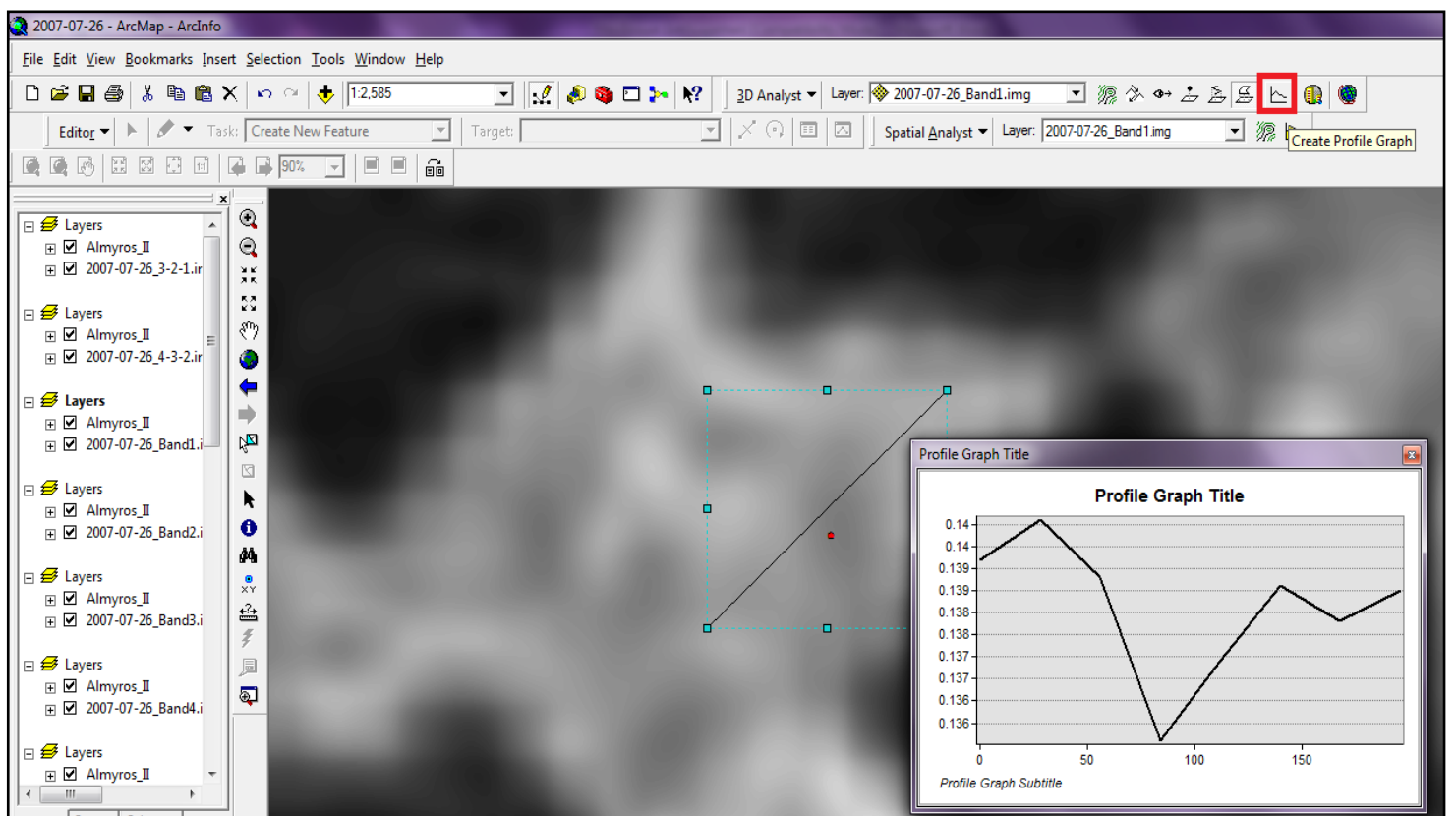
Αφού έγιναν τα διαγράμματα αυτά στη συνέχεια με την εντολή "Interpolate Line" δημιουργήσαμε μια τομή κοντά στη μαγούλα του Αλμυρού Π και στη συνέχεια με την χρήση του "Create Profile Graph" δημιουργήθηκαν τα προφίλ της βλάστησης του κάθε δείκτη. Δημιουργήθηκαν επίσης και τα προφίλ για τα κανάλια 1,2,3,4 αντίστοιχα, αλλά και για τους συνδυασμούς 3-2-1 και 4-3-2. Έγιναν export τα γραφήματα αυτά σε αρχείο excel, όπου εκεί τοποθετήθηκαν για κάθε δείκτη όλων των εικόνων, οι γραφικές παραστάσεις στο ίδιο γράφημα για να μπορεί να γίνει καλύτερα η σύγκριση.



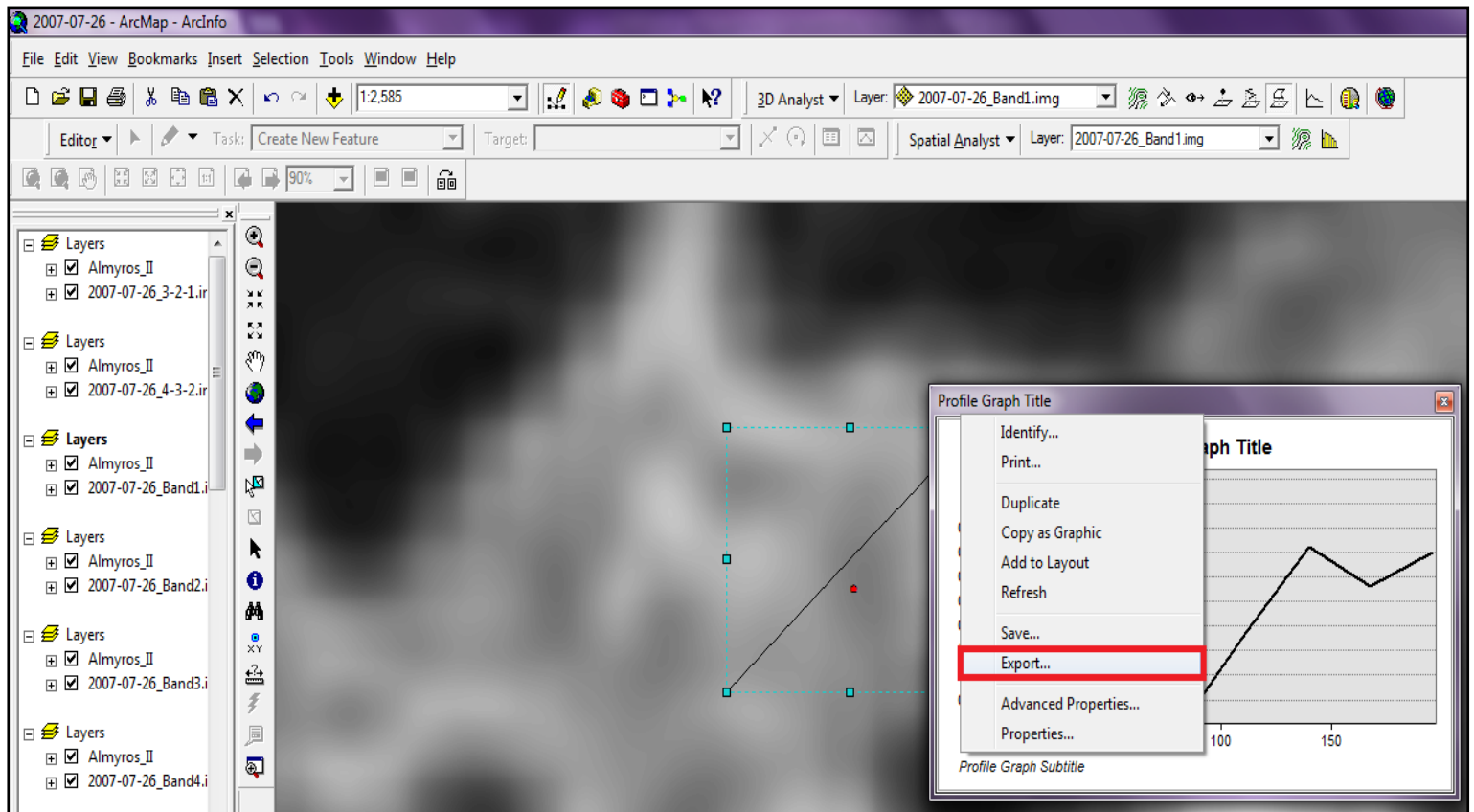
Εικόνα 17: Χρήση εντολής Model Builder



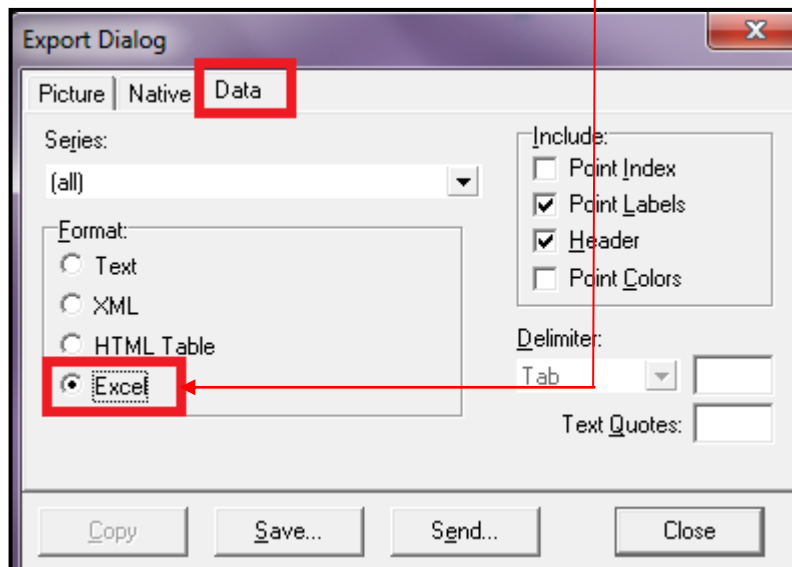
Εικόνα 18: Χρήση της εντολής Interpolate Line



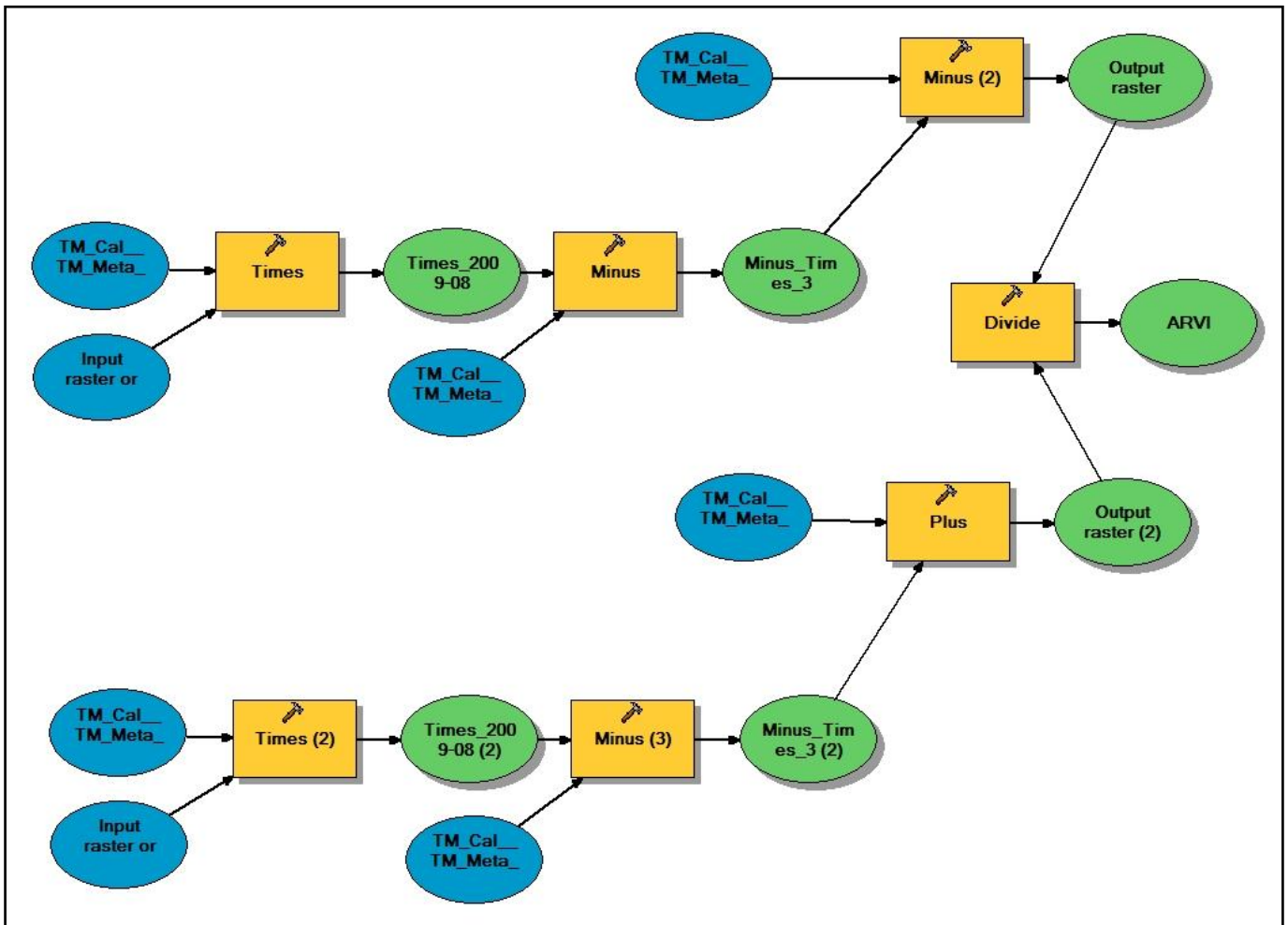
Εικόνα 19: Χρήση εντολής Create Profile Graph



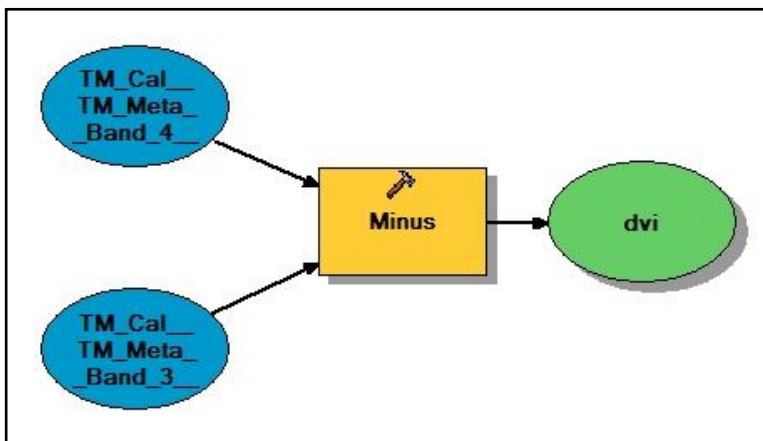
Εικόνα 20: Εξαγωγή του γραφήματος σε μορφή αρχείου excel



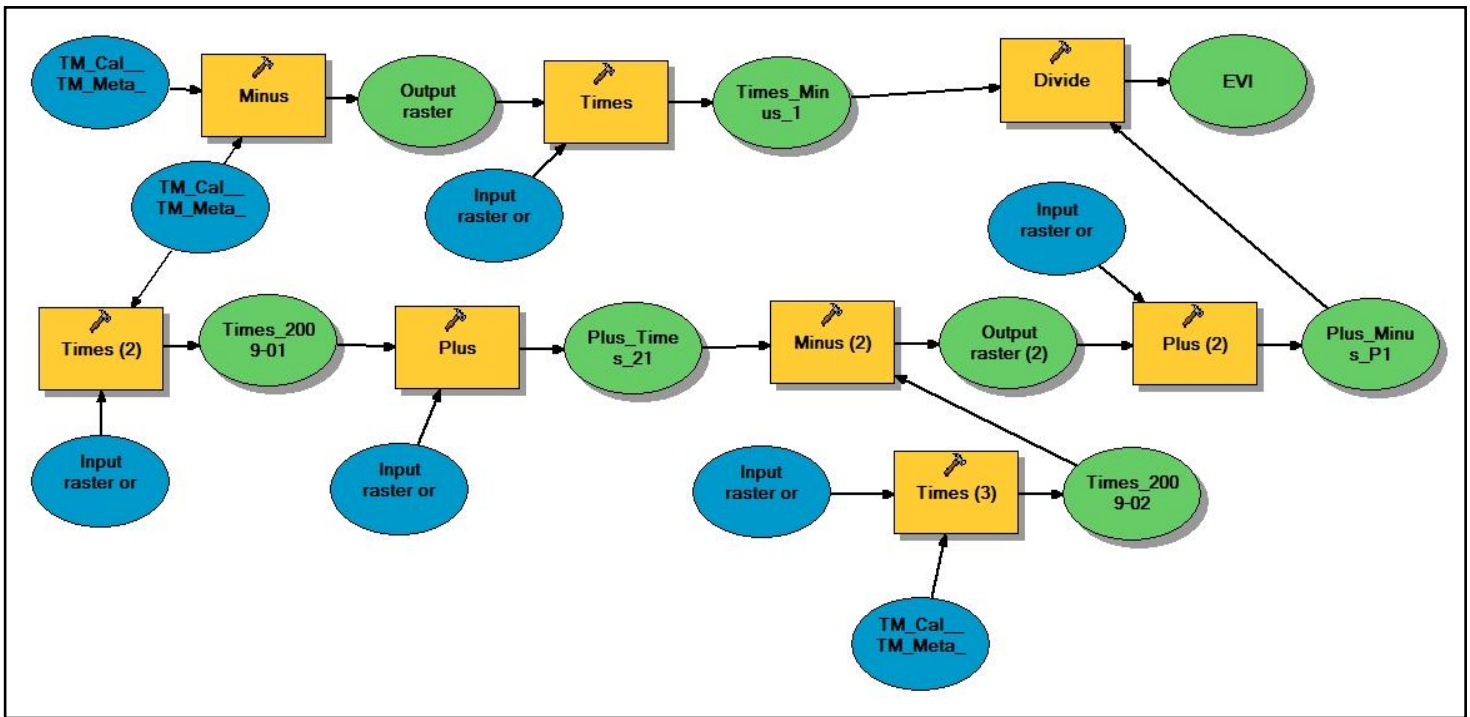
4.4.1 Δημιουργία διαγραμμάτων ροής κάθε δείκτη



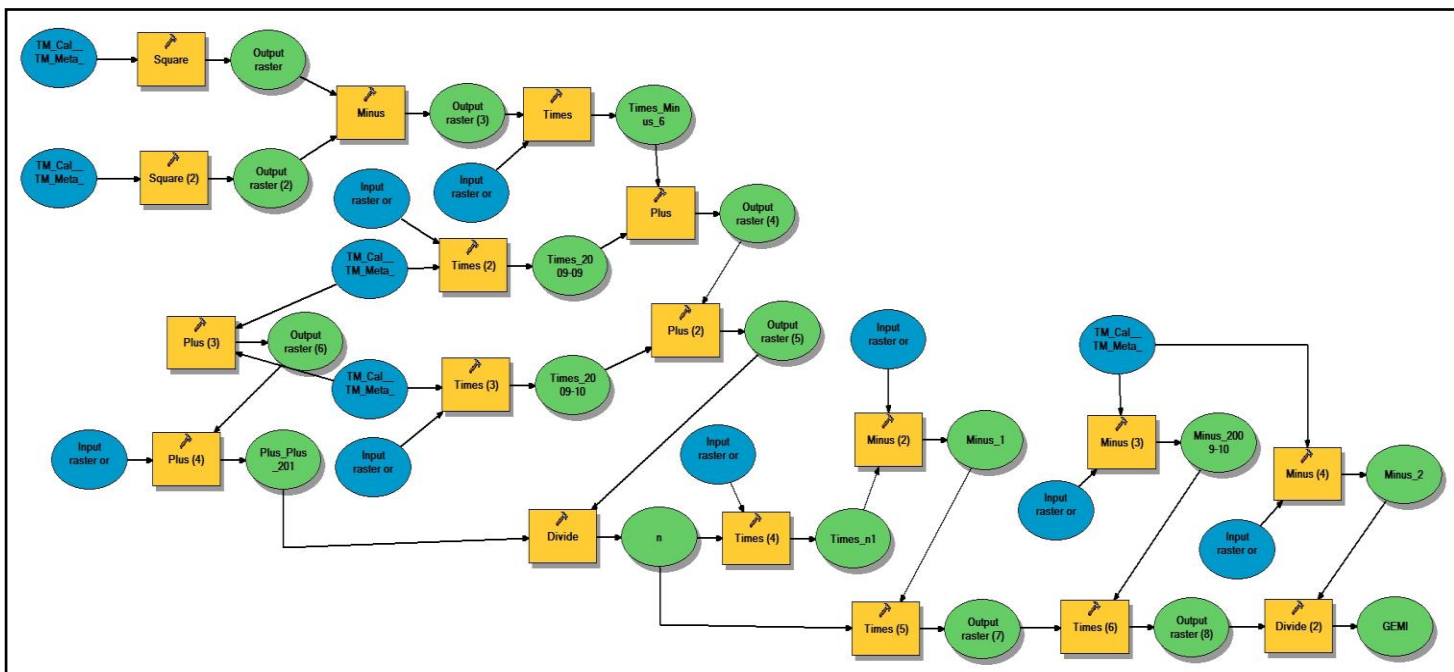
Εικόνα 21: Διάγραμμα ροής δείκτη ARVI



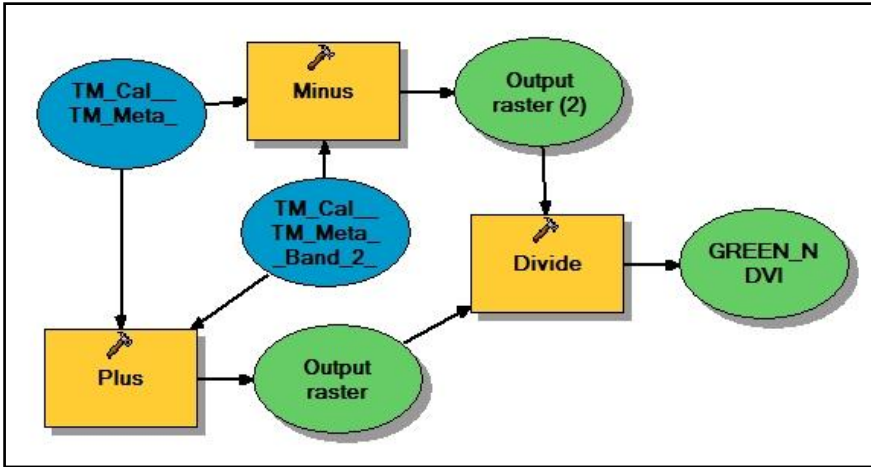
Εικόνα 22: Διάγραμμα ροής δείκτη DVI



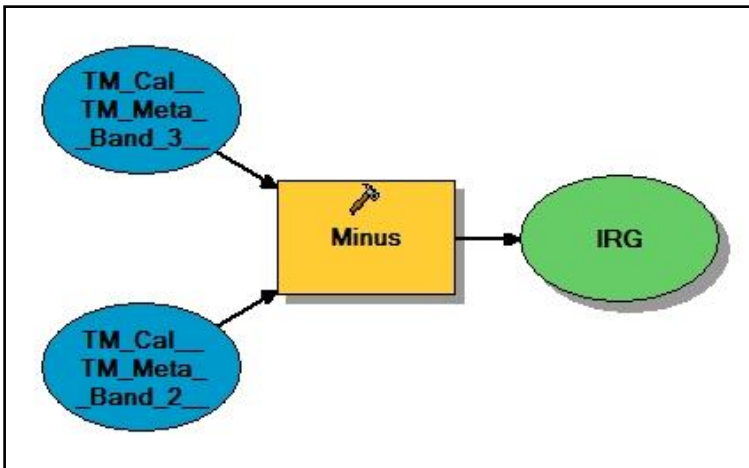
Εικόνα 23: Διάγραμμα ροής δείκτη EVI



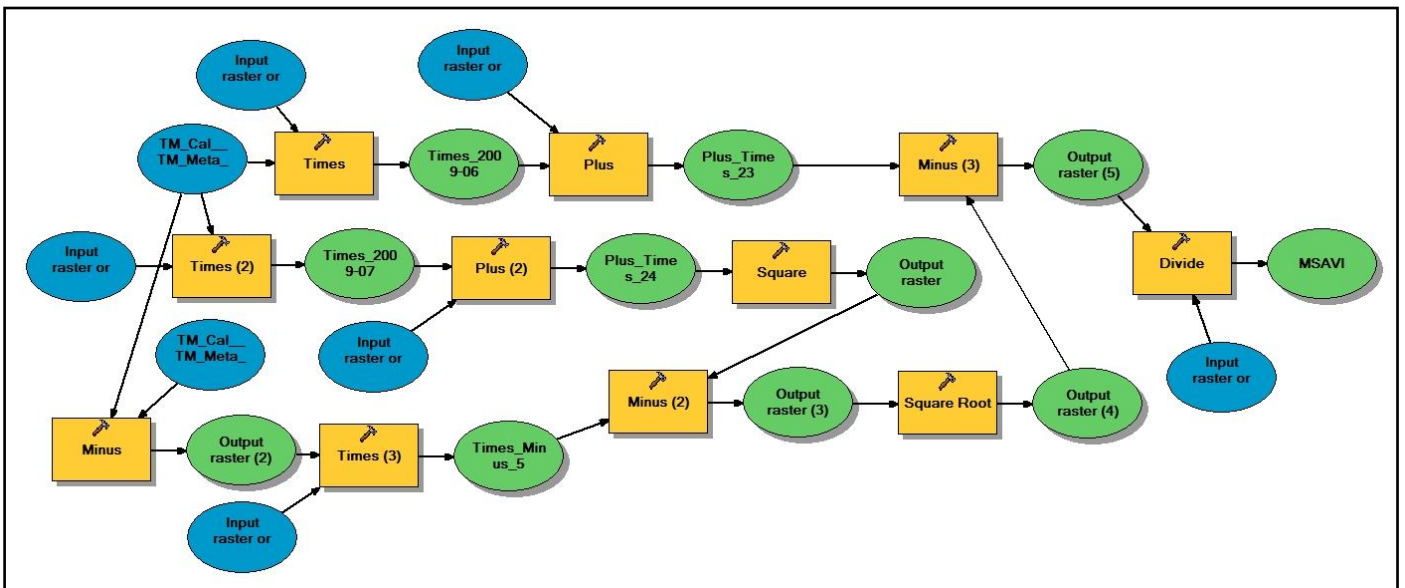
Εικόνα 24: Διάγραμμα ροής δείκτη GEMI



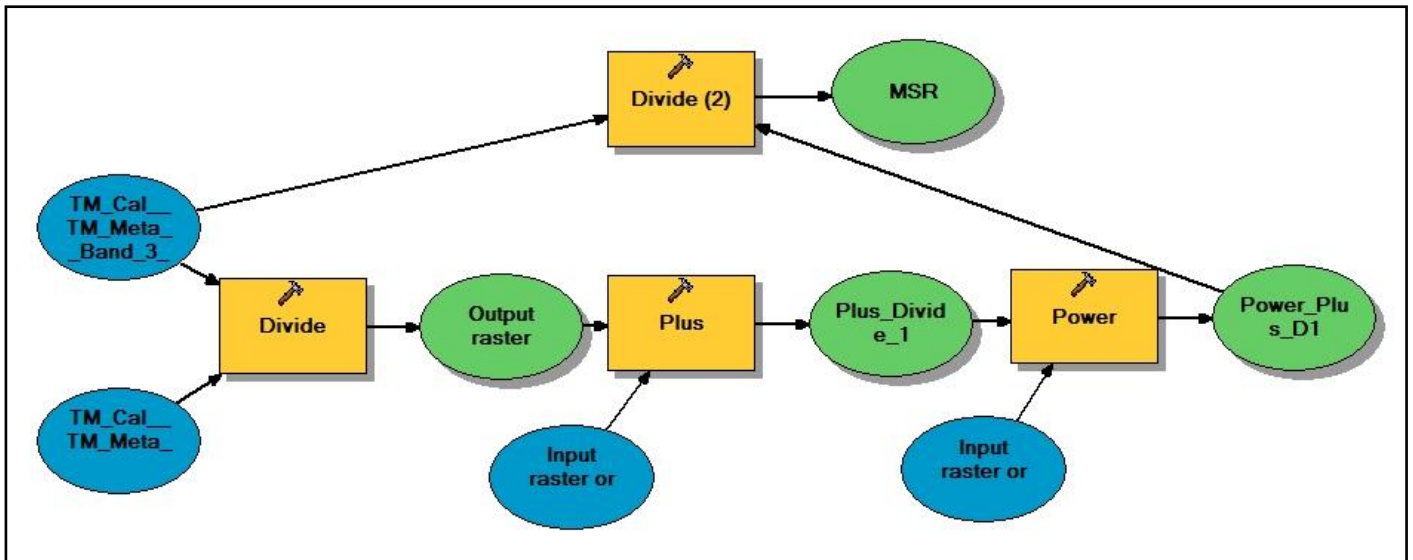
Εικόνα 25: Διάγραμμα ροής δείκτη GREEN_NDVI



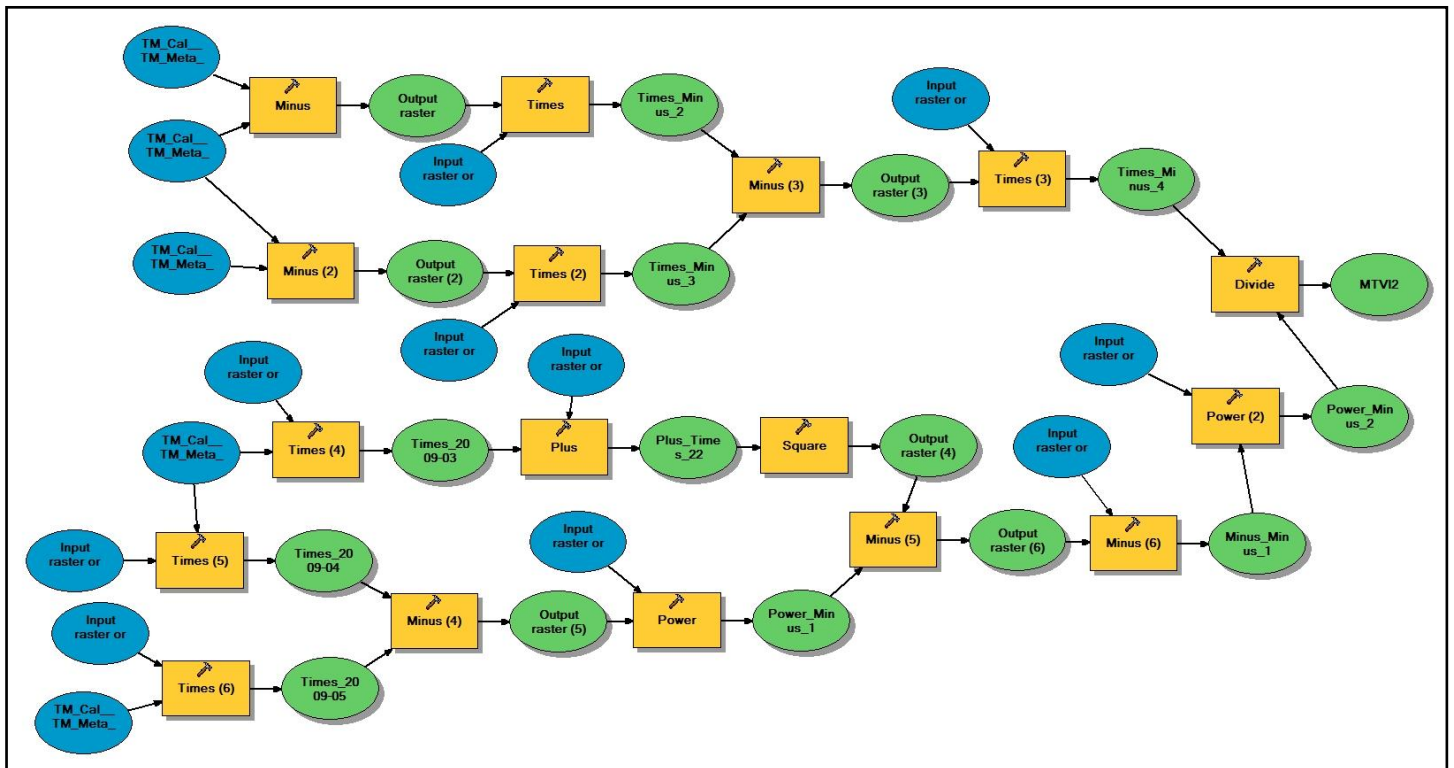
Εικόνα 26: Διάγραμμα ροής δείκτη IRG



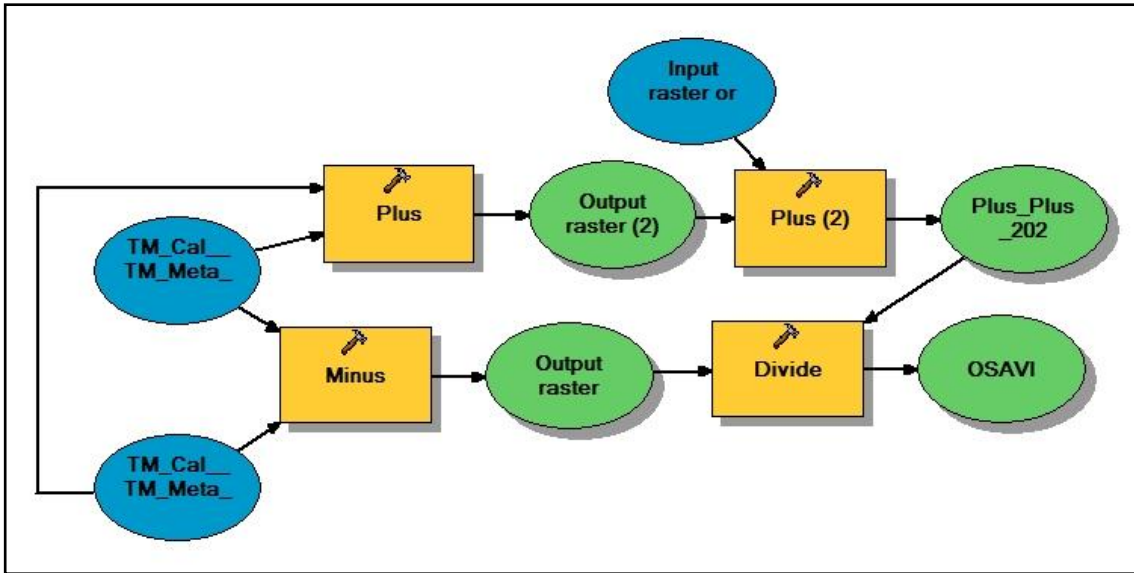
Εικόνα 27: Διάγραμμα ροής δείκτη MSAVI



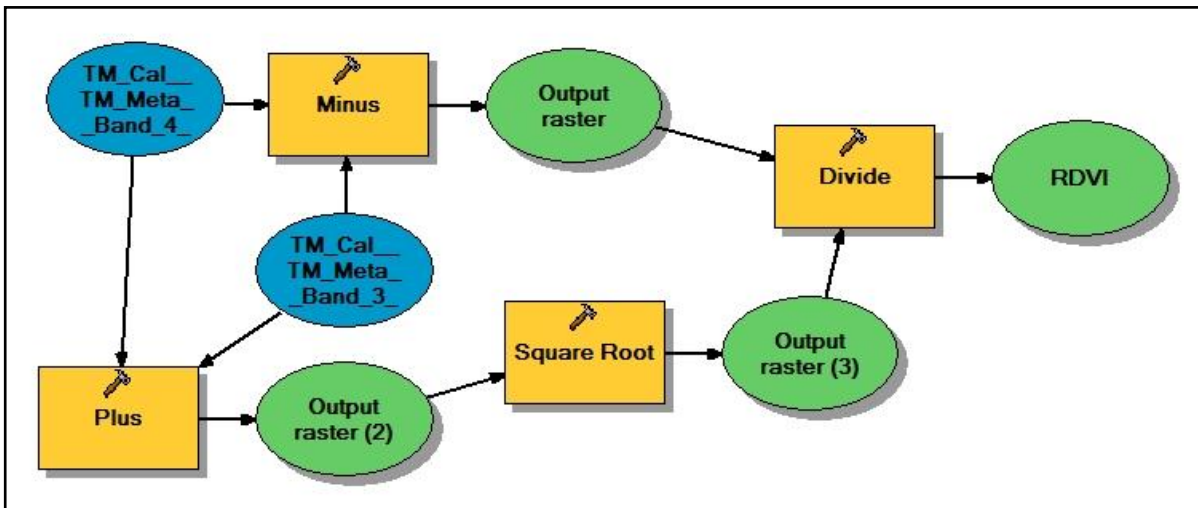
Εικόνα 28: Διάγραμμα ροής δείκτη MSR



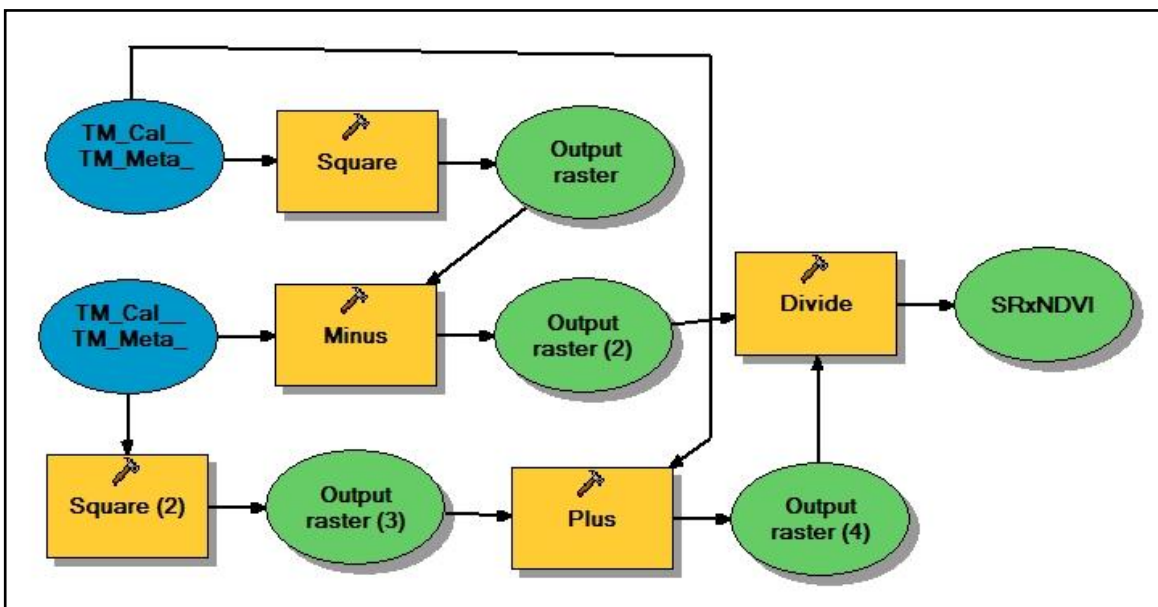
Εικόνα 29: Διάγραμμα ροής δείκτη MTVI2



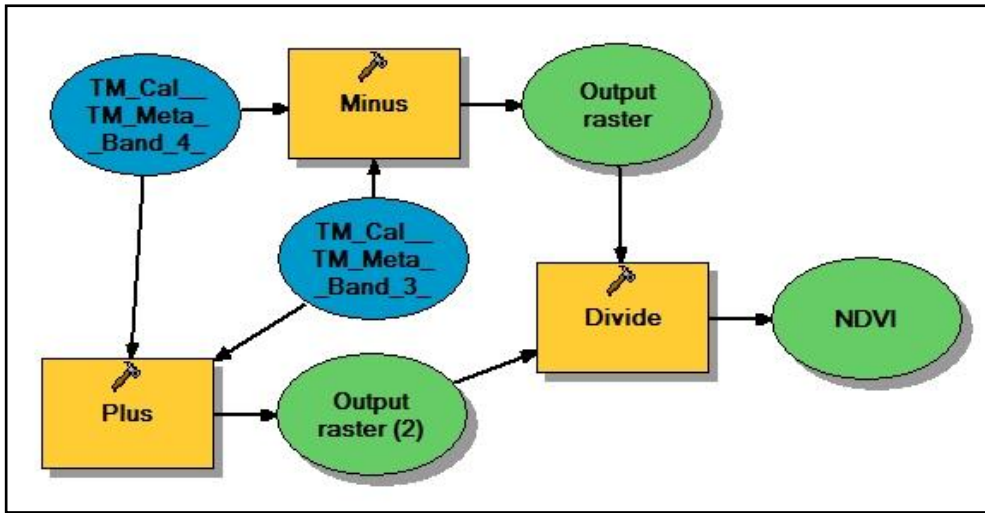
Εικόνα 30: Διάγραμμα ροής δείκτη OSAVI



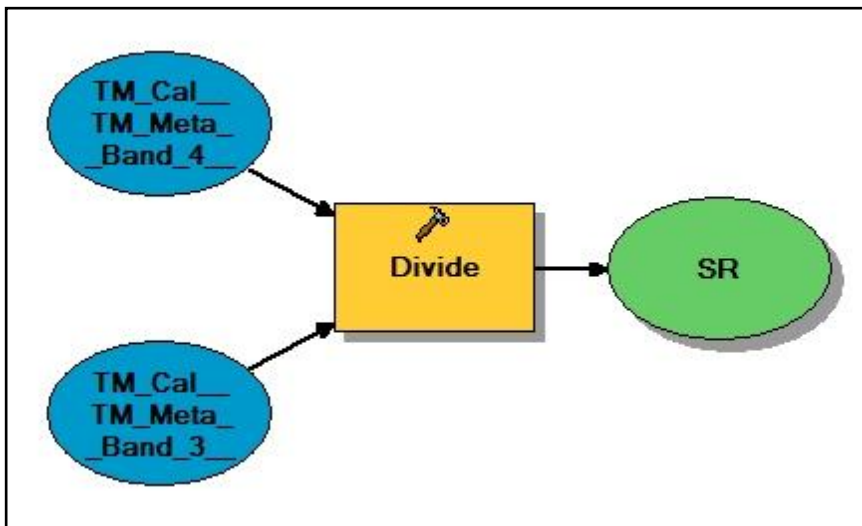
Εικόνα 31: Διάγραμμα ροής δείκτη RDVI



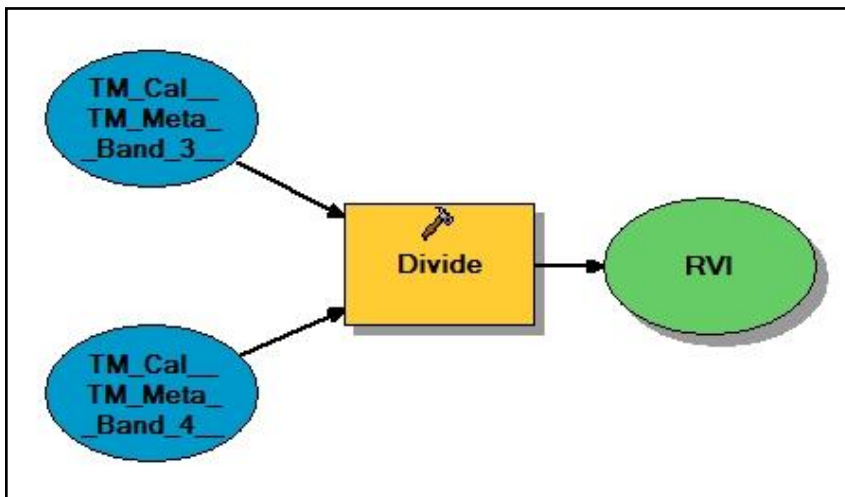
Εικόνα 32: Διάγραμμα ροής δείκτη SRxNDVI



Εικόνα 33: Διάγραμμα ροής δείκτη NDVI



Εικόνα 34: Διάγραμμα ροής δείκτη SR

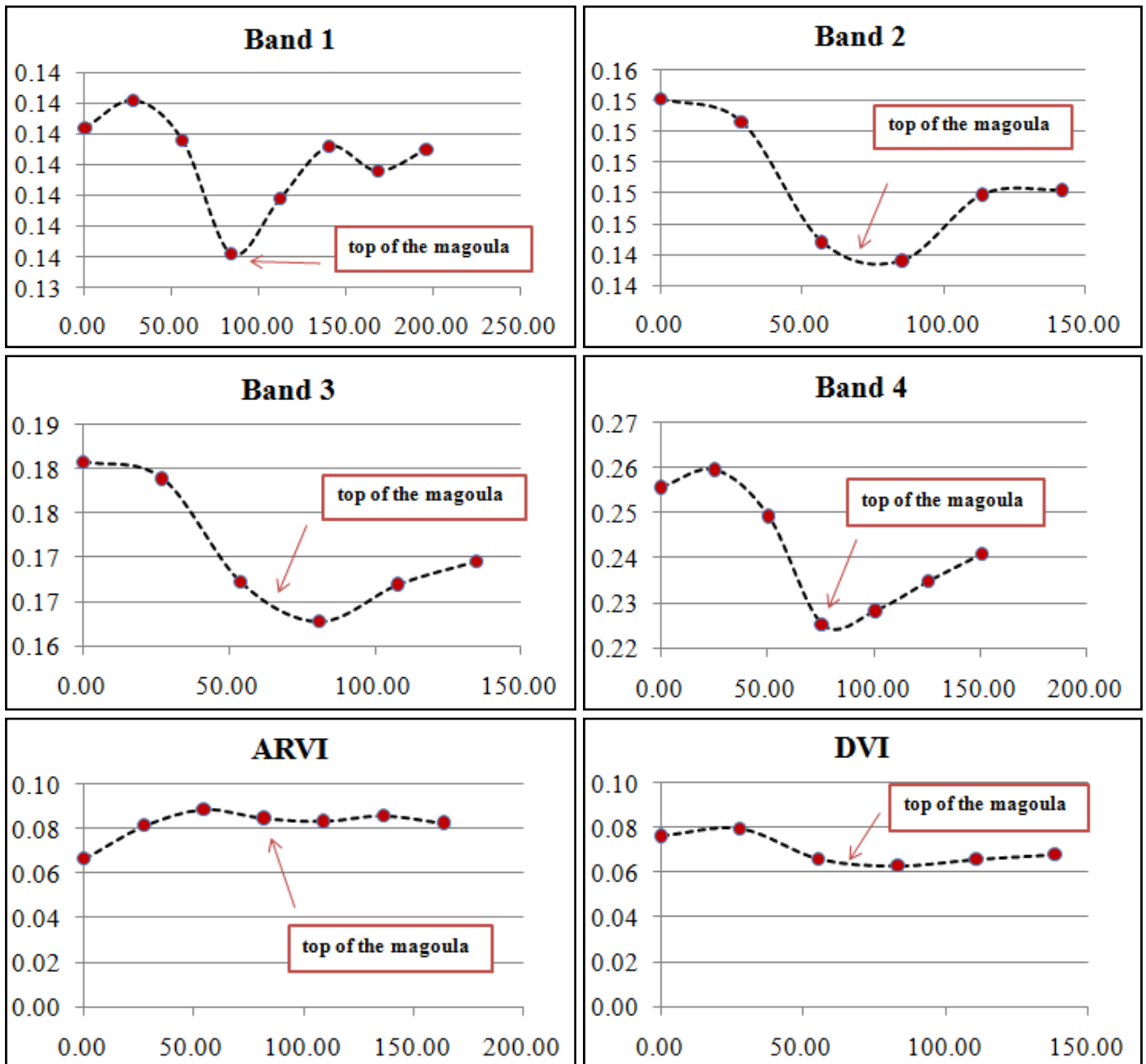


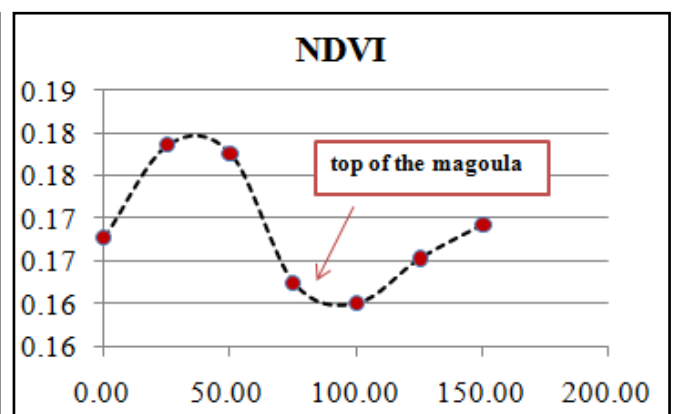
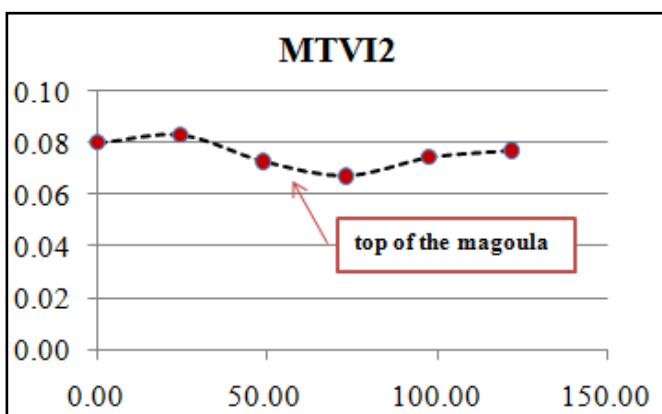
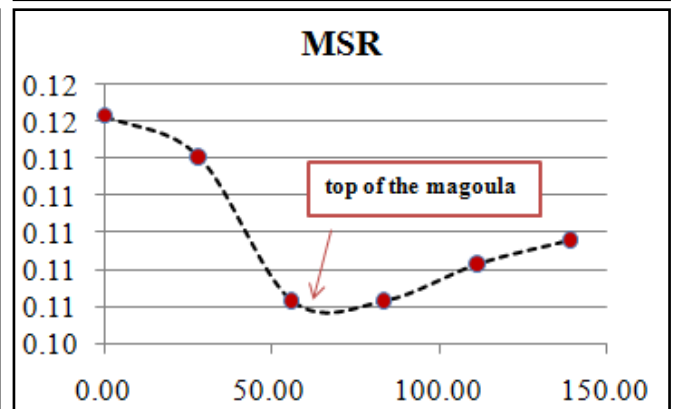
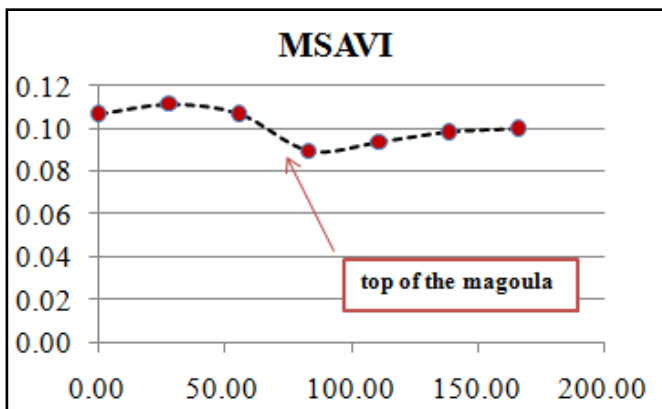
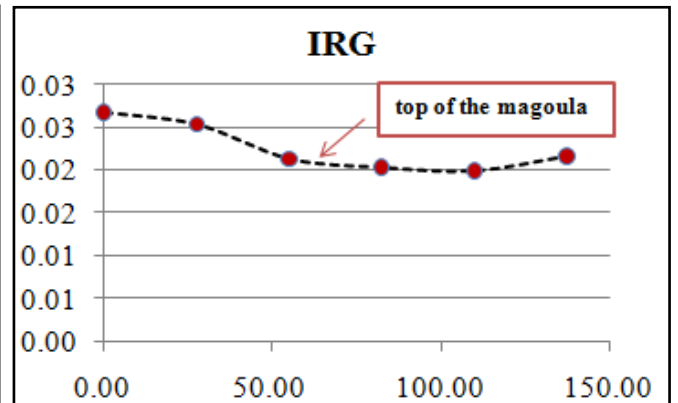
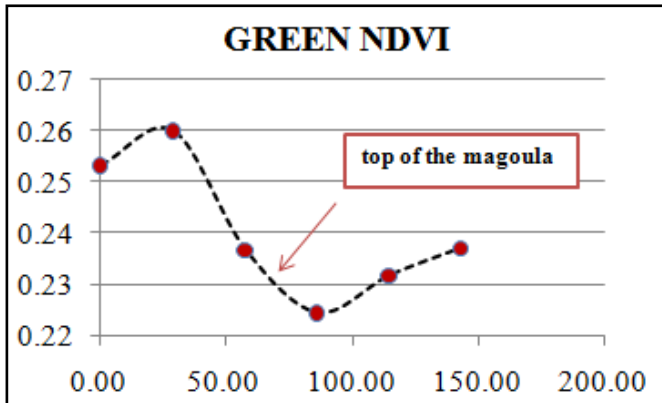
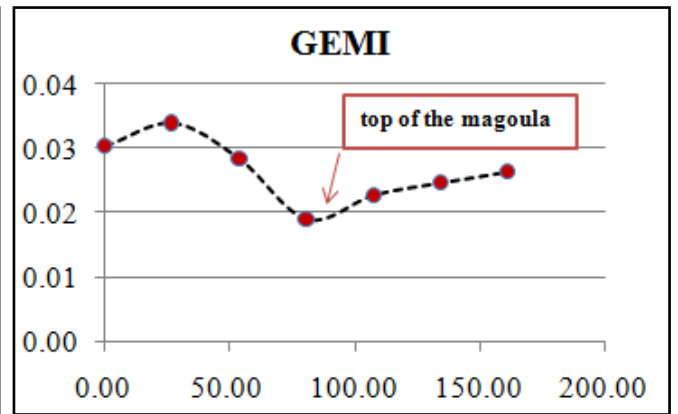
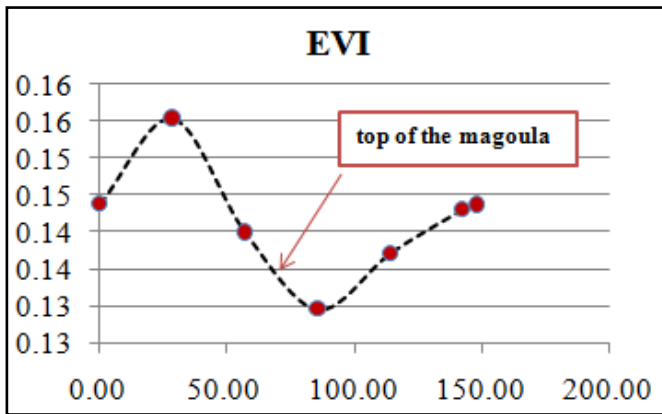
Εικόνα 35: Διάγραμμα ροής δείκτη RVI

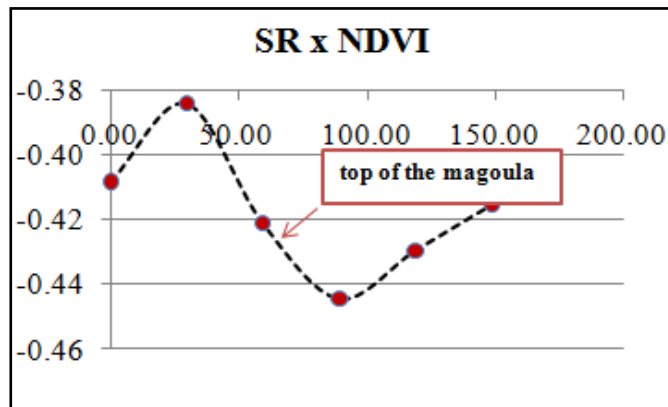
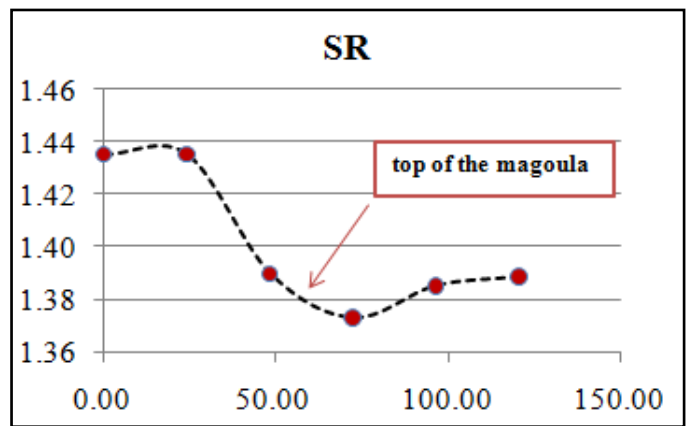
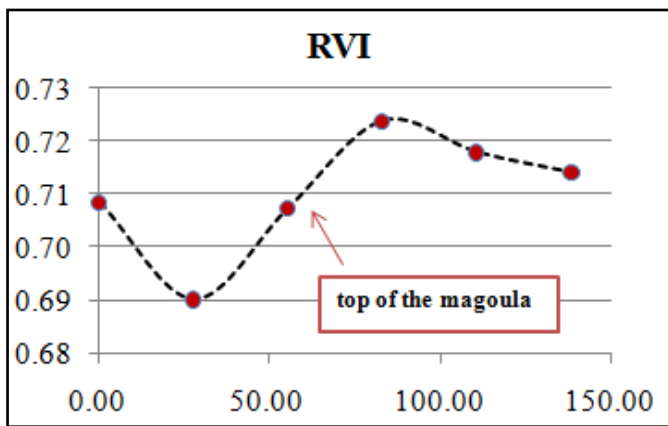
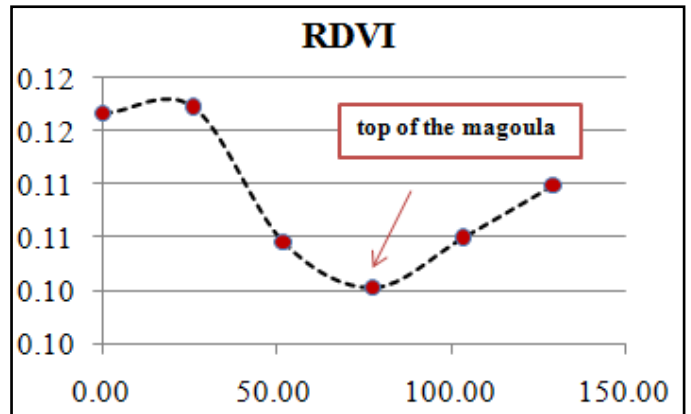
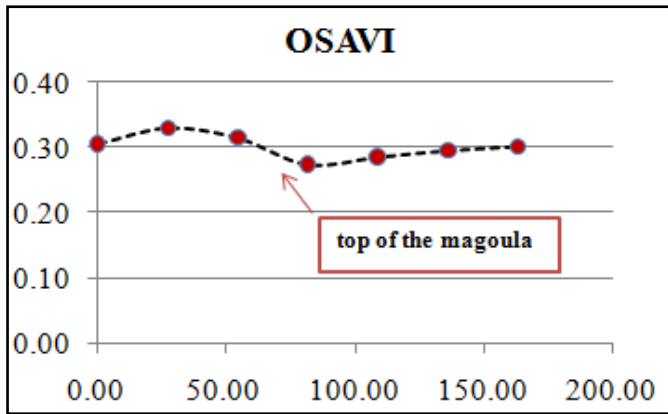
4.4.2 Δημιουργία προφίλ βλάστησης κάθε δείκτη για τις 5 εικόνες

Πιο κάτω παρουσιάζονται τα γραφήματα των προφίλ της βλάστησης για την εικόνα 26-7-2007 για όλους τους δείκτες καθώς και για τα κανάλια 1, 2, 3, 4 αντίστοιχα. Τα υπόλοιπα από τις άλλες εικόνες επισυνάπτονται στα παραρτήματα.

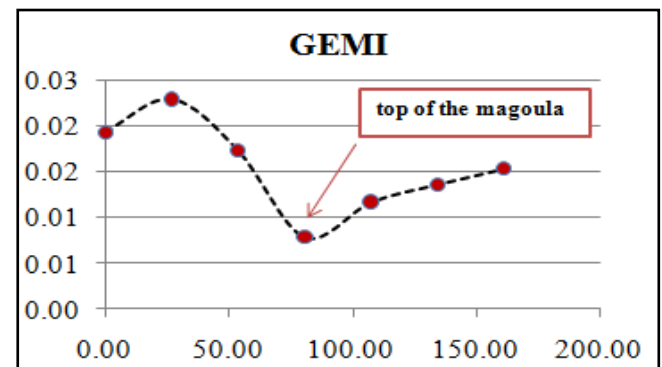
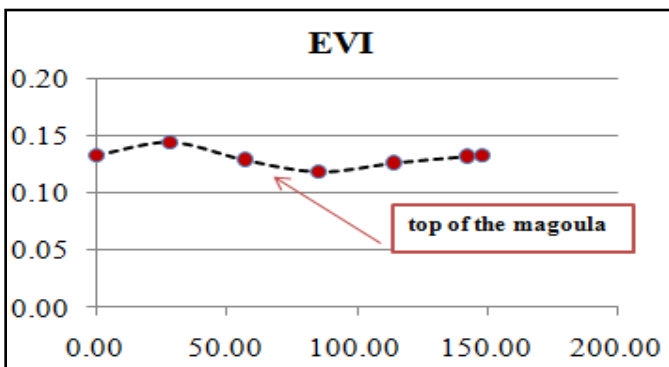
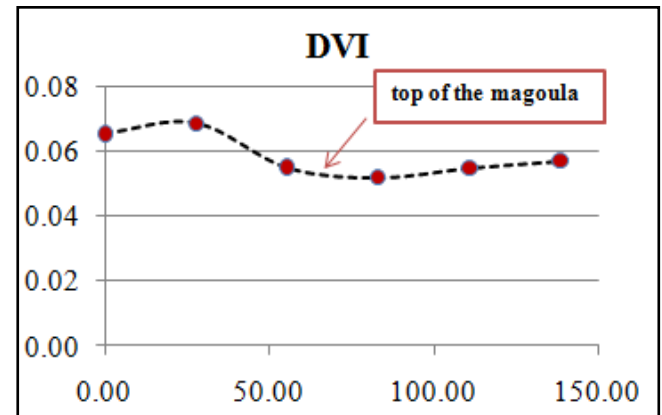
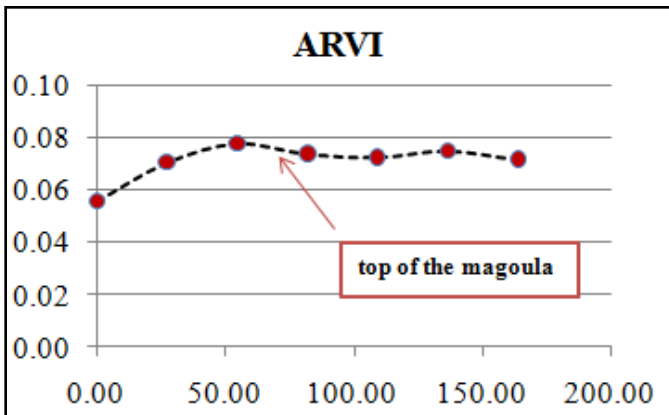
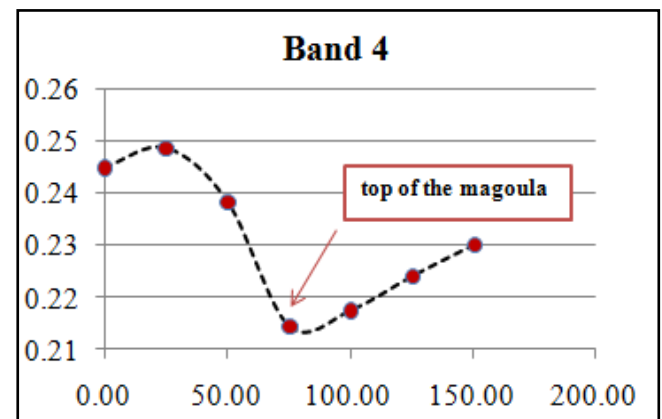
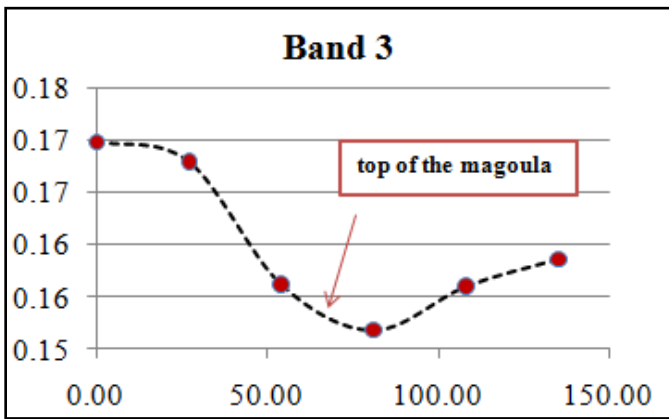
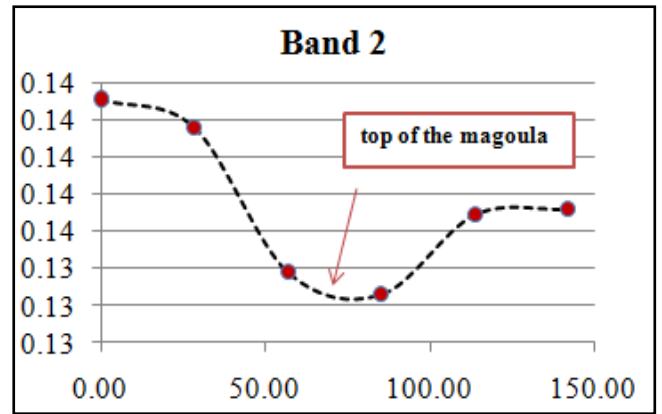
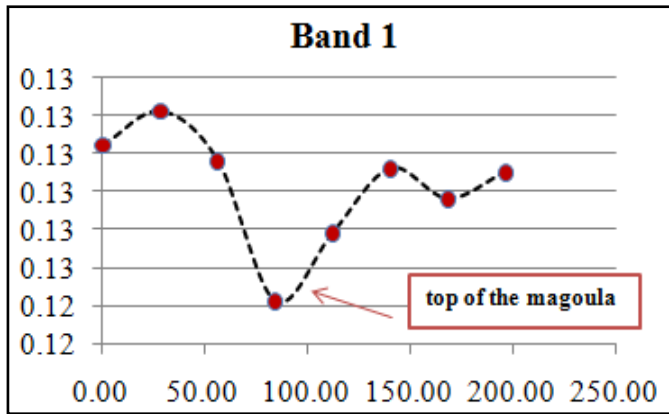
4.4.2.1 Διαγράμματα Εικόνας 26/07/2007

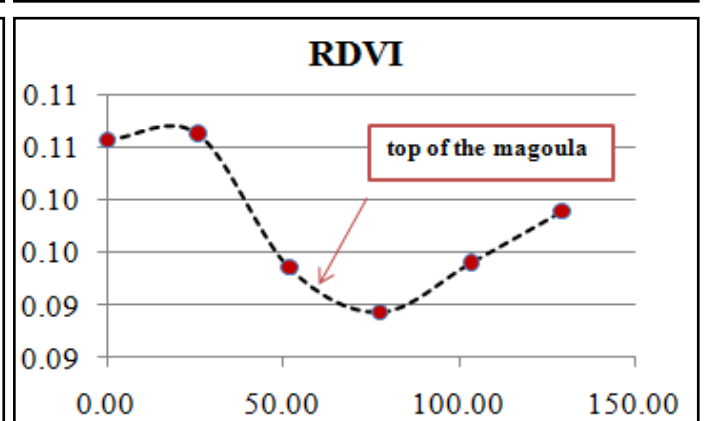
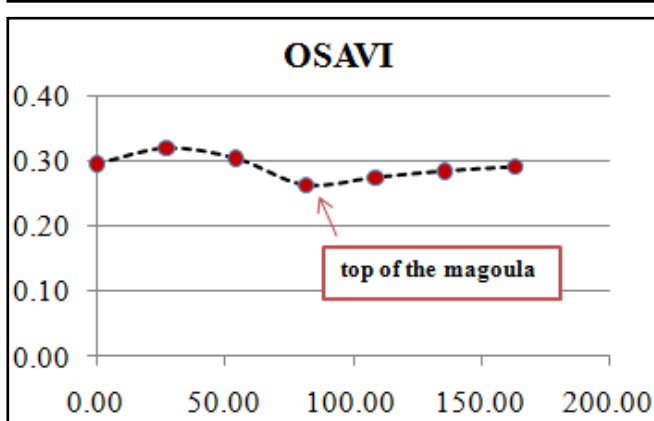
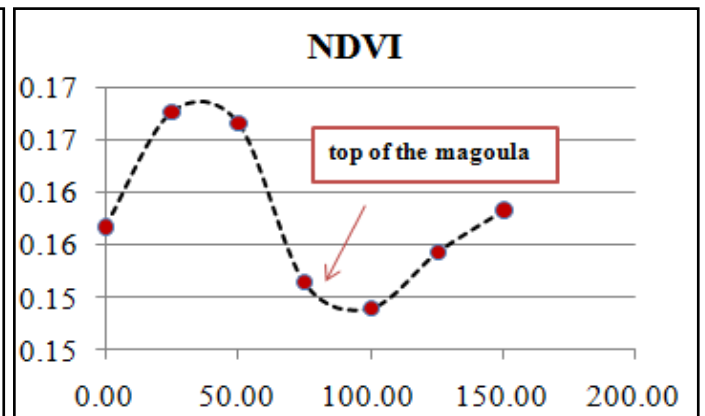
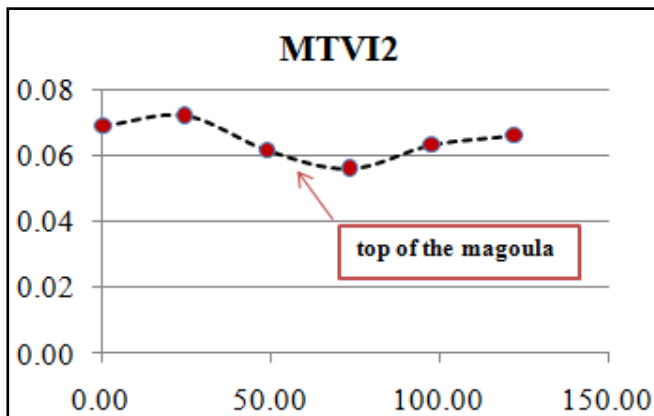
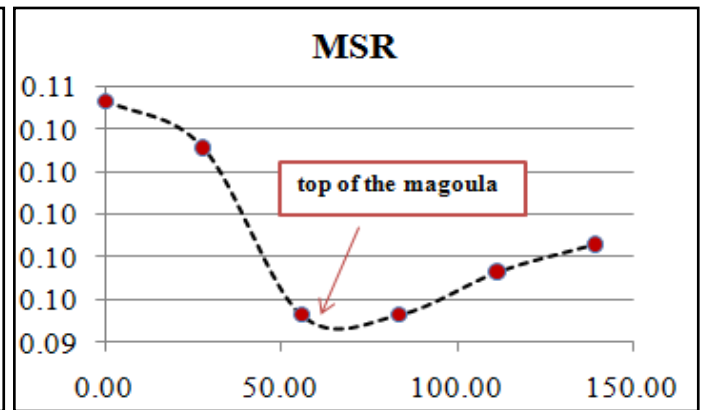
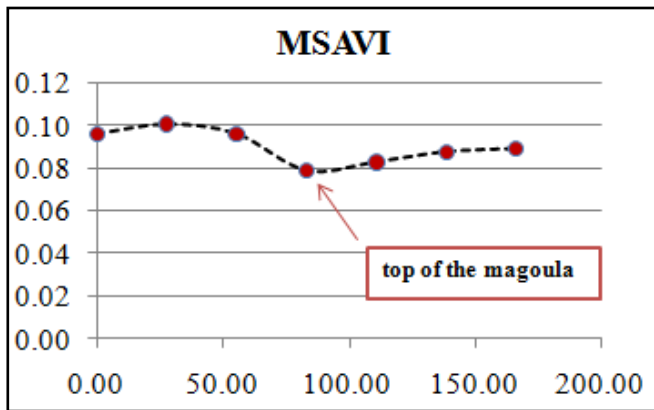
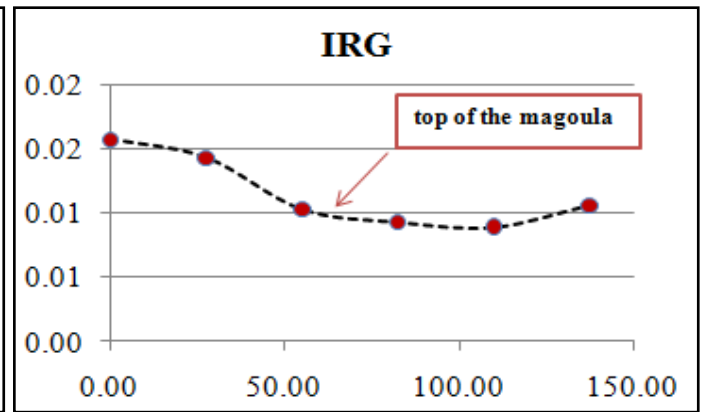
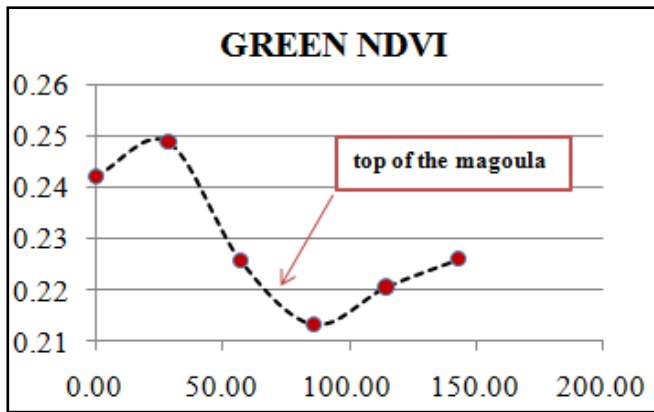


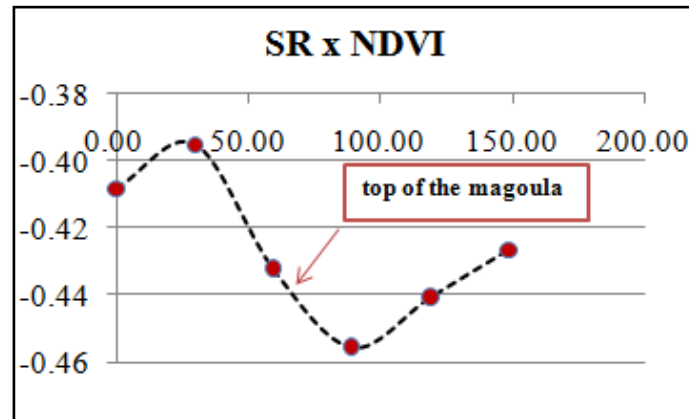
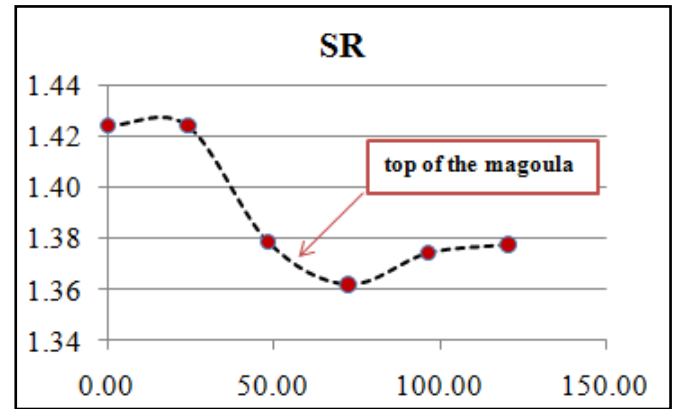
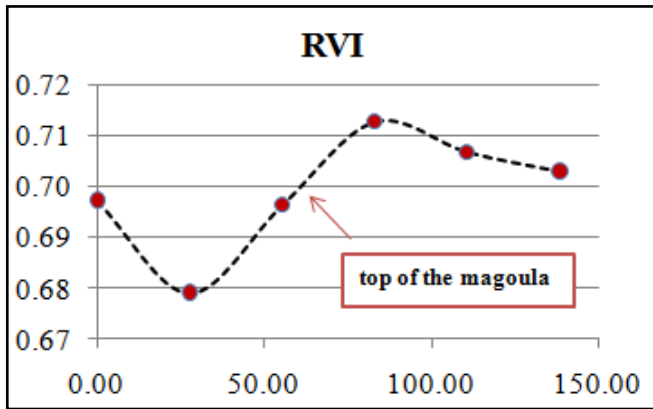




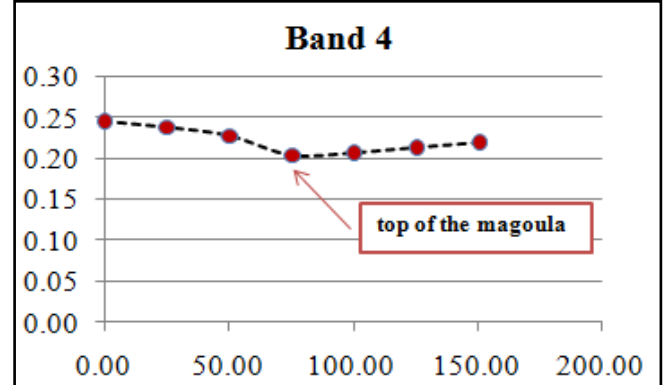
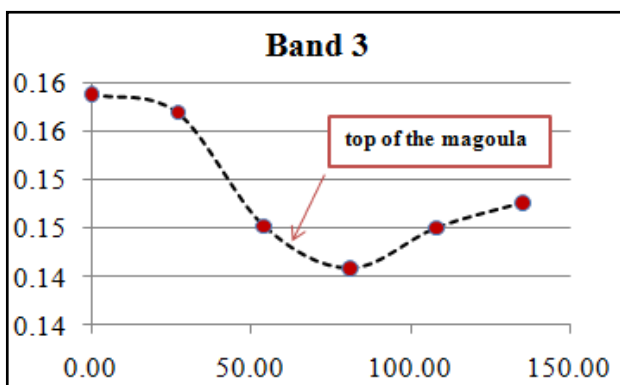
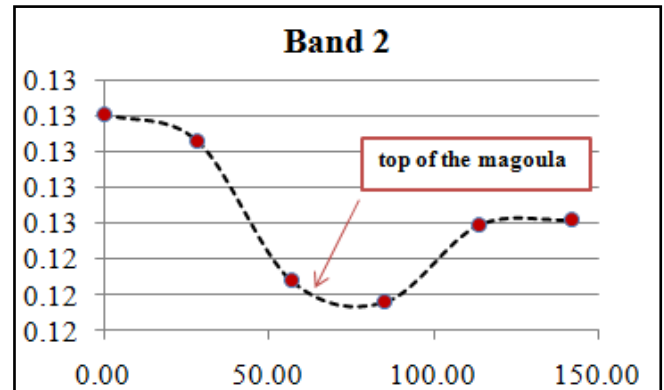
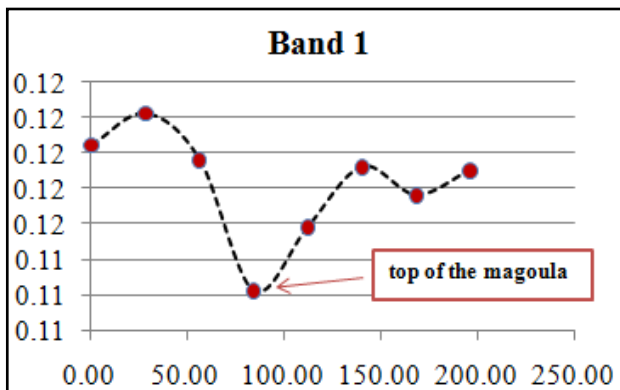
4.4.2.2 Διαγράμματα Εικόνας 15/07/2009

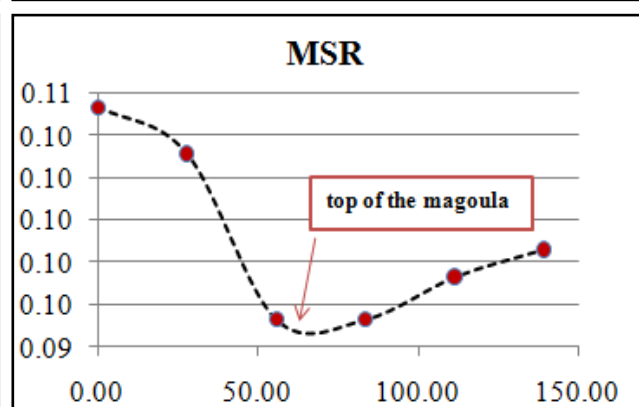
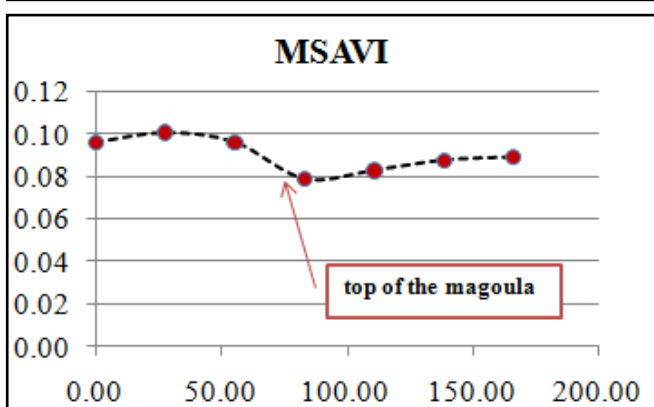
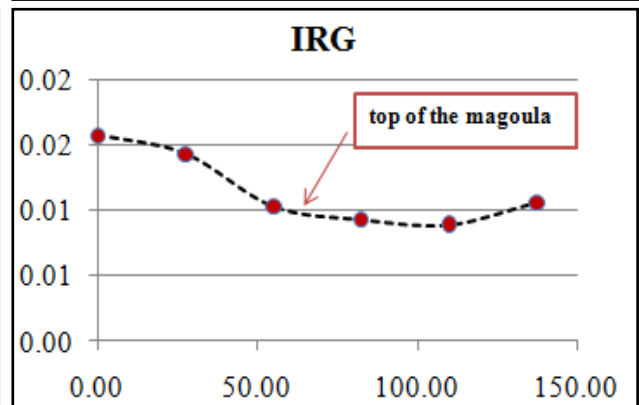
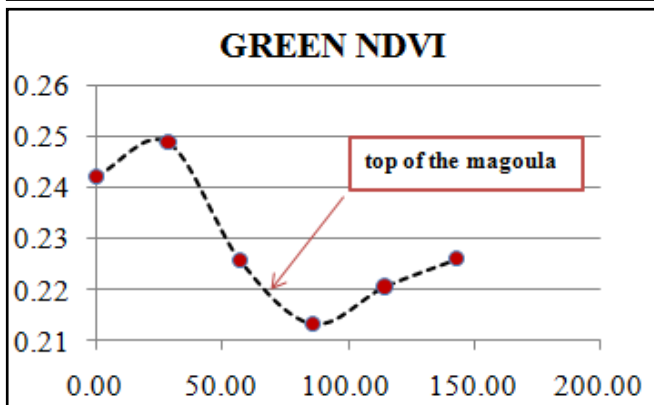
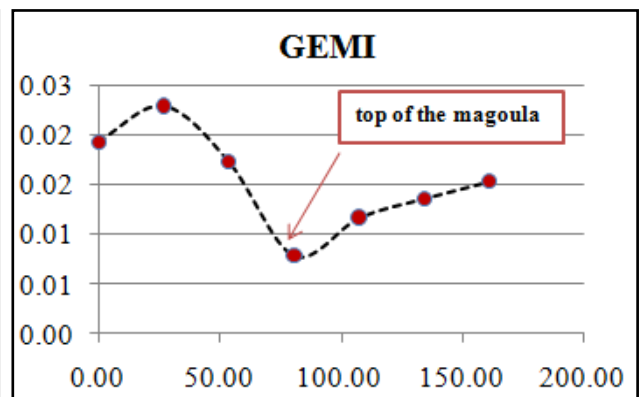
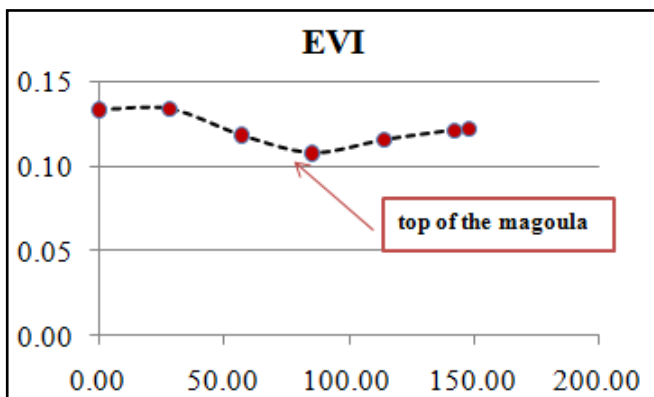
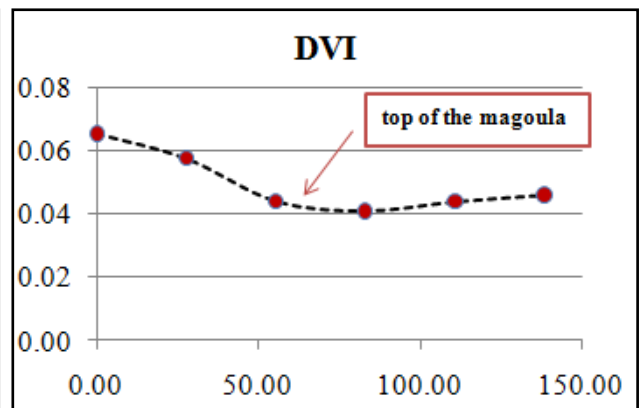
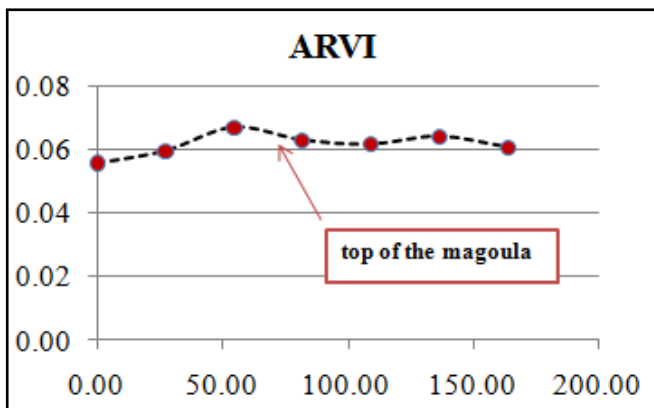


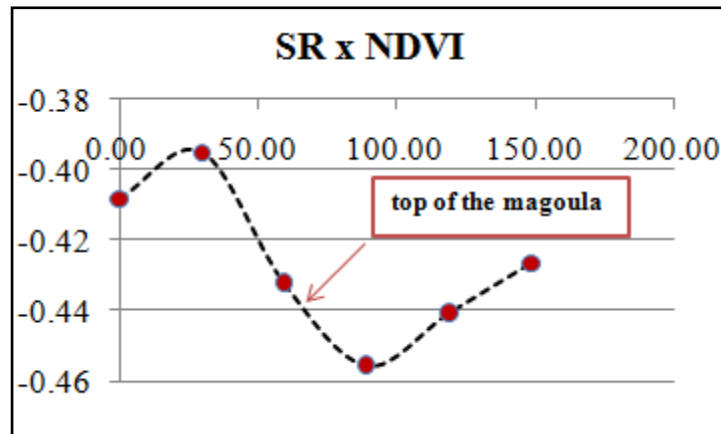
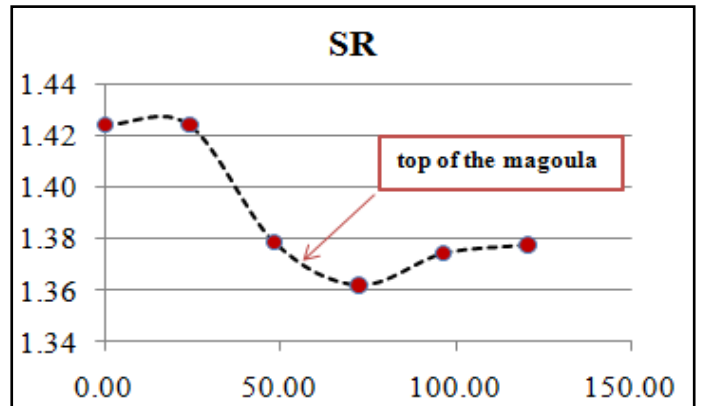
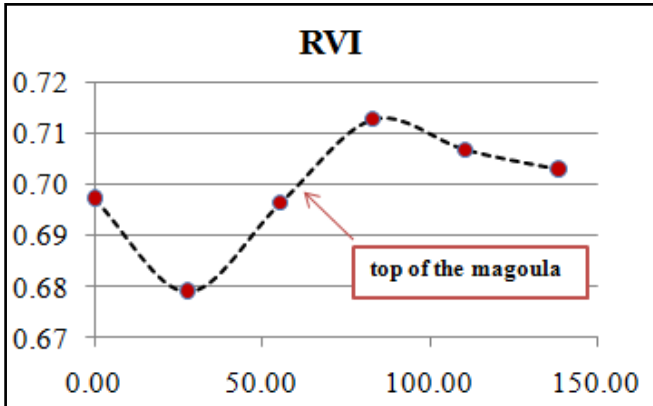
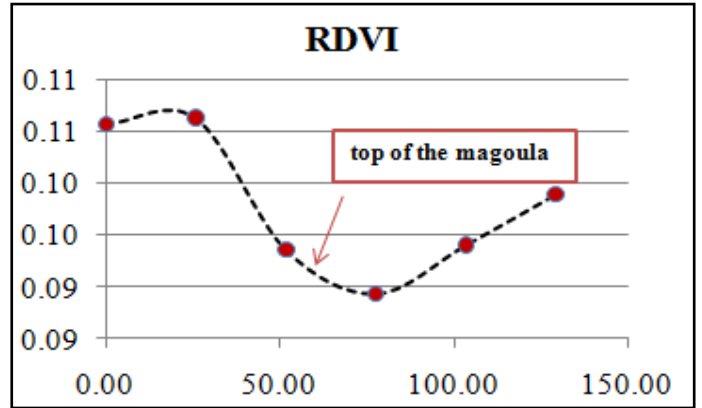
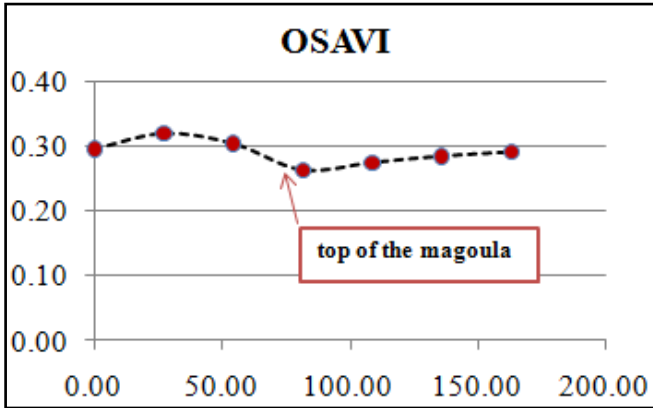
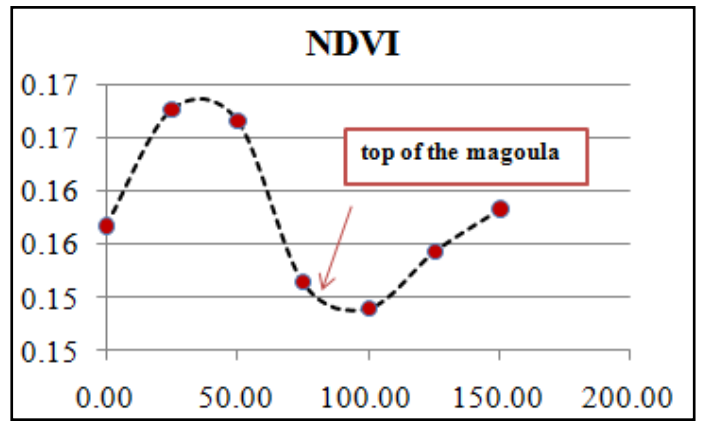
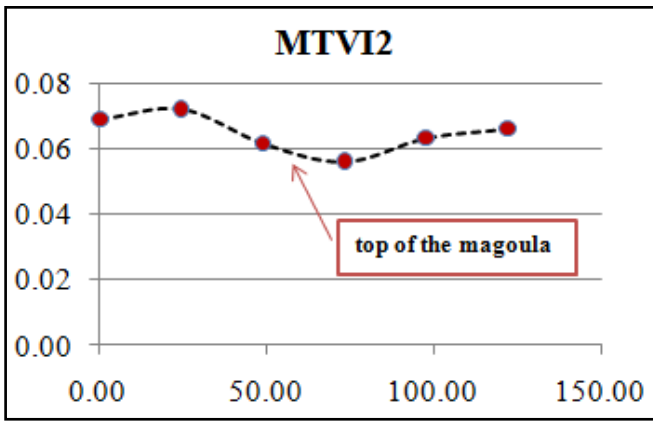




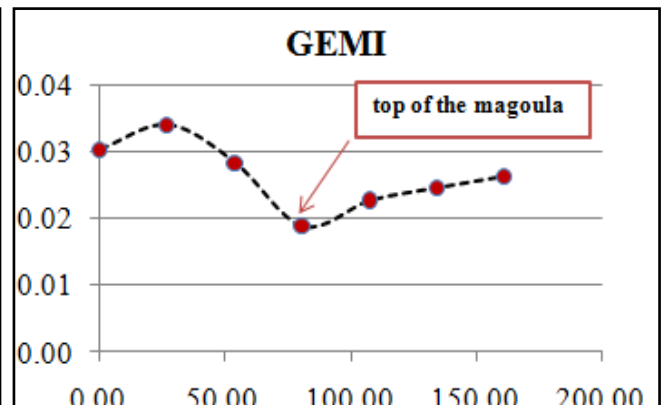
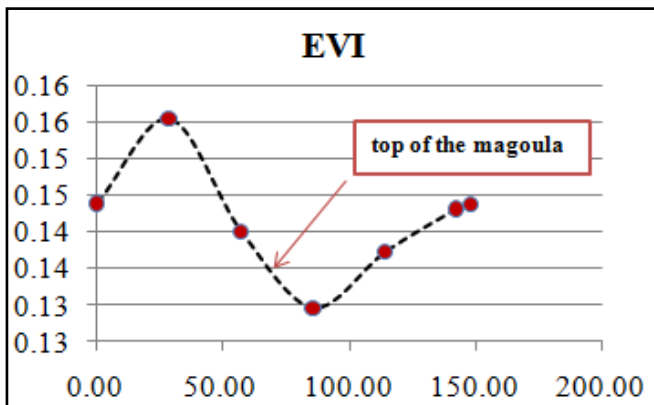
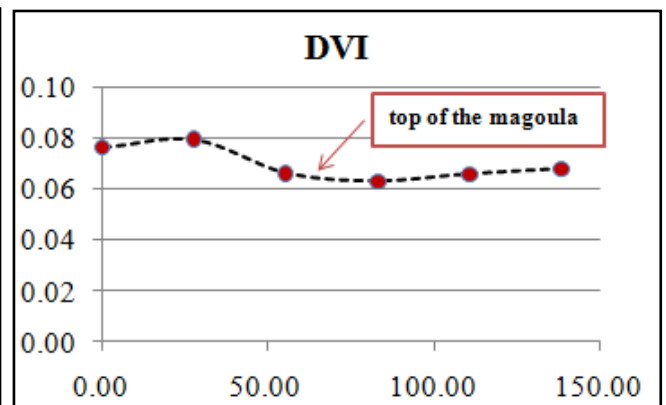
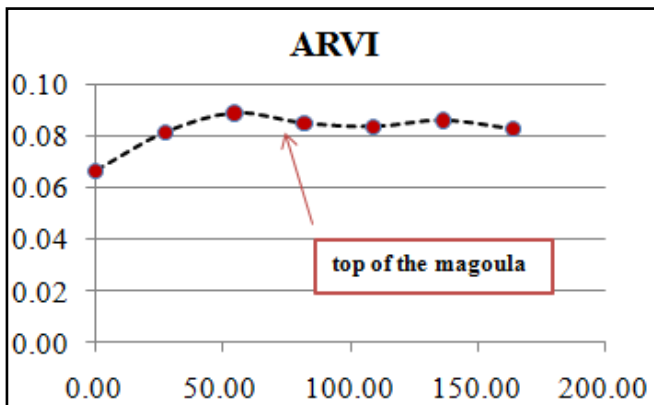
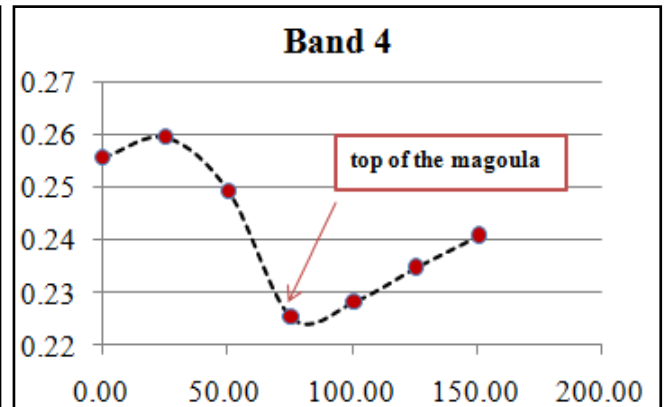
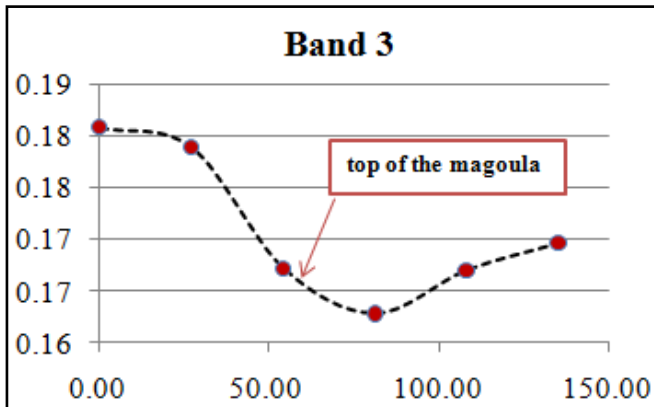
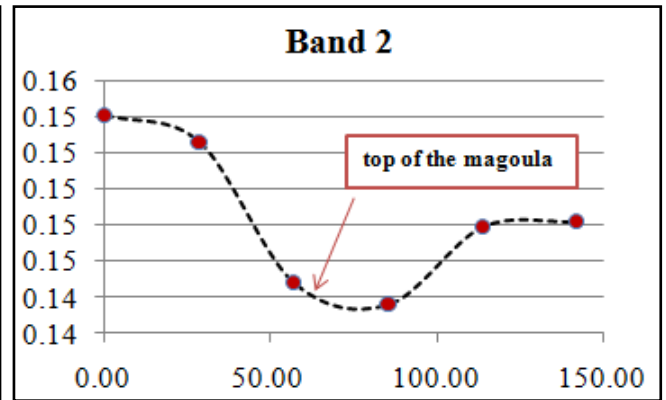
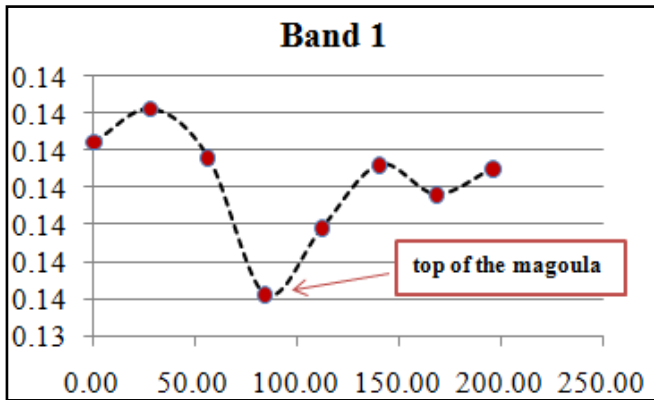
4.4.2.3 Διαγράμματα Εικόνας 24/07/2009

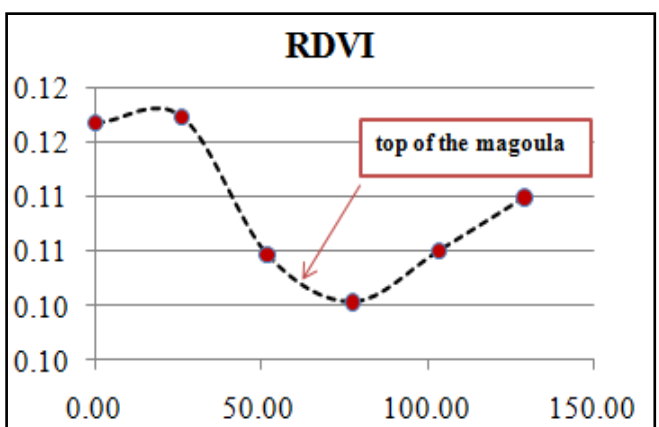
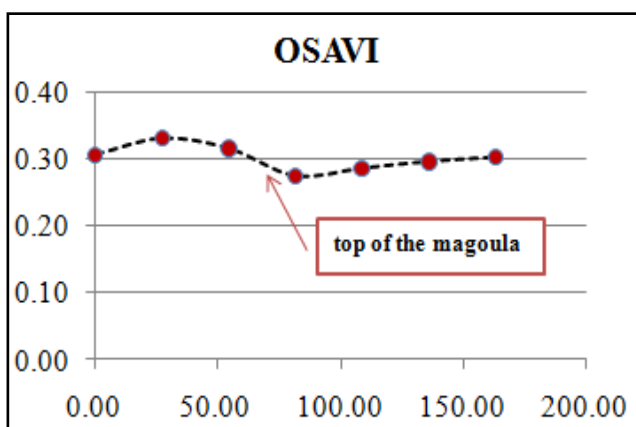
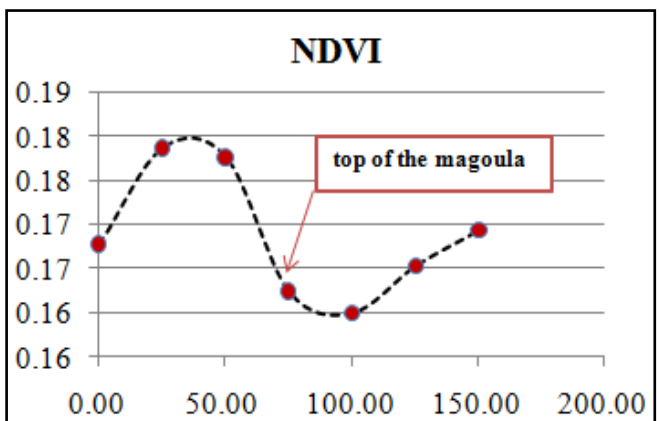
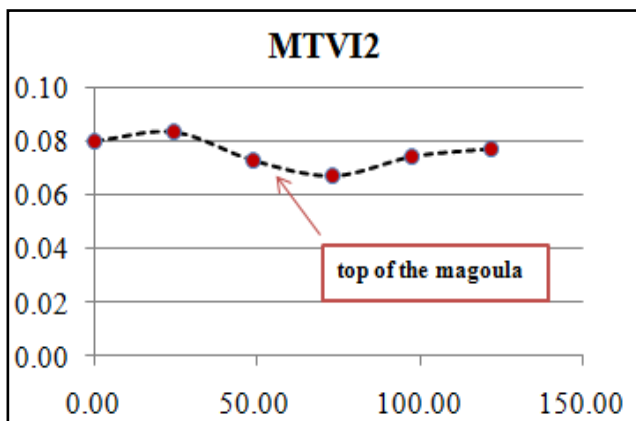
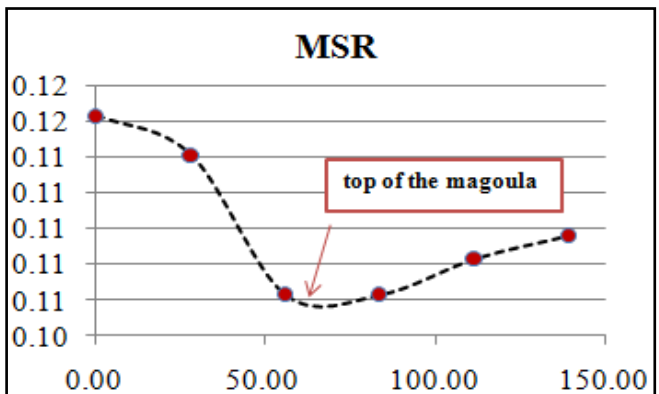
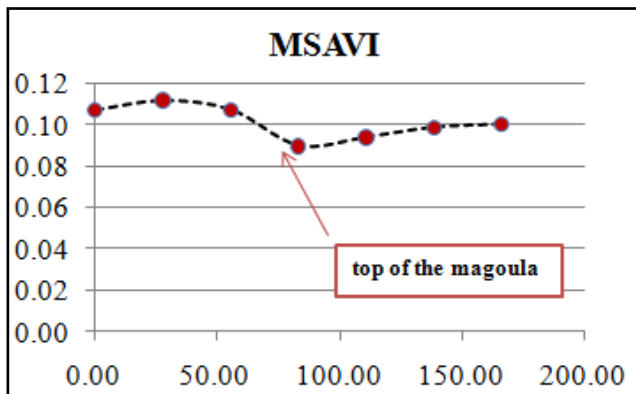
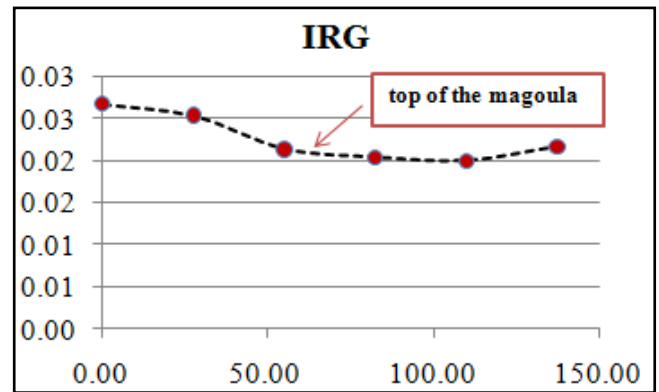
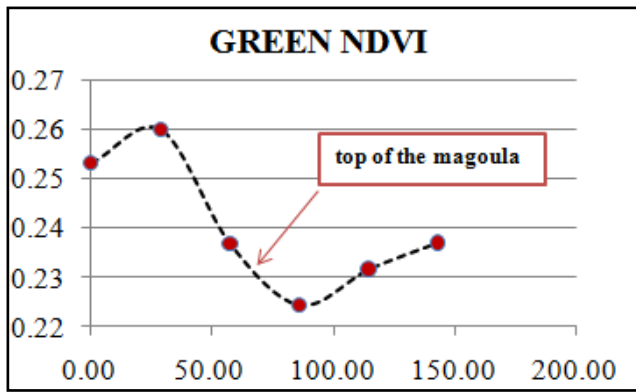


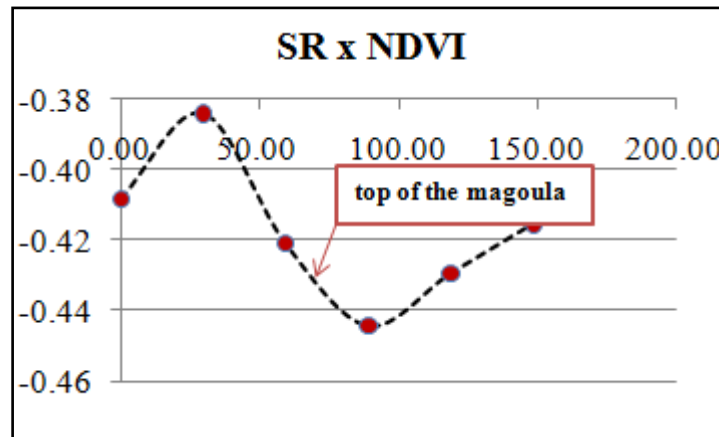
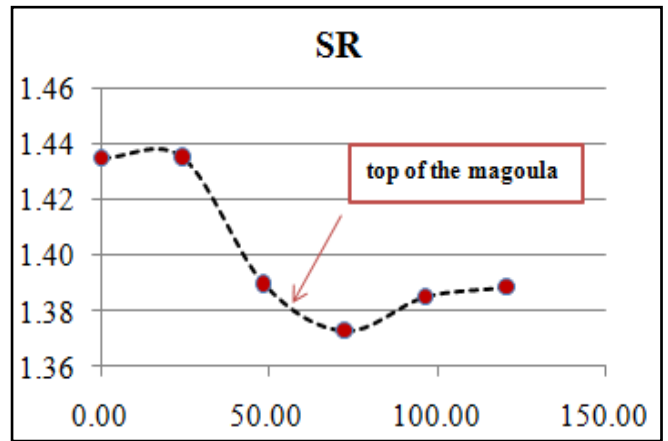
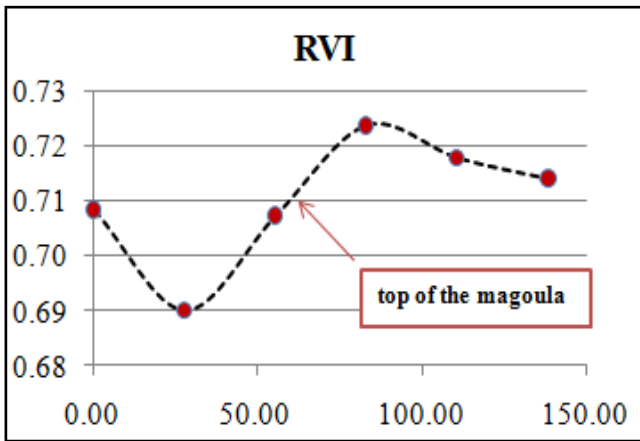




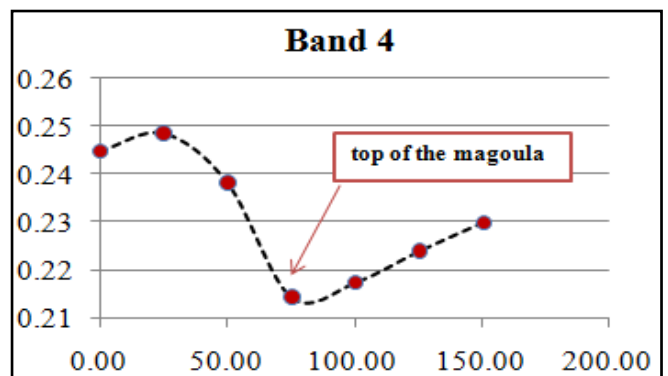
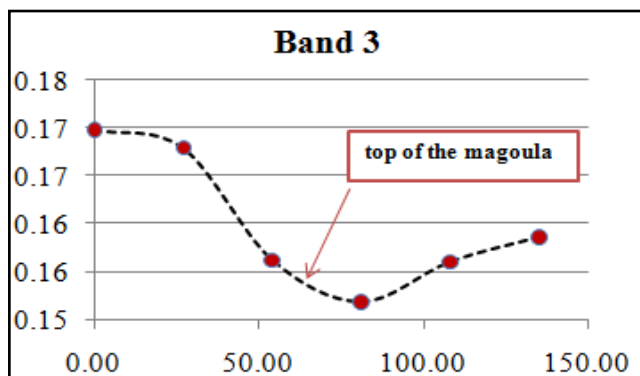
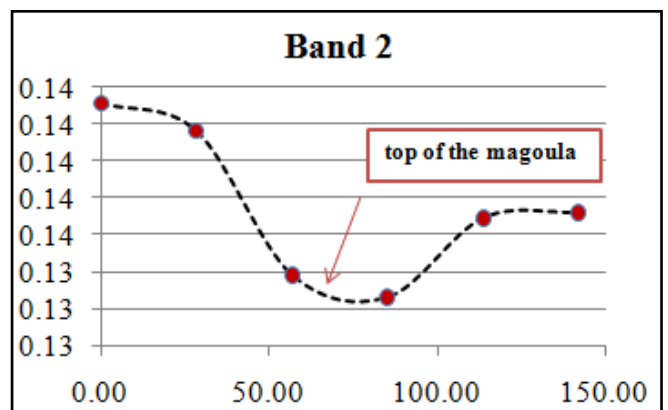
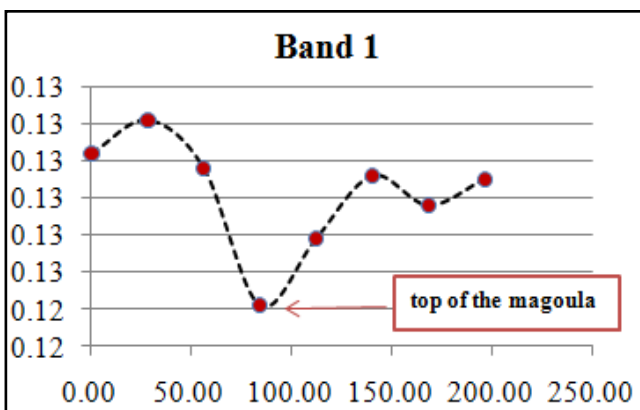
4.4.2.4 Διαγράμματα Εικόνας 31/07/2009

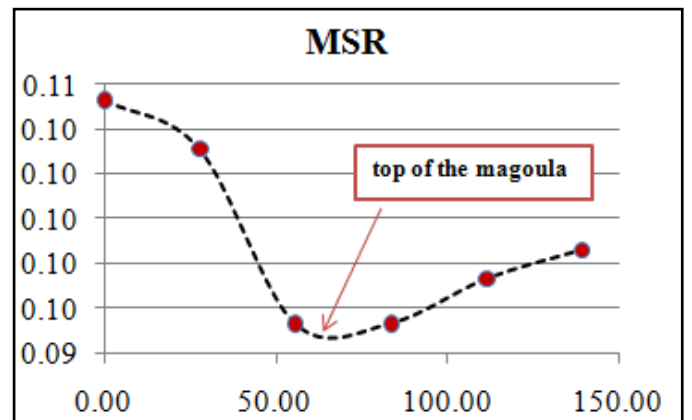
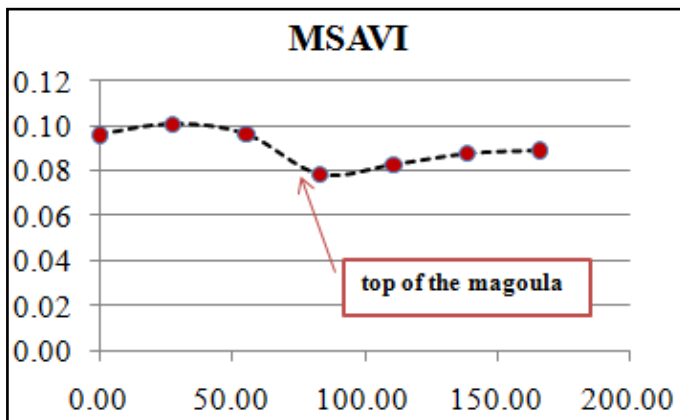
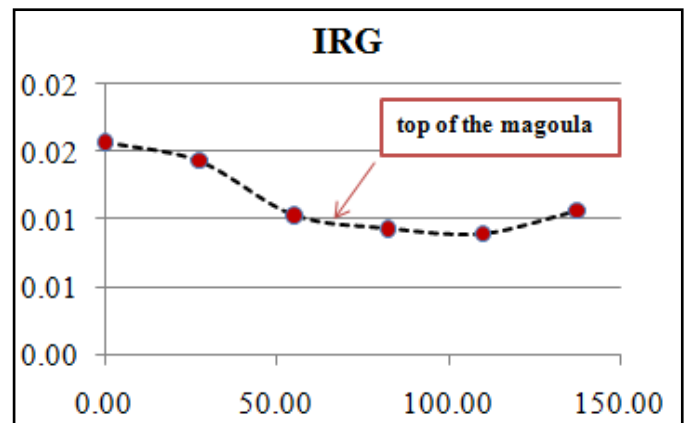
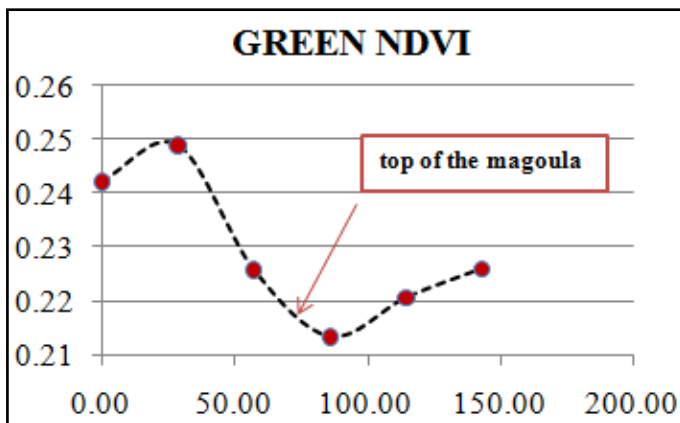
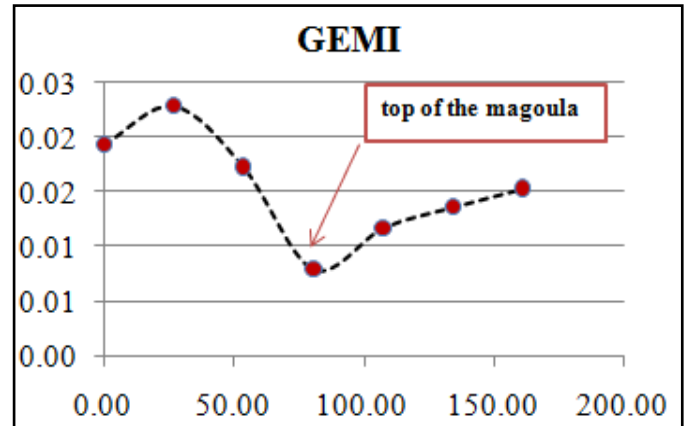
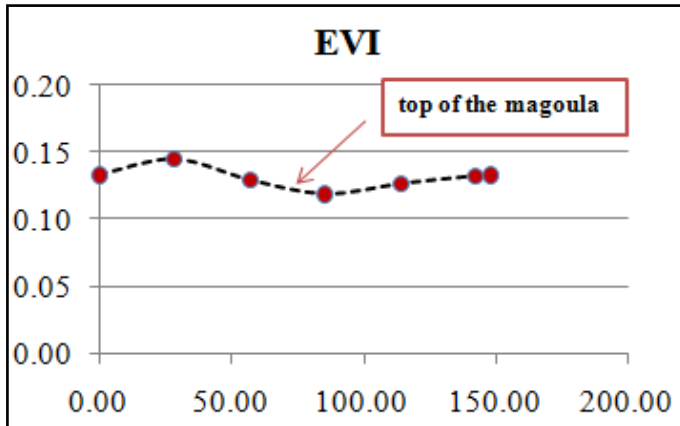
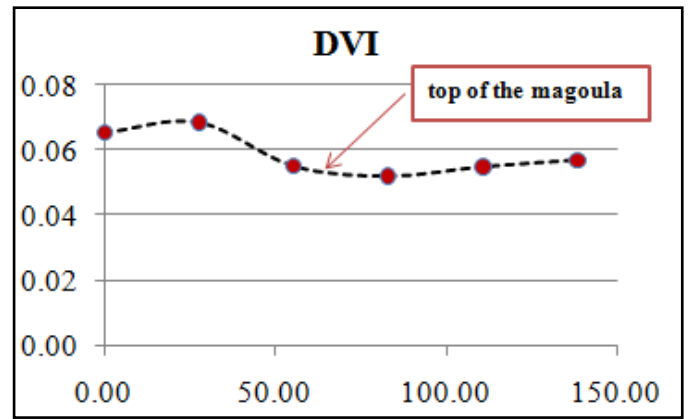
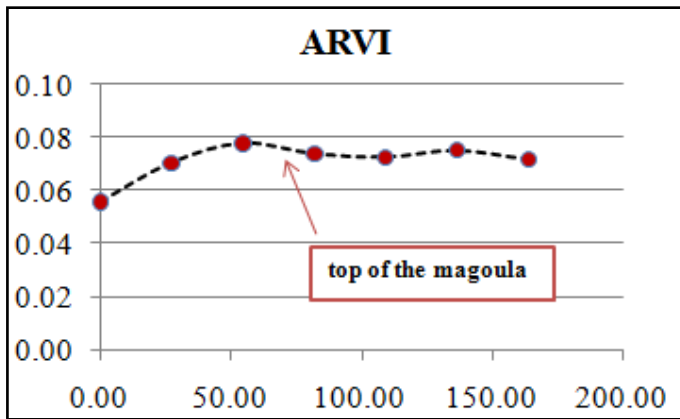


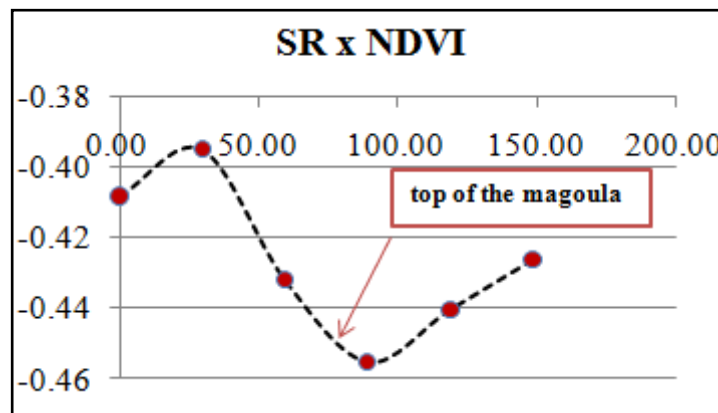
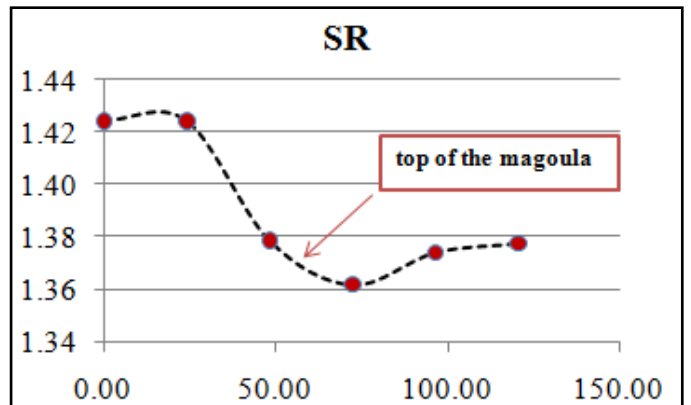
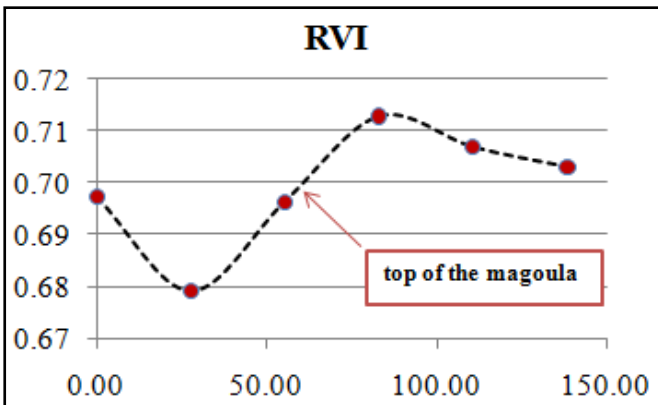
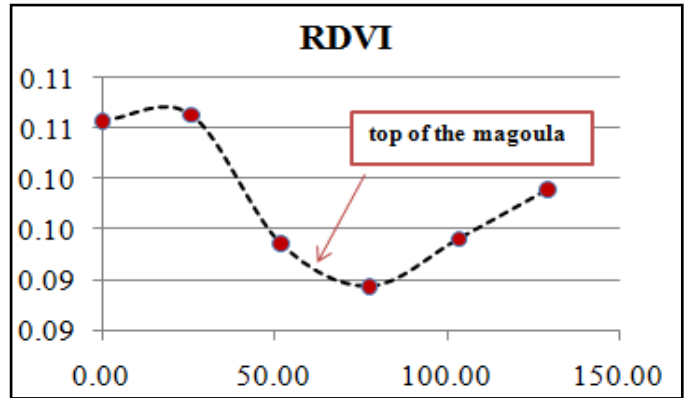
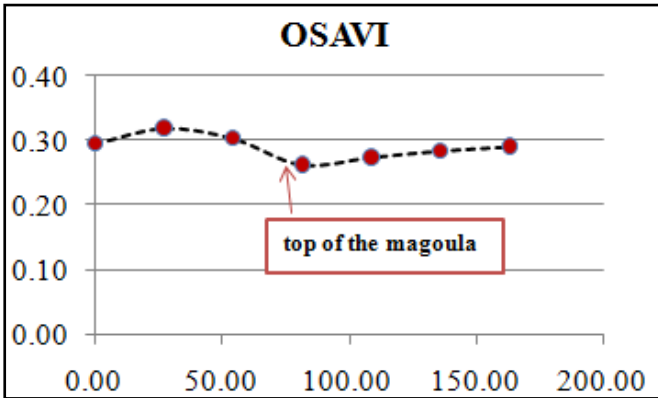
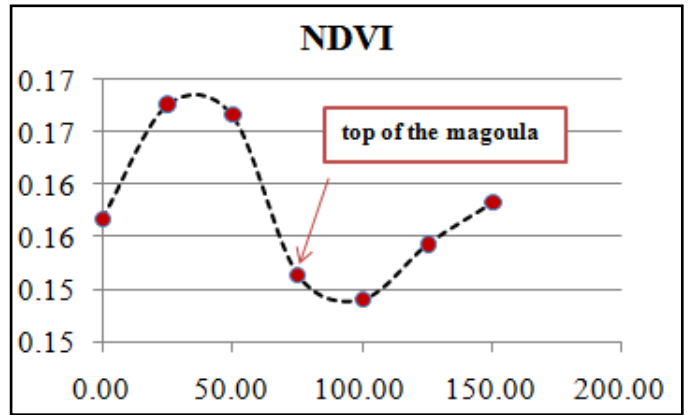
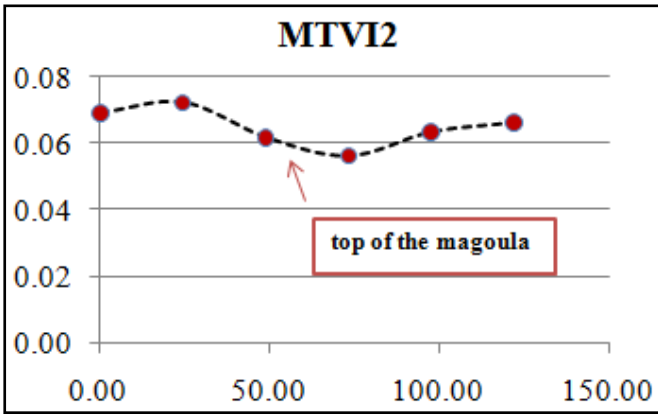




4.4.2.5 Διαγράμματα Εικόνας 20/09/2010







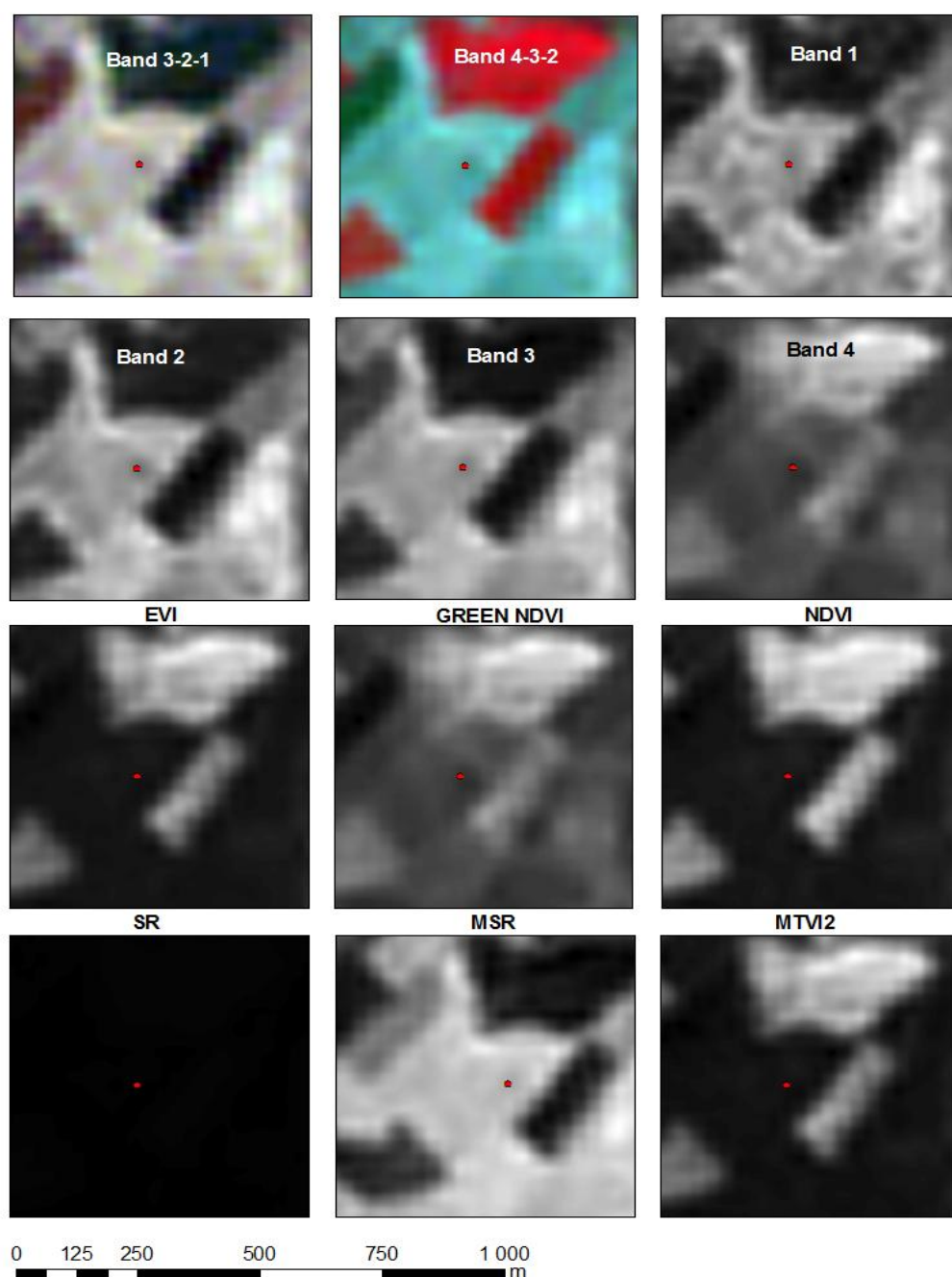
4.4.3 Σχολιασμός προφίλ βλάστησης εικόνων

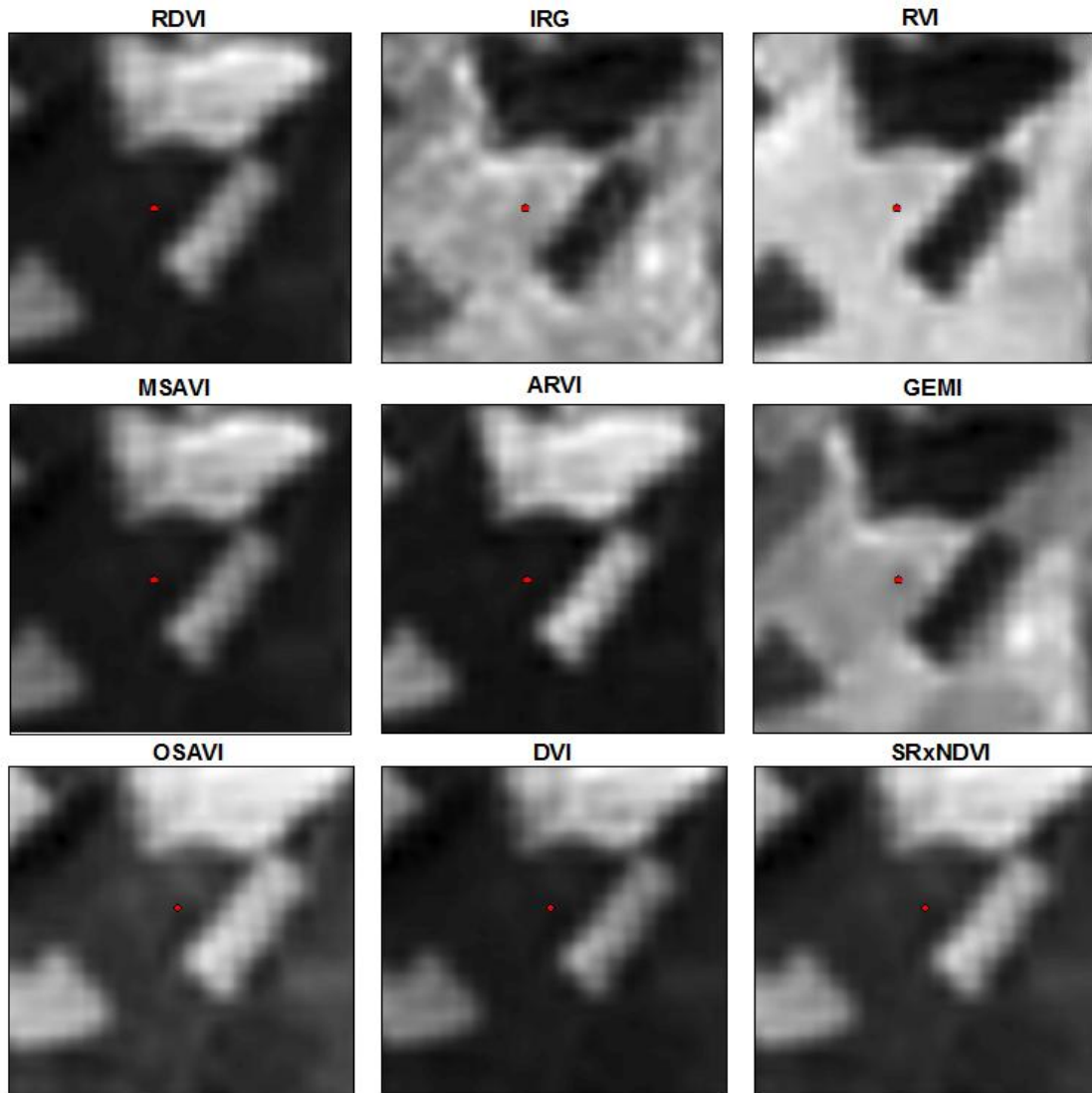
Μέσα από τα προφίλ των 5 εικόνων παρατηρείται μια διαφοροποίηση όσον αφορά τα αποτελέσματα των γραφικών. Από τους 15 πολυφασματικούς δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν ορισμένοι παρουσιάζουν πιο εμφανή στοιχεία όσον αφορά την εμφάνιση της μαγούλας όταν υπάρχει βλάστηση. Αντιθέτως κάποιοι άλλοι μπορούν να δώσουν αποτελέσματα όταν δεν υπάρχει βλάστηση. Μέσα από τα πιο πάνω γραφήματα που παρατηρείται ότι οι δείκτες EVI, GEMI, Green - NDVI, MSR, NDVI, RDVI, RVI, SR και SRxNDVI δίνουν καλύτερα αποτελέσματα από τους υπόλοιπους δείκτες. Αυτό είναι εμφανές, αφού ρίχνοντας μια ματιά στα προφίλ της βλάστησης του καθενός, βλέπουμε ότι η μαγούλα μπορεί και διακρίνεται πολύ πιο εύκολα. Οι υπόλοιποι δείκτες, ο ARVI, DVI, IRG, MSAVI, MTVI2 και OSAVI δεν δίνουν τόσο καλά αποτελέσματα όσον αφορά την αρχαιολογική θέση που μελετήθηκε. Στα δικά τους προφίλ βλάστησης δεν είναι ευδιάκριτη η μαγούλα και έτσι δεν μπορεί να ανιχνευτεί και να εντοπιστεί η νεολιθική θέση του Αλμυρού II. Αυτοί οι δείκτες μπορεί να είναι χρήσιμοι και να δίνουν στοιχεία σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει βλάστηση. Επομένως μέσα από την εξαγωγή αυτών των αποτελεσμάτων ενδυναμώνεται και ο αρχικός στόχος που ήταν η εύρεση και άλλων δεικτών βλάστησης που δεν χρησιμοποιούνται ευρέως όπως ο NDVI, ο SR, κ.τ.λ. Όλοι αυτοί οι δείκτες αν και δεν είναι τόσο γνωστοί σήμερα εντούτοις αποδεικνύεται ότι δίνουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ο καθένας ανάλογα με την περίπτωση της περιοχής που μελετάται κάθε φορά μπορεί να διαδραματίσει το δικό του ρόλο στην έρευνα. Είναι σίγουρο ότι η εφαρμογή περισσότερων δεικτών βλάστησης, η χρήση δορυφορικών εικόνων και γενικότερα η χρήση δορυφορικών δεδομένων σε μια αρχαιολογική έρευνα, μπορούν να ενισχύσουν τα τελικά αποτελέσματα. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εν λόγω μελέτη της θέσης του Αλμυρού στο Θεσσαλικό κάμπο σε συνδυασμό με την χρήση των μεθόδων της δορυφορικής τηλεπισκόπησης βοηθούν σε μεγάλο βαθμό μια αρχαιολογική έρευνα που διεξάγεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πιο κάτω παρουσιάζονται οι πολυφασματικές εικόνες Landsat που χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση της νεολιθικής θέσης του *Αλμυρού II* του Θεσσαλικού κάμπου. Προστίθενται για τις 5 δορυφορικές εικόνες και οι 15 δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα κανάλια 1-4 του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Με κόκκινο σημείο φαίνεται η εξεταζόμενη αρχαιολογική θέση. Παρατίθενται πιο κάτω οι σχολιασμοί των εικόνων αυτών.

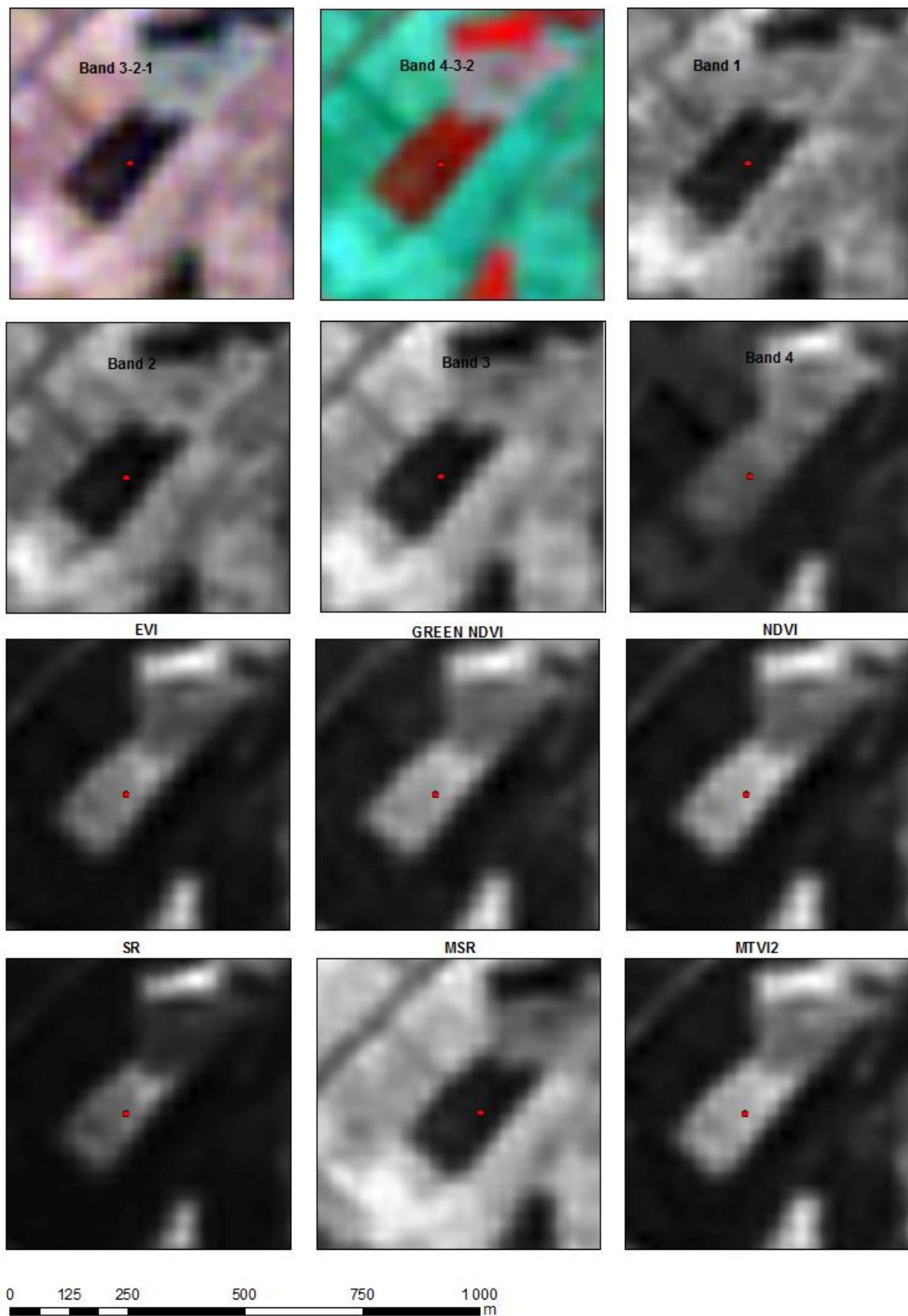
5.1 Εικόνα 26/07/2007

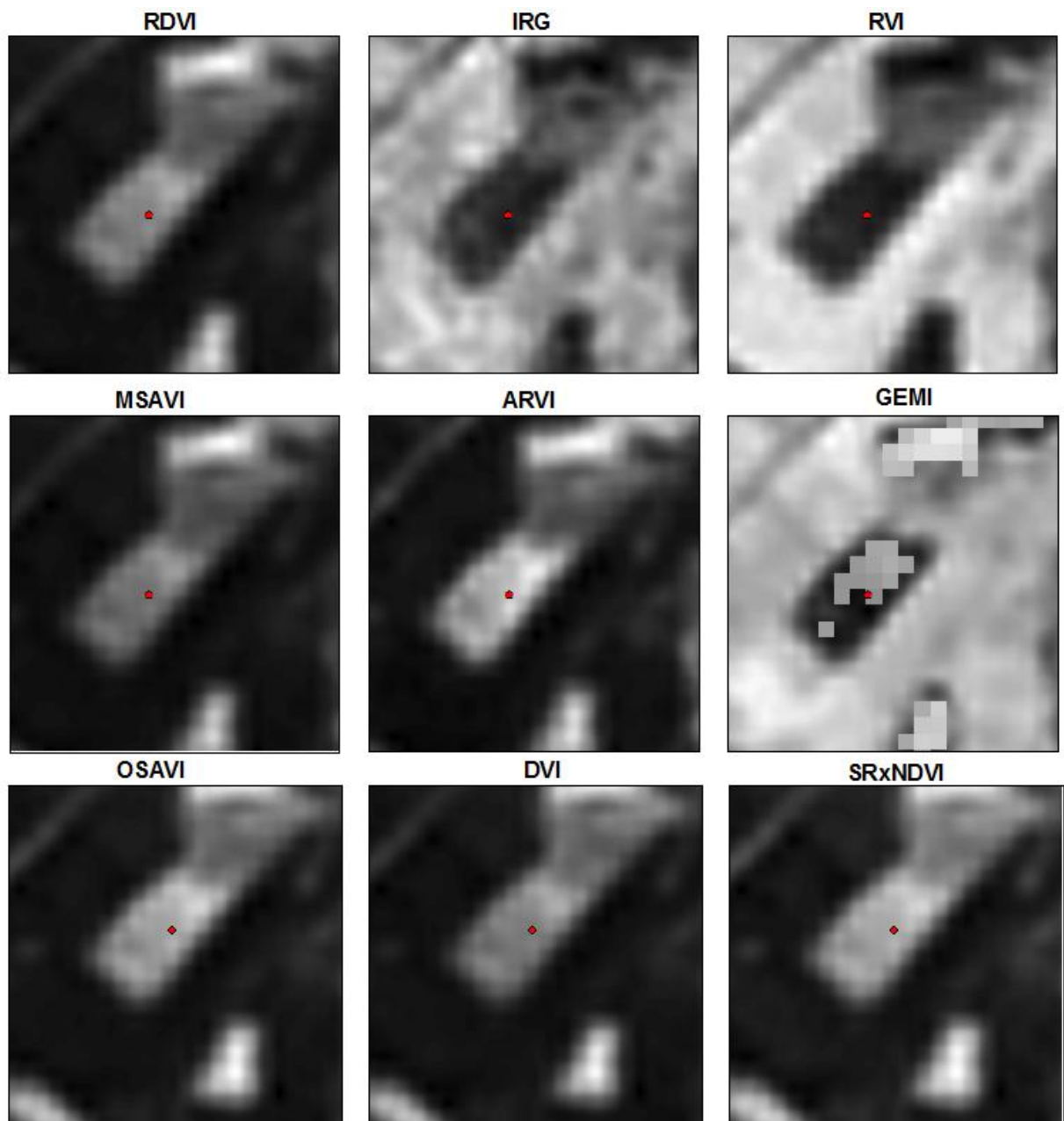




Πιο πάνω παρουσιάζονται οι πολυφασματικές εικόνες Landsat πολυφασματικές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση της Νεολιθικής θέσης *Αλμυρός II* (υποδεικνύεται με μια κόκκινη κηλίδα) στο θεσσαλικό κάμπο, μετά την εφαρμογή των 15 δεικτών που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ταυτόχρονα παρουσιάζονται οι εικόνες με τους ψευδοχρωματικούς (pseudo-color) συνδυασμούς των καναλιών R-G-B (3-2-1) και VNIR-R-G (4-3-2), καθώς και τα κανάλια 1,2,3,4 αντίστοιχα. Στην εικόνα αυτή η νεολιθική θέση του Αλμυρού II είναι σαφώς ορατή στους δείκτες Green NDVI, MSR, IRG, IRV, GEMI, και OSAVI. Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται τα αντίστοιχα στοιχεία, με διαφοροποίηση όμως όσον αφορά την ορατότητα της μαγούλας στον κάθε δείκτη.

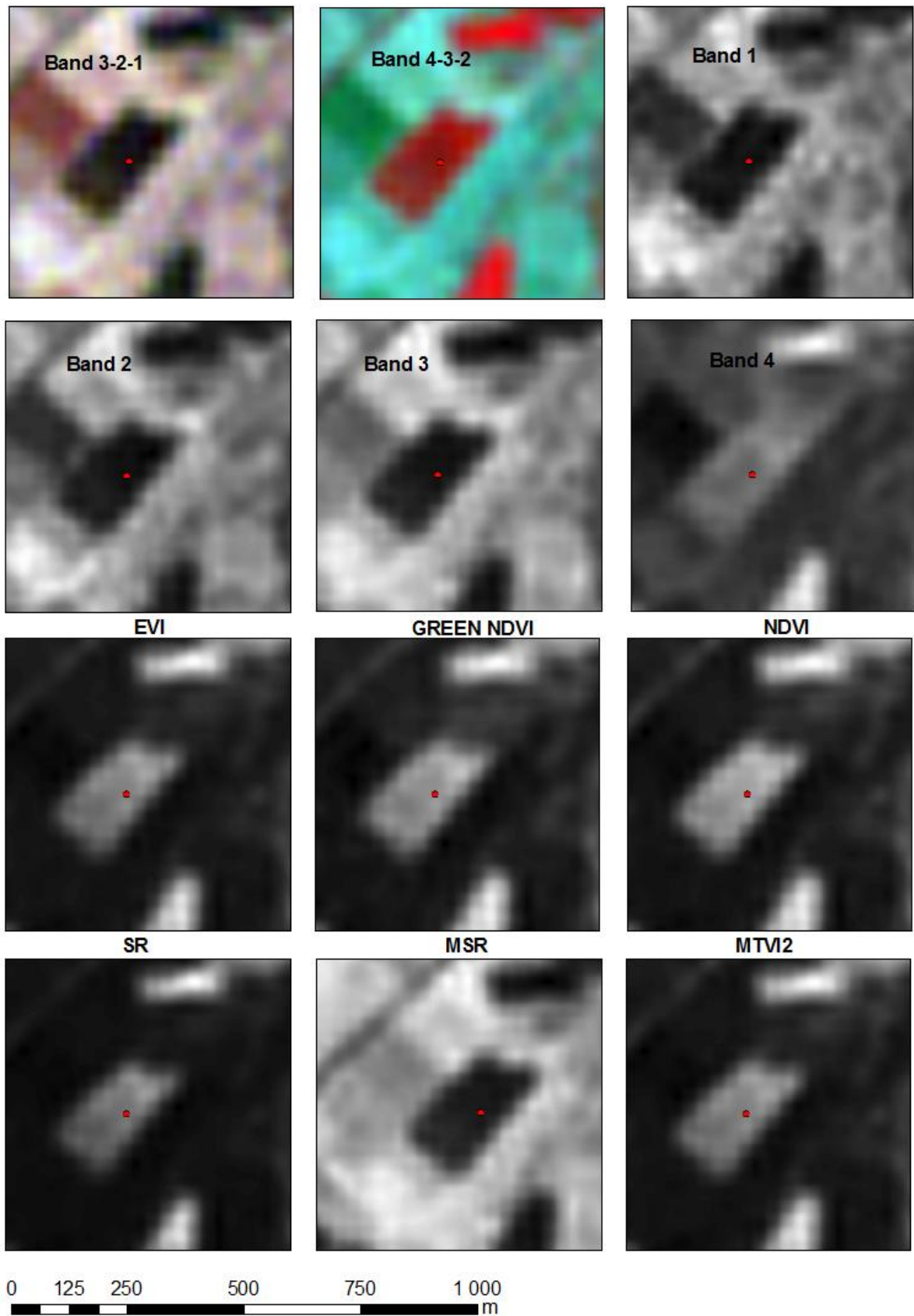
5.2 Εικόνα 15/07/2009

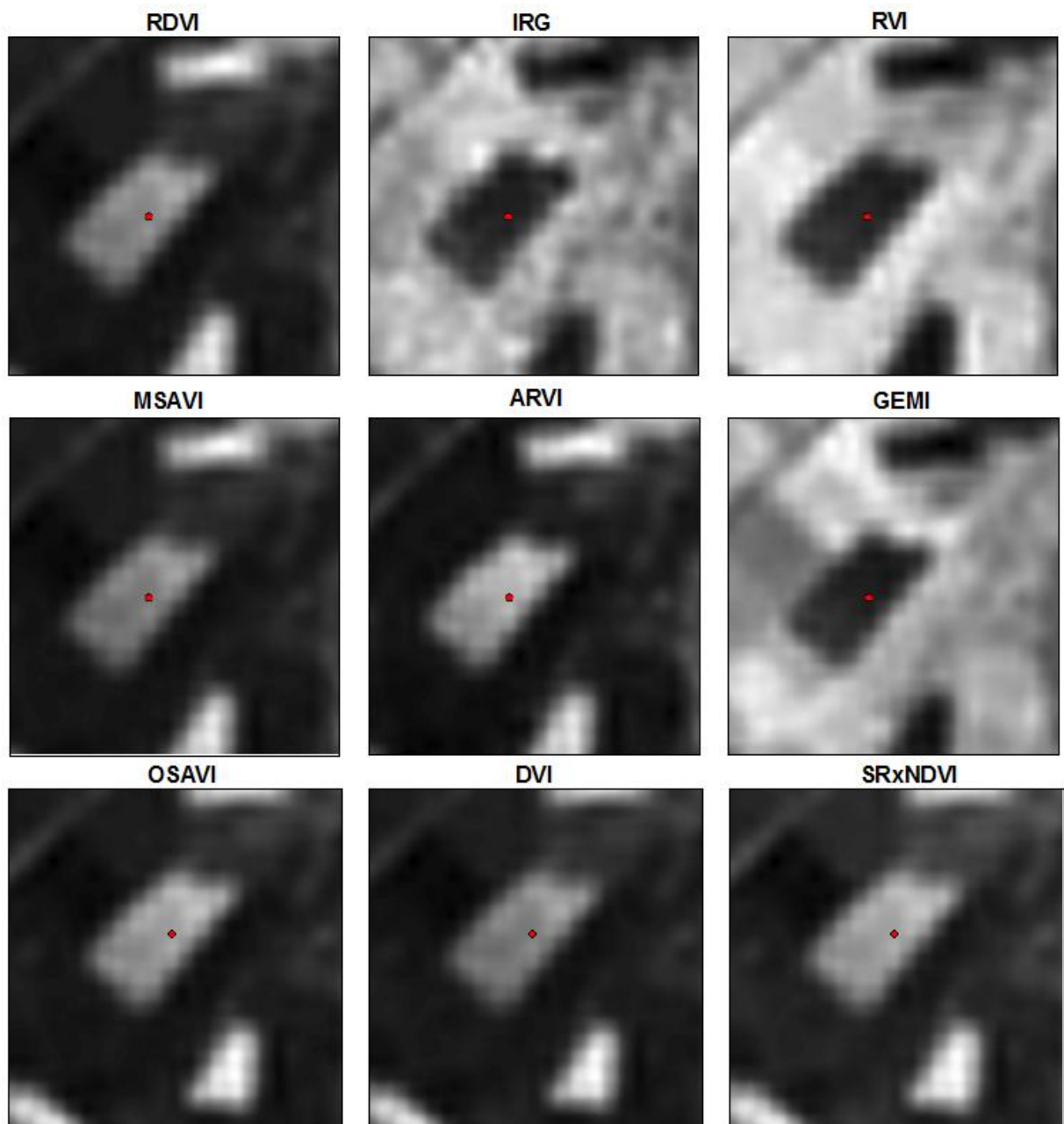




Στην εικόνα αυτή παρατηρείται έντονη ορατότητα στους δείκτες EVI, Green NDVI, NDVI, SR, MTVI2, RDVI, MSAVI, ARVI, OSAVI, DVI και SRxNDVI. Στους υπόλοιπους δείκτες η μαγούλα δεν διακρίνεται τόσο καλά.

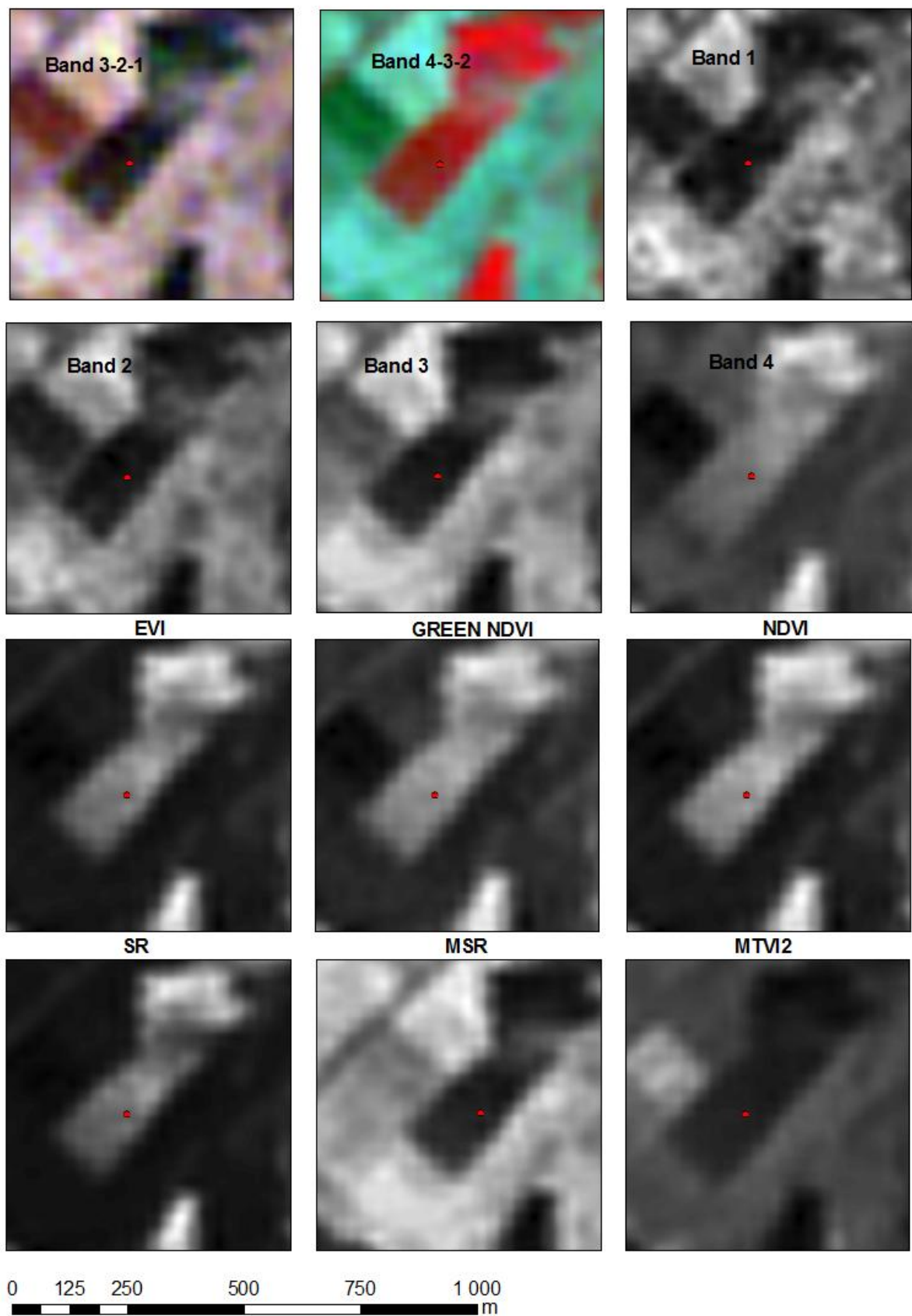
5.3 Εικόνα 24/07/2009

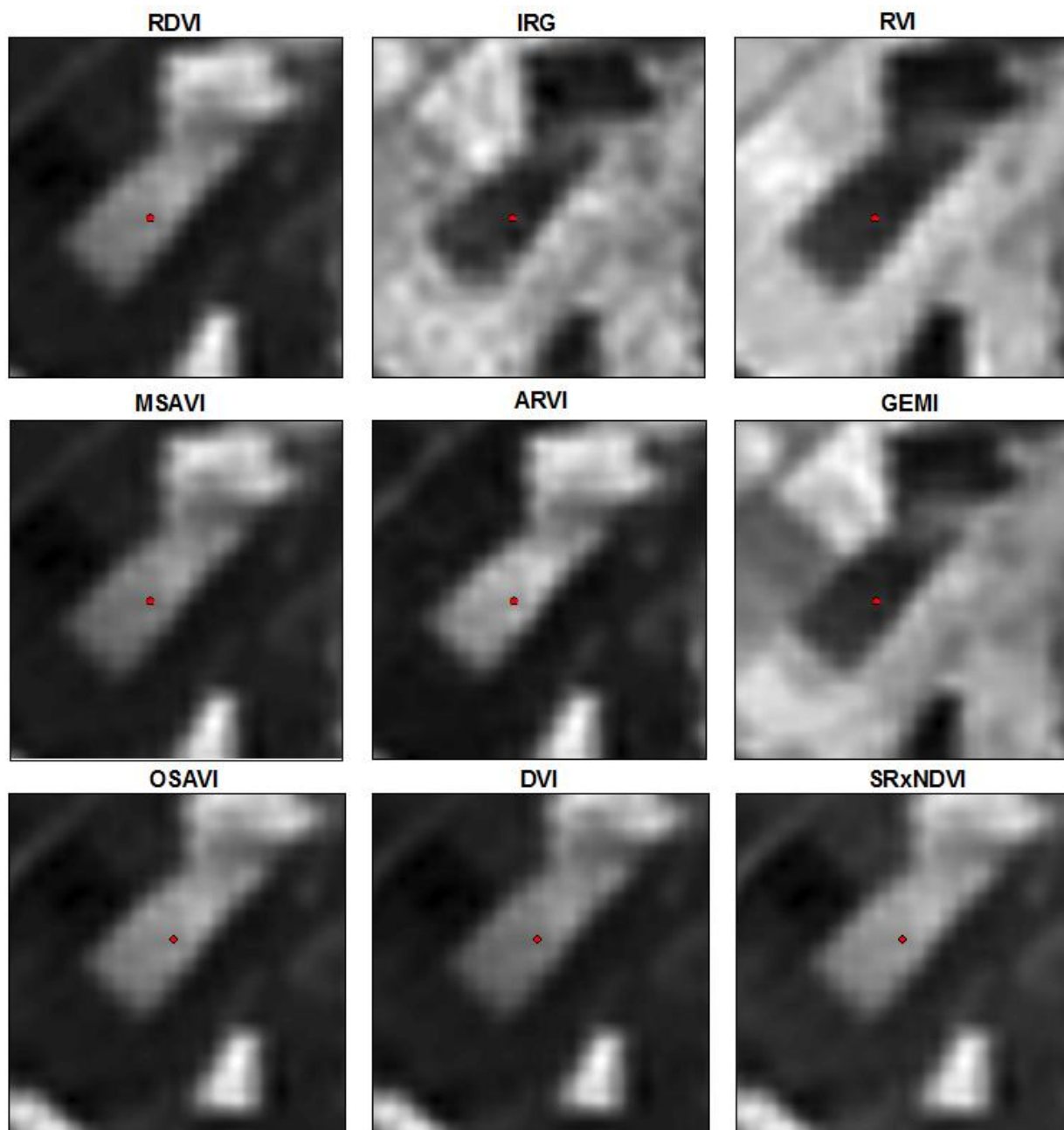




Στην εικόνα αυτή παρατηρείται και πάλι έντονη ορατότητα στους δείκτες EVI, Green NDVI, NDVI, SR, MTVI2, RDVI, MSAVI, ARVI, OSAVI, DVI και SRxNDVI. Στους υπόλοιπους δείκτες η μαγούλα πάλι δεν διακρίνεται.

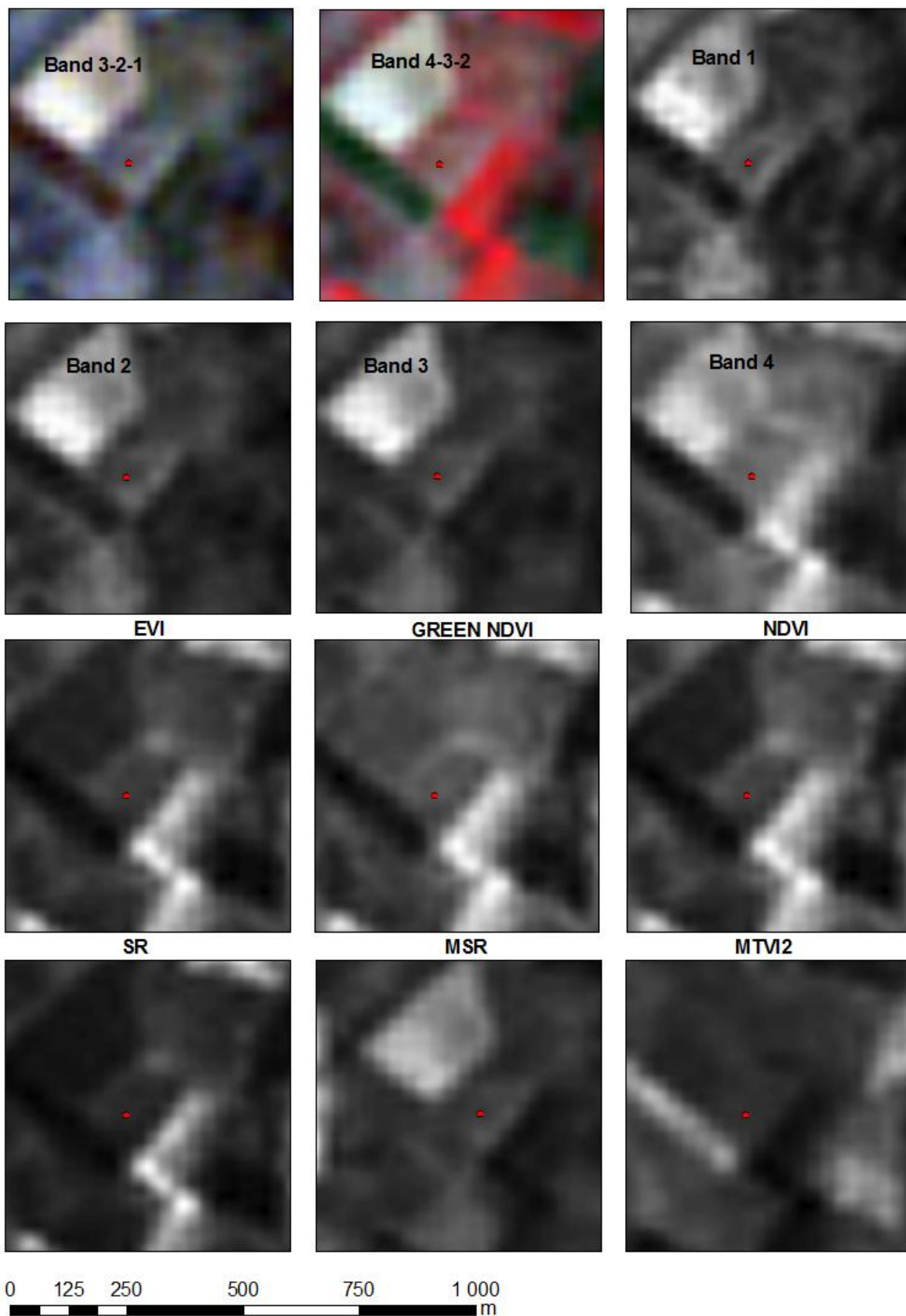
5.4 Εικόνα 31/07/2009

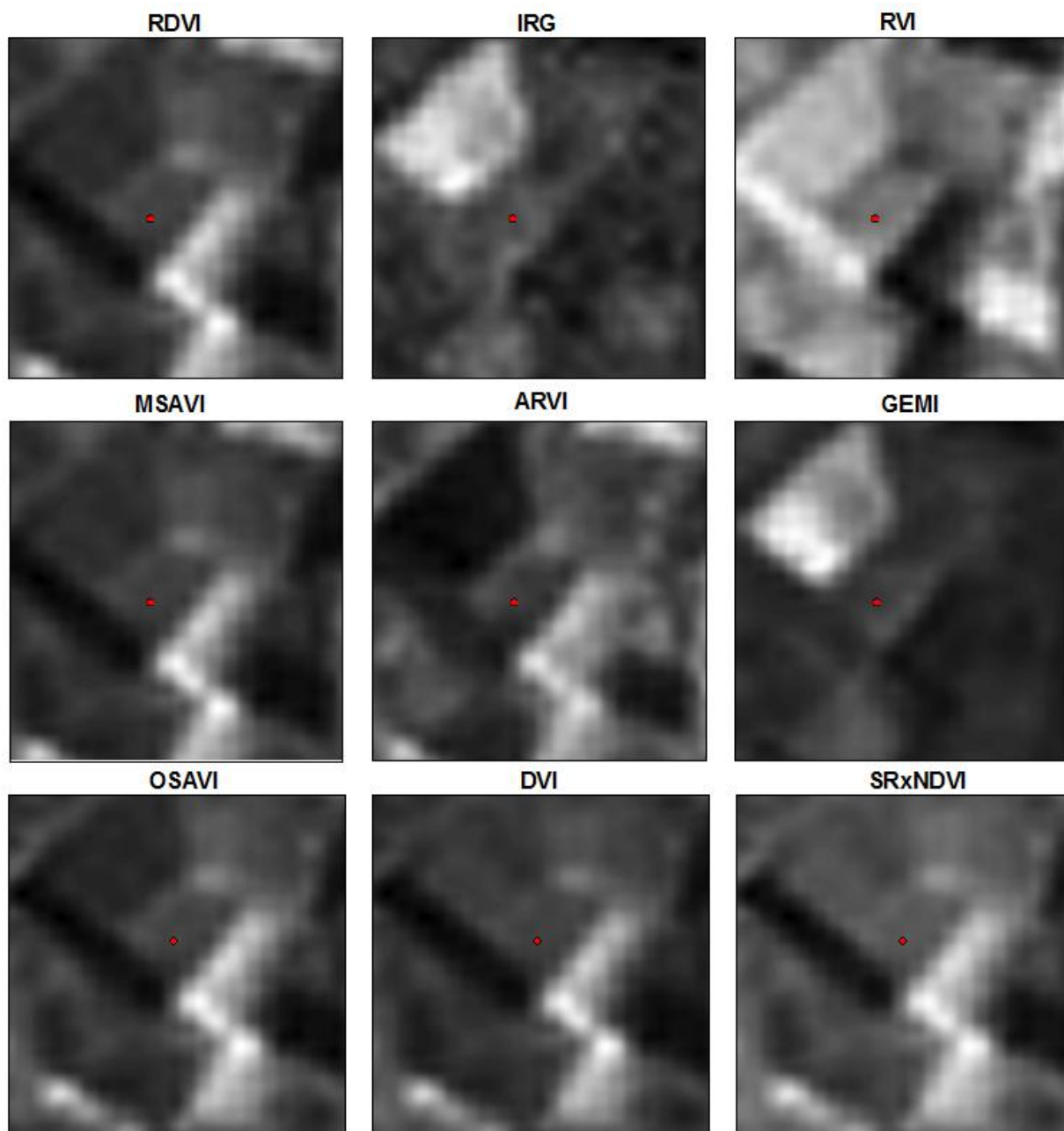




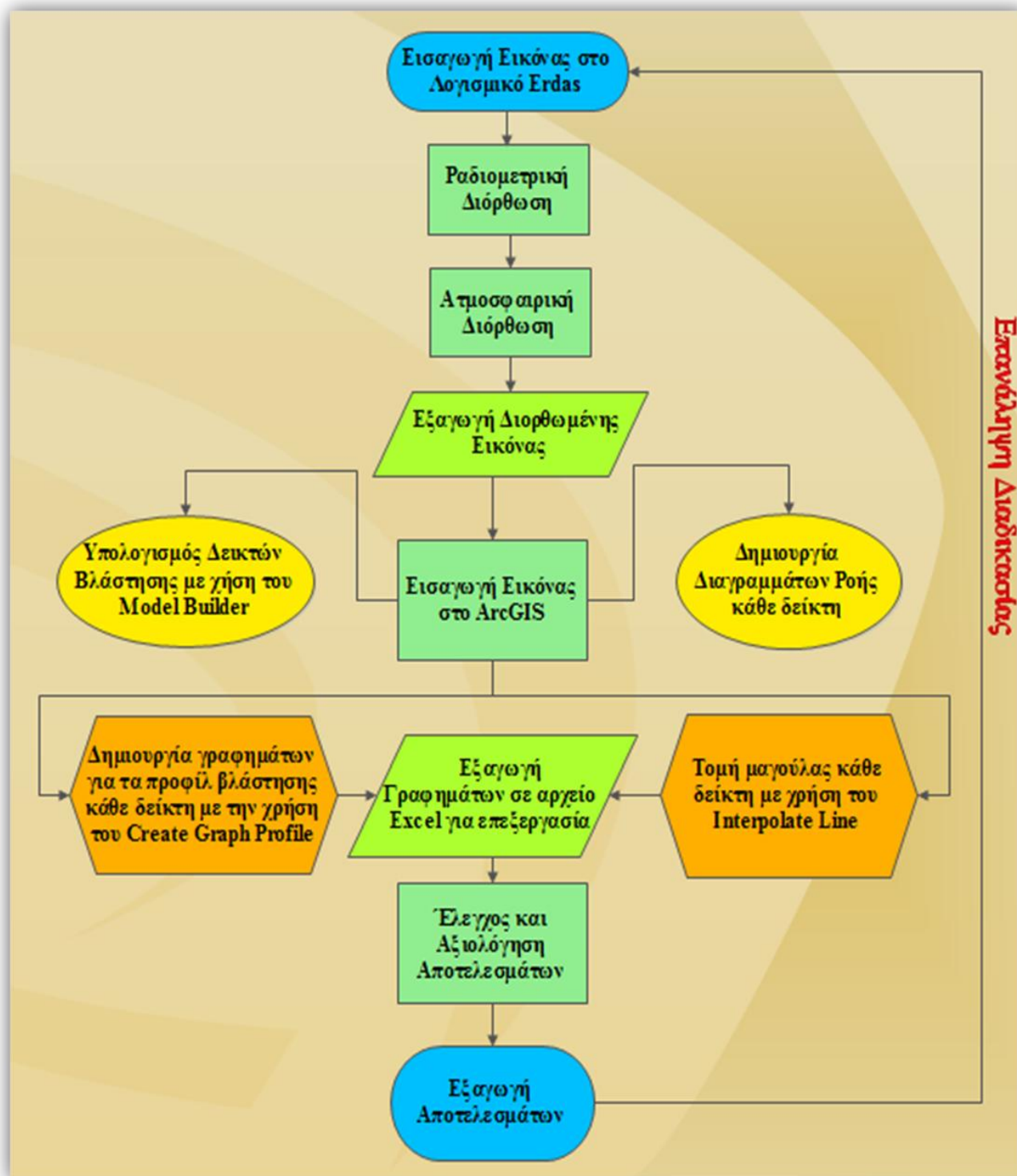
Σε αυτήν την εικόνα η μαγούλα διακρίνεται στους δείκτες EVI, Green NDVI, NDVI, SR, RDVI, MSAVI, ARVI, OSAVI, DVI και SRxNDVI. Οι υπόλοιποι δεν δίνουν κάποια στοιχεία της αρχαιολογικής θέσης.

5.5 Εικόνα 20/09/2010





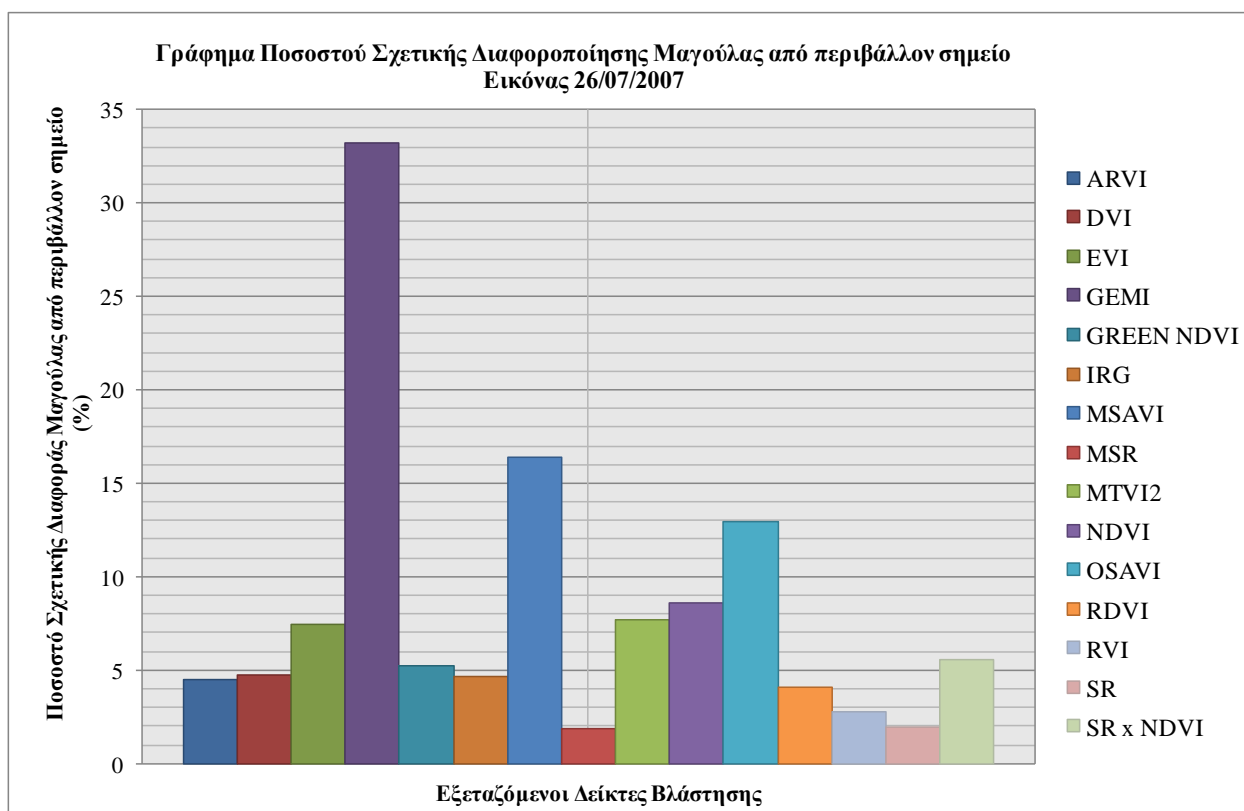
Στην τελευταία εικόνα η μαγούλα διακρίνεται στους δείκτες Green NDVI, NDVI, SR, MSR, RDVI, IRG, RVI, MSAVI, ARVI, και GEMI. Οι υπόλοιποι δεν δίνουν κάποια στοιχεία της αρχαιολογικής θέσης. Πιο κάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής που δημιουργήθηκε, που επεξηγεί την όλη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την διάρκεια της μελέτης.



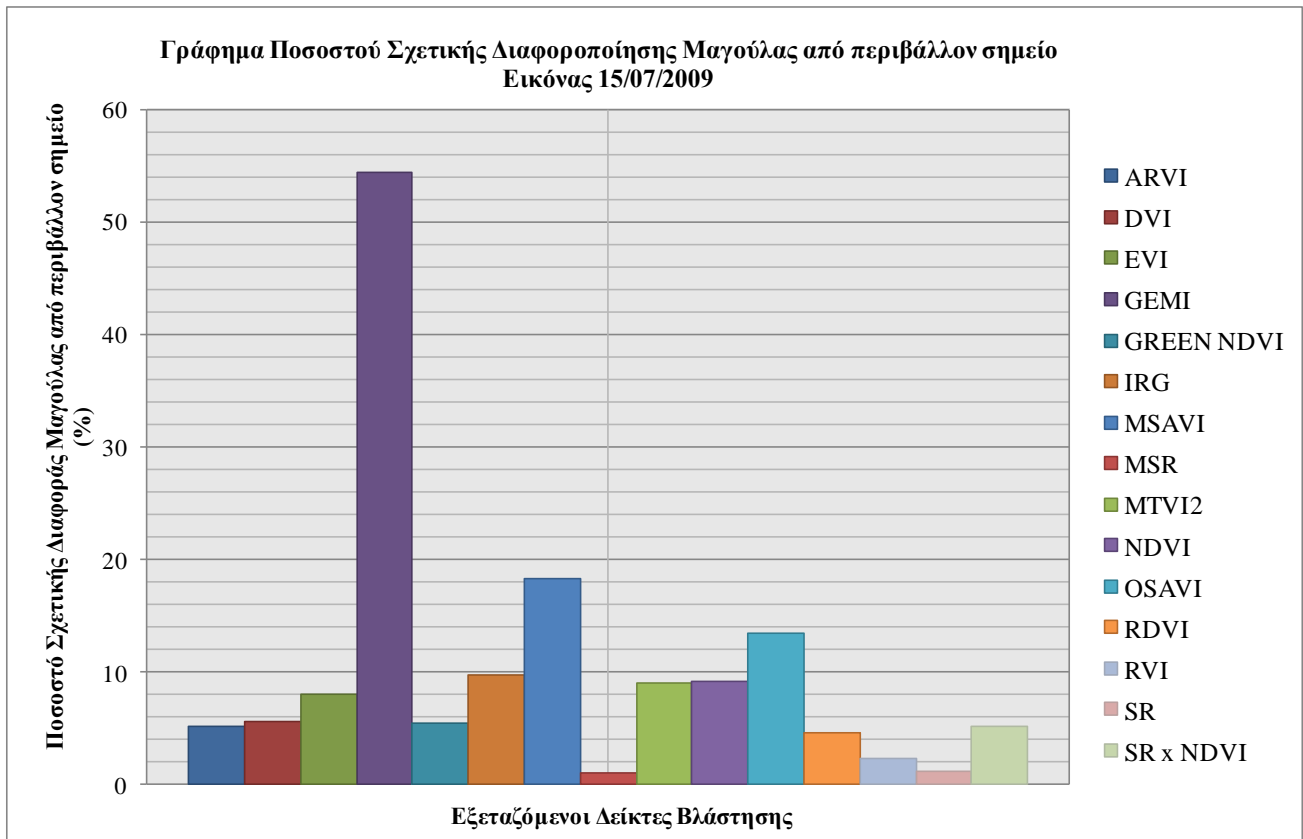
Εικόνα 36: Σύνθεση τελικού Διαγράμματος της Μεθοδολογίας

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

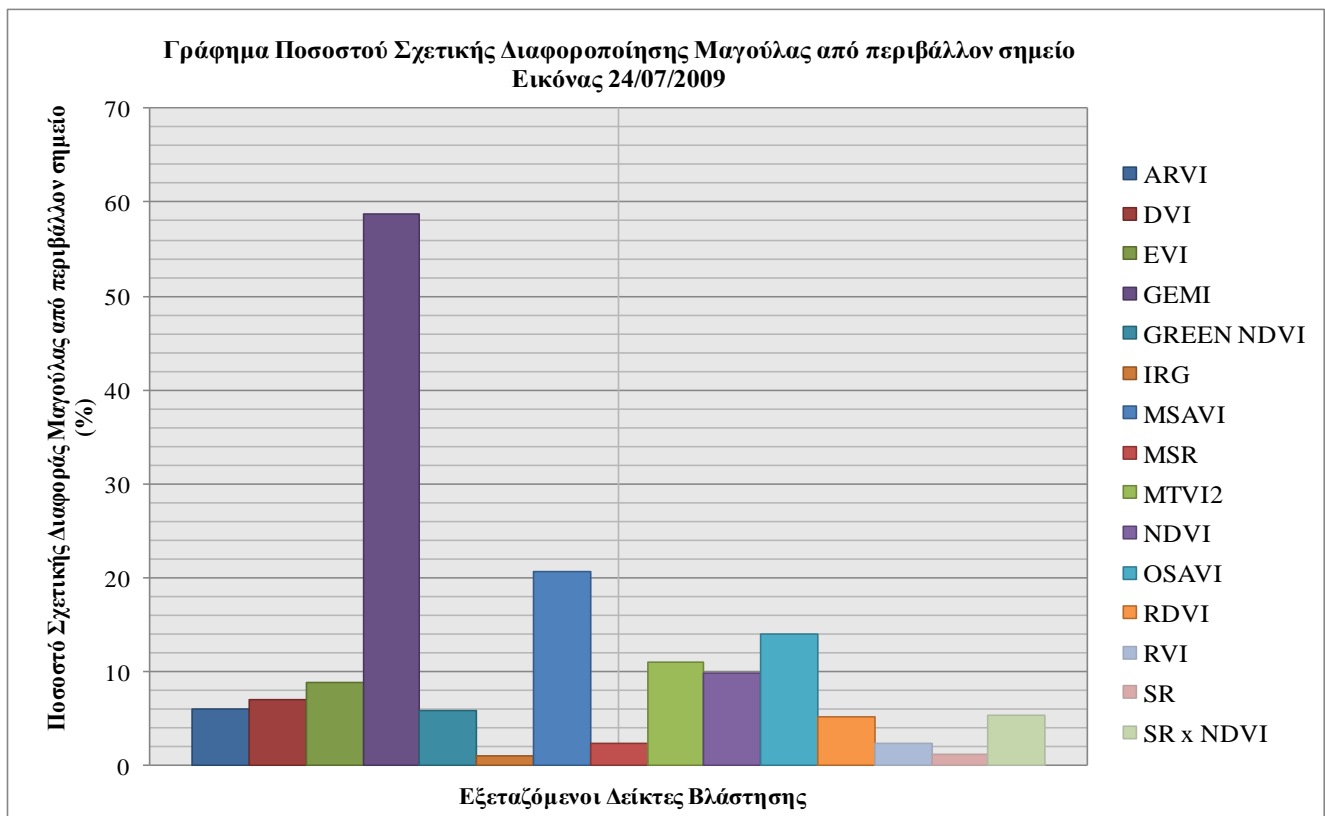
Μετά από όλη την διαδικασία και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν ορισμένα τελικά γραφήματα των δεικτών βλάστησης σε σχέση με το ποσοστό της σχετικής διαφοράς της μαγούλας στον κάθε δείκτη από τον περιβάλλοντα χώρο της θέσης. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν οι τιμές του κάθε δείκτη βλάστησης, σε όλες τις εικόνες, στο ψηλότερο σημείο της μαγούλας και στην ευρύτερη καλλιεργήσιμη έκταση. Πιο κάτω παρατίθενται τα γραφήματα αυτά για τις 5 δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν, για κάθε ένα από τους 15 δείκτες βλάστησης. Από τα 5 διαγράμματα της ποσοτικοποίησης των εξεταζόμενων δεικτών βλάστησης δημιουργήθηκε στο τέλος και ένα συγκεντρωτικό στο οποίο φαίνεται η μέγιστη και η ελάχιστη συνεισφορά του κάθε δείκτη. Από όλα αυτά αλλά και το τελευταίο διάγραμμα έρχεται να ενισχυθεί και ο τελικός στόχος της συγκεκριμένης μελέτης που αφορούσε τον εντοπισμό και καταγραφή δεικτών βλάστησης, οι οποίοι δεν χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα για τέτοιου είδους έρευνες. Ολοκληρώνεται έτσι η μελέτη αυτά με αυτό τον σχολιασμό των γραφημάτων που φανερώνει και τα ουσιαστικά στοιχεία που προκύπτουν μέσα από όλα αυτ



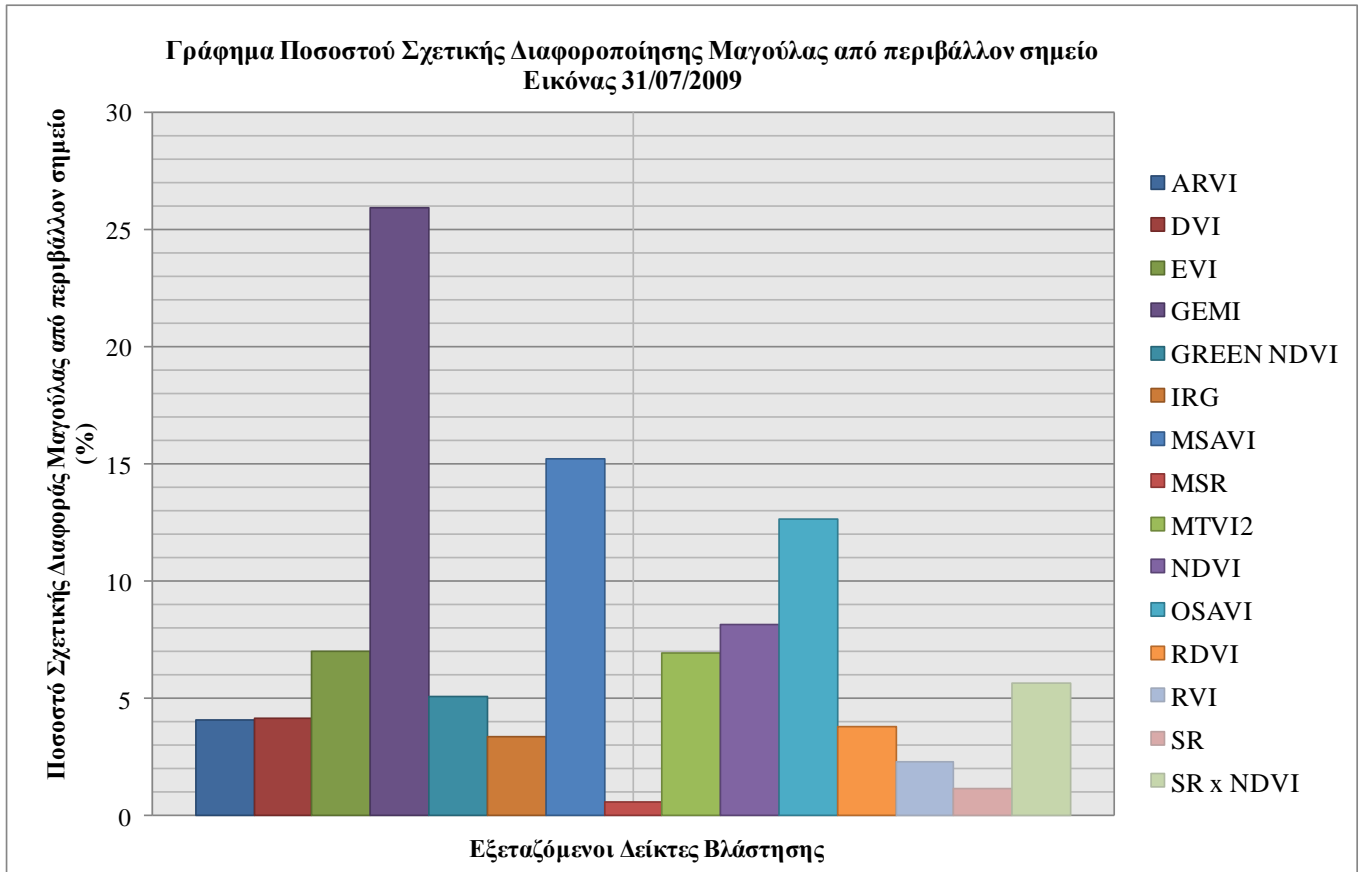
Εικόνα 37: Τελικά αποτελέσματα εικόνας 26/07/2009



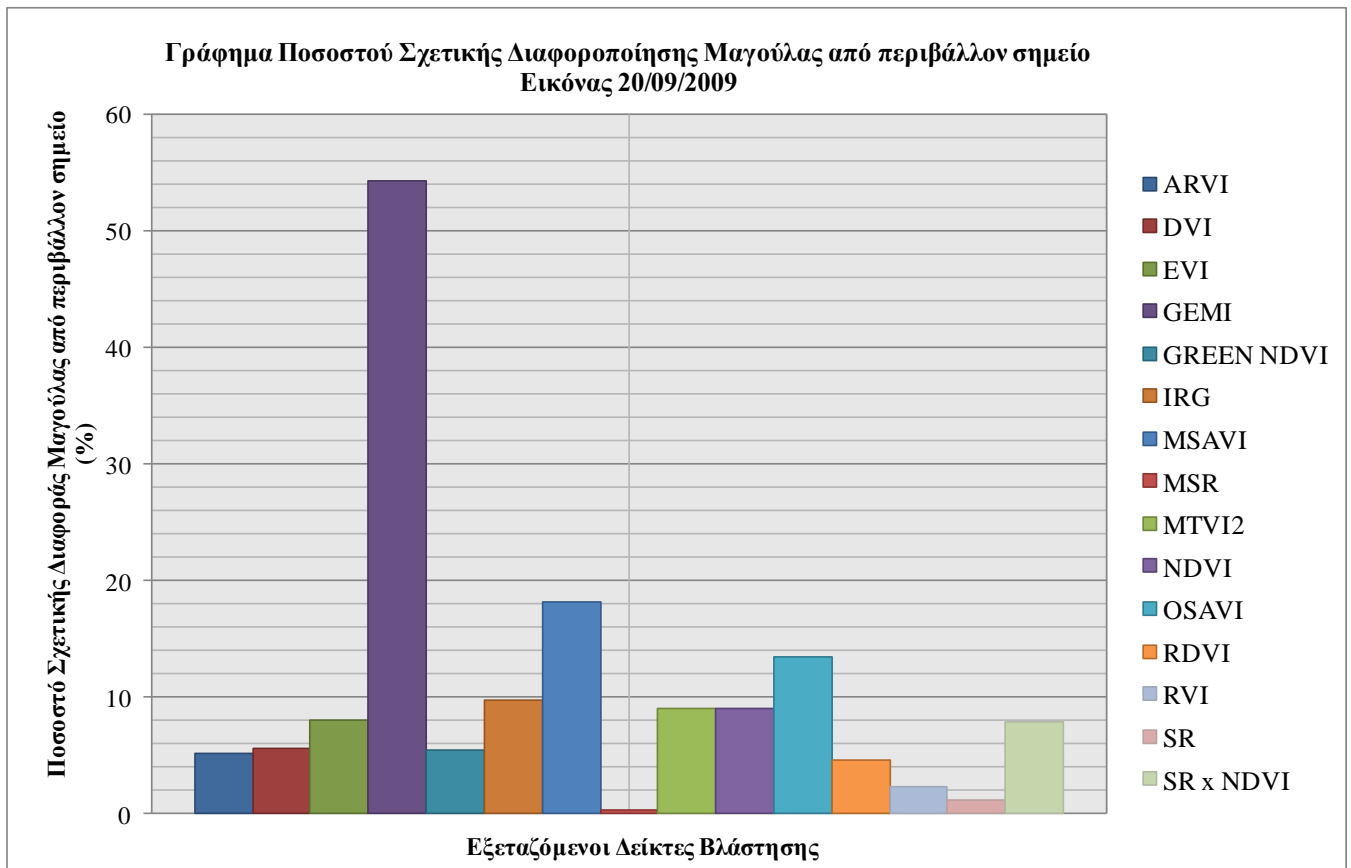
Εικόνα 39: Τελικά αποτελέσματα εικόνας 15/07/2009



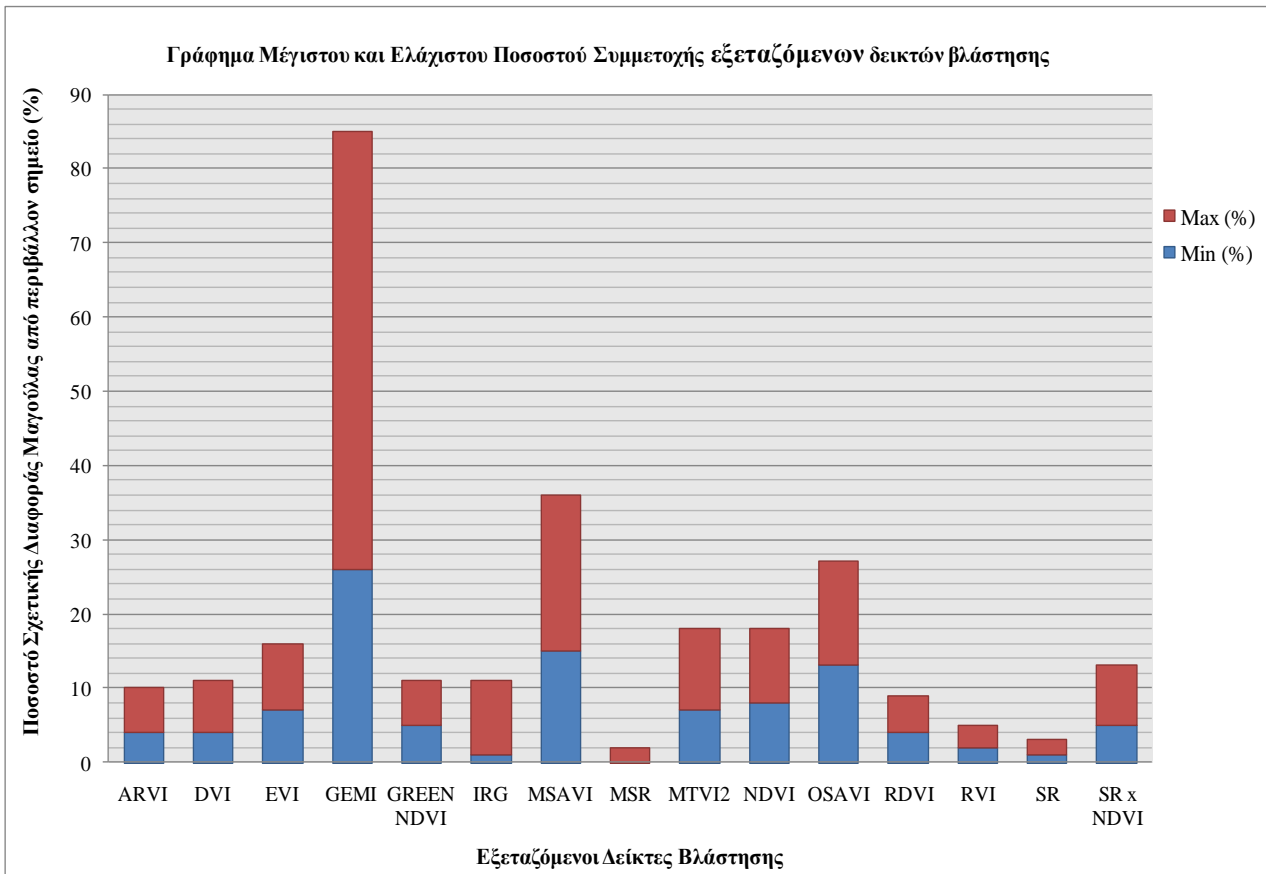
Εικόνα 38: Τελικά αποτελέσματα εικόνας 24/07/2009



Εικόνα 41: Τελικά αποτελέσματα εικόνας 31/07/2009



Εικόνα 40: Τελικά αποτελέσματα εικόνας 20/09/2009



Εικόνα 42: Ποσοτικοποίηση δεικτών βλάστησης

6.1 Σχολιασμός τελικών αποτελεσμάτων ποσοτικοποίησης δεικτών

Έχοντας υπόψη όλα αυτά που παρατηρήθηκαν και σχολιάστηκαν μέχρι στιγμής συμπεραίνουμε ότι μέσα από τα τελικά γραφήματα που προστέθηκαν παρατηρήθηκαν σημαντικά στοιχεία στα οποία αξίζει να γίνει αναφορά. Είναι φανερό ότι οι δείκτες GEMI, MSAVI, OSAVI παρουσιάζουν ένα μεγάλο ποσοστό εμφάνισης και συμμετοχής στην ανίχνευση των διαφοροποιήσεων της βλάστησης (μαγούλα), πράγμα το οποίο αποτελεί σημείο περαιτέρω διερεύνησης στο άμεσο μέλλον και σε άλλες περιοχές μελέτης. Ταυτόχρονα και άλλοι δείκτες όπως ο RVI, ο MTVI2 και ο EVI δίνουν αρκετά καλά αποτελέσματα. Αυτό που τελικά μπορεί κανείς να σχολιάσει και να τονίσει είναι ότι η χρήση δεικτών όπως αυτοί, που δεν χρησιμοποιούνται σήμερα σε έρευνες που αποσκοπούσαν των εντοπισμό υπεδάφινων αρχαιολογικών καταλοίπων. Αυτοί οι δείκτες φαίνεται ότι μπορεί να αντικαταστήσουν τους συνηθισμένους για τέτοιες μελέτες δείκτες βλάστησης, όπως ο NDVI κ.τ.λ. Επομένως για παράδειγμα σε περιπτώσεις χρήσεις δορυφορικών εικόνων που μπορεί να μην έχουν τύχει ατμοσφαιρικής διόρθωσης, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει δείκτες όπως ο MSAVI ο οποίος λαμβάνει υπόψη του την ατμοσφαιρική διόρθωση, παρά άλλους δείκτες (π.χ NDVI), οι οποίοι είναι πιο ευαίσθητοι σε ατμοσφαιρικές επιδράσεις, ιδιαίτερα στο εγγύς υπέρυθρο μήκος κύματος.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ/ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Η μελέτη αυτή είχε ως πρωταρχικό στόχο να αξιολογήσει διάφορους πολυφασματικούς δείκτες βλάστησης για τον εντοπισμό υπεδάφίων αρχαιολογικών θέσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι πέρα από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους σε αρχαιολογικές έρευνες δείκτες (π.χ., NDVI, SR), διάφοροι άλλοι δείκτες μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό των αρχαιολογικών καταλοίπων και μάλιστα με καλύτερα αποτελέσματα ως προς την αντίθεση της αρχαιολογικής θέσης με τον περίγυρο τους. Συγκεκριμένα, αποδείχθηκε ότι ορισμένοι από τους πολυφασματικούς δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να μεγιστοποιήσουν περαιτέρω την αντίθεση μεταξύ των αρχαιολογικών και μη-αρχαιολογικών χώρων. Σε σύγκριση με τους υπόλοιπους δείκτες, που δεν εμφανίζουν τόσο καλά αποτελέσματα, μπορούν να μεγιστοποιήσουν τη διαφορά μέχρι ένα ποσοστό (βλ. πίνακα 6). Όλα τα γραφήματα που προστέθηκαν μπόρεσαν να ενισχύσουν τον αρχικό σκοπό της μελέτης και όχι μόνο αυτό, αλλά και να αποδείξουν με ποσοστά ότι πράγματι αυτό που υποστηρίζεται συμβαίνει και στην πραγματικότητα. Βέβαια περισσότερη έρευνα και σε άλλες αρχαιολογικές θέσεις ενδείκνυται σε τέτοιες μελέτες.

Πίνακας 6: Ελάχιστο και Μέγιστο Ποσοστό συμμετοχής δεικτών στην έρευνα

A/A	Δείκτης Βλάστησης	Min (%)	Max (%)
1	ARVI	4	6
2	DVI	4	7
3	EVI	7	9
4	GEMI	26	59
5	GREEN NDVI	5	6
6	IRG	1	10
7	MSAVI	15	21
8	MSR	0	2
9	MTVI2	7	11
10	NDVI	8	10
11	OSAVI	13	14
12	RDVI	4	5
13	RVI	2	3
14	SR	1	2
15	SR x NDVI	5	8

Μερικά από τα πιο ελπιδοφόρα παραδείγματα δεικτών βλάστησης που βρέθηκαν από αυτή τη μελέτη είναι οι: GEMI (25-59%), MSAVI (15-21%), OSAVI (13-14%), NDVI (8-10%), MTVI2 (7-11%), SRxNDVI (5-8%) και Green-NDVI (5-6%). Οι υπόλοιποι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν όπως ο DVI (4-7%), ARVI (4-6%), RDVI (4-5%), IRG (1-10%), RVI (2-3%), SR (1-2%) και ο MSR (0-2%), δεν έδωσαν πολύ εμφανή αποτελέσματα. Επίσης η συγκεκριμένη μελέτη ανέδειξε τη σημασία και τα οφέλη από την χρήση των δορυφορικών εικόνων για την υποστήριξη των αρχαιολογικών ερευνών. Πράγματι, όπως διαπιστώθηκε, μόνο ένας αριθμός πολυφασματικών δεικτών βλάστησης ήταν σε θέση να εντοπίσει νεολιθικές θέσεις (μαγούλες). Με βάση μόνο το ορατό τμήμα του φάσματος (όπως BRI) έδειξαν επίσης κάποια πιθανή χρήση για την ανίχνευση της εξεταζόμενης θέσης. Με τον τρόπο αυτό, ένα σημαντικό ποσό των δεδομένων (π.χ., παραδοσιακά αεροφωτογραφίες στο ορατό μέρος του φάσματος) μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω, προκειμένου να βοηθήσει στην αρχαιολογική έρευνα.

Οι ερευνητές μπορούν να επιλεγούν εκείνους του δείκτες βλάστησης που μεγιστοποιούν την καλύτερη αντίθεση του αρχαιολογικού περιβάλλοντος με το περιβάλλον της γύρω περιοχής και να συμβάλουν ουσιαστικά στην ανίχνευση αρχαιολογικών θέσεων. Περαιτέρω αξιολόγηση τέτοιων δεικτών και μάλιστα ορισμένων που δεν χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα, εξετάστηκε και αναλύθηκε στην εν λόγω μελέτη, χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα τηλεπισκόπησης (χρήση 5 δορυφορικών εικόνων και 15 δεικτών βλάστησης).

Τα συνολικά αποτελέσματα από τη μελέτη της θέσης του *Αλμυρού II*, μπορεί να βοηθήσουν και να ενισχύσουν την άποψη ότι μη καταστρεπτικές μέθοδοι όπως είναι η δορυφορική τηλεπισκόπηση μπορεί να συμβάλουν στην αρχαιολογική έρευνα και αρχαιολογίας τοπίου. Πράγματι, η αξιολόγηση της συμπεριφοράς κάθε δείκτη πάνω στα θαμμένα αρχαιολογικά κατάλοιπα, καθώς και η χρήση δορυφορικών εικόνων, μπορούν να καθορίσουν πλέον την περιοχή που κρίνεται ως κατάλληλη για μια αρχαιολογική έρευνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Agapiou, A.; Hadjimitsis, D. G.; Alexakis, D.; Sarris, A. Observatory validation of Neolithic tells (“Magoules”) in the Thessalian plain, central Greece, using hyperspectral spectroradiometric data, *Journal of Archaeological Science*, **2012**.

Agache R., Necessite des survols periodiques pour la detection des vestiges archaeologiques arases par l’ agriculture, Janvier-Fevrier 1977.

Alexakis, D.; Agapiou, A.; Hadjimitsis, D.; Sarris, A. Remote Sensing Applications in Archaeological Research, *Remote Sensing – Applications*.

Alvisi G., Disparition progressive de traces archaeologiques sur des leves aeriens successifs, Janvier-Fevrier 1964.

Aqduş, S. A.; Hanson, W. S.; Drummond, J. A Comparative Study for Finding Archaeological Crop Marks using Airborne Hyperspectral, Multispectral and Digital Photographic Data, Proceedings of the 2007, Annual Conference of the Remote Sensing and Photogrammetry Society, Newcastle University, Oct. 11-15, 2009.

Campbell, J.B., 2002. Introduction to Remote Sensing London and New York.

Cherry J.F., Frogs around the pond. Perspectives on current archaeological survey projects in the Mediterranean region, Edited by Keller D.R & Rupp D.W., Archaeological Survey in the Mediterranean Area, Oxford 1983.

Chen, J.M. Evaluation of Vegetation Indices and a Modified Simple Ratio for Boreal application. *Canadian Journal of Remote Sensing* **1996**

Chen, J.; Cihlar, J. Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, **1996**

Chevallier R., Photographie aeriene. Panorama intertechnique, Gauthier-Villars, Paris 1965.

Cladas C. & Badekas J., Photogrammetric Surveys of Monuments and Sites : La decouverte de civilisations anciennes a l’ aide de la photogrammetrie, Athens 1975.

Clark T, Seeing beneath the Soil: Prospecting Methods in Archaeology, 1990.

Cohran R.J. & Mc Donald H.C., The application of high altitude photography archaeological survey, Proceedings : American Society of Photogrammetry, American Society of Photogrammetry, Little Rock, Arkansas 1977.

- Cracknell A. & Hayes L., Introduction to Remote Sensing, University of Dundee, Taylor & Francis Ltd, London 1993.
- Forsman M.R.A., An historic archaeological site in Alberta, Canada, Novembre-Décembre 1987.
- Kaimaris, D.; Georgoula, O.; Karadedos, G.; Patias, P. Aerial and remote sensing archaeology in eastern Macedonia, Greece, Proceedings of the 22nd CIPA Symposium, October 11-15, **2009**, Kyoto, Japan
- Gitelson, A.; Merzlyak, M. N. Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. Gaspard-Félix Tournachon, Adrien Tournachon. Pierrot, 1859.
- Galli, K.I., 1992. Atlas of Prehistoric Settlements of the Eastern Thessalian Plain. Thessaly Historical Research Center, Larissa, Greece (in Greek).
- Gitelson, A. A.; Kaufman, Y. J.; Merzlyak, M. N.. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*.
- Gong P.; Pu R.; Biging G. S.; Larrieu M. R. Estimation of forest leaf area index using vegetation indices derived from Hyperion hyperspectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41. (6), **2003**, 1355-1362.
- Goguey R., De l' aviation a l' archeologie, Technip, Paris 1968.
- Huete, A. R.; Liu, H. Q.; Batchily, K.; van Leeuwen, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, **1997**.
- Jordan, C. F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, **1969**.
- Kaufman, Y. J.; Tanré, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **1992**.
- Lasaponara, R., Masini, N., 2005. QuickBird-based analysis for the spatial characterization of archaeological sites: case study of the Monte Serico Medioeval village. *Geophysical Research Letter* 32 (12), L12313.
- Lasaponara, R., Masini, N., 2006. Identification of archaeological buried remains based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from Quickbird satellite data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*.
- Lasaponara, R.; Masini, N. Detection of Archaeological Crop Marks by using Satellite QuickBird Multispectral Imagery, *Journal of Archaeological Science*, **2007**.

- Lillesand, M., Kiefer, T., Chipman, J.W., 2004. Remote Sensing and Image Interpretation. Wiley International Edition.
- Masini, N., Lasaponara, R., 2007. Investigating the spectral capability of QuickBird data to detect archaeological remains buried under vegetated and not vegetated areas.
- Μερτίκας 1999, Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας, Εκδοτικός Όμιλος Ιων
- Parmegiani N. & Poscolieri M., Remote Sensing for Monitoring the Changing Environment of Europe : Integrated analysis of Landsat images, D.E.M. and field survey data to infer the relationships between protohistoric archaeological sites and surrounding environment in southern Etrouria, Italy, Winkler, Balkema, Rotterdam 1993.
- Peddle, D.R., White, H.P., Soffer, R.J., Miller, J.R., LeDrew, E.F., 2001.
- Perras S., Tele-interpretation pour l' inventaire archaeologique : le cas de la basse cotenord du Saint Laurent, Canada, Novembre-December 1987 Reflectanceprocessing of remote sensing spectroradiometer data. Computers, Geosciences
- Renfrew C. & Bahn P., Archaeology. Theories, Methods and Practice, London 1996.
- Rowlands, A., Sarris, A., 2007. Detection of exposed and subsurface archaeological remains using multi-sensor remote sensing. Journal of Archaeological Science.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W.; Harlan, J. C. Monitoring the vernal advancements and retrogradation (greenwave effect) of nature vegetation, NASA/GSFC Final Report, Greenbelt, **1974**.
- Roujean, J. L.; Breon, F. M. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, **1995**.
- Riley D.N., Aerial Archaeology in Britain, Shire Publications, Bucks, England 1982.
- Riley D.N., Air Photography and Archaeology, University of Pennsylvania Press, Philadelphia 1987.
- Ρόκος Δ. (2005). "Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση", Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Tilley C., A phenomenology of landscape. Places, paths and monuments, Oxford and Providence 1994.
- Sarris and Jones 2000; Drahor et al., 2008; Tsokas et al., 2008; Tsokas et al., 2009; Berge et al., 2011

Scanvic, J. 1997, *Aerospatial Remote Sensing in Geology*
St Joseph J.K.S., *The Uses of Air Photography - Nature and man in a new perspective*,
University of Cambridge, London 1966.
Traviglia, A., 2005. Integration of MIVIS Hyperspectral remotely sensed data and
Geographical Information Systems to study ancient landscape: the Aquileia case study. *An
International Journal of Landscape Archaeology*.
Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation.
Remote Sensing of Environment, **1979**.
Ventera, M.L., Thompson, V.D., Reynolds, M.D., Waggoner, J.C., 2006. Integrating
shallow geophysical survey: archaeological investigations at Totogal in the Sierra de los
Vouzaksakis, C., 2009. *Geographical Patterns and Theories of the Inter-settlement Space at
Neolithic Thessaly*, Unpublished Doctoral Dissertation, Aristotle University of Thessaloniki.
Wynn, J. C.; Bond, K. R.; Williams, R. T.; Long, L. T., 1986.

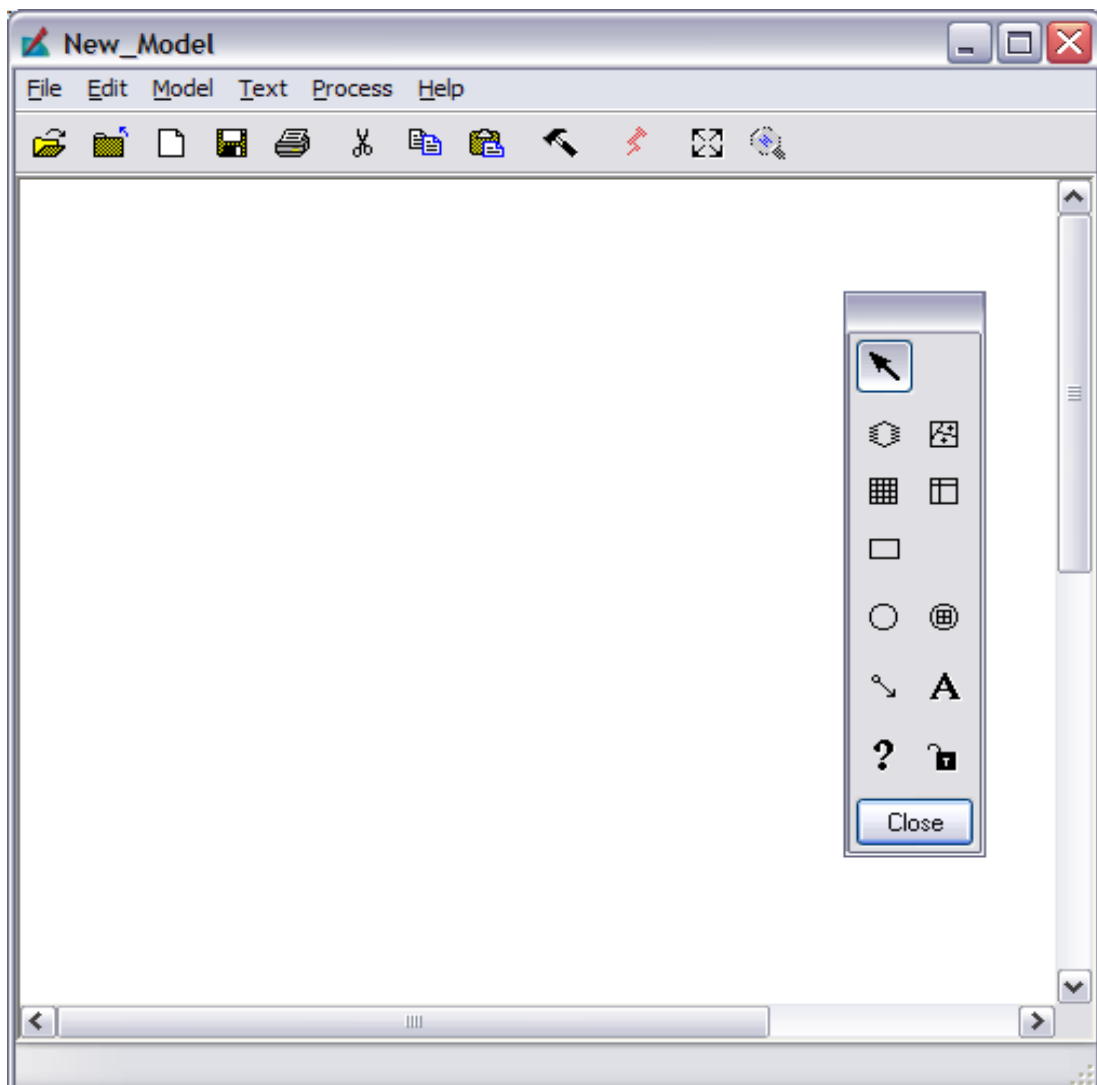
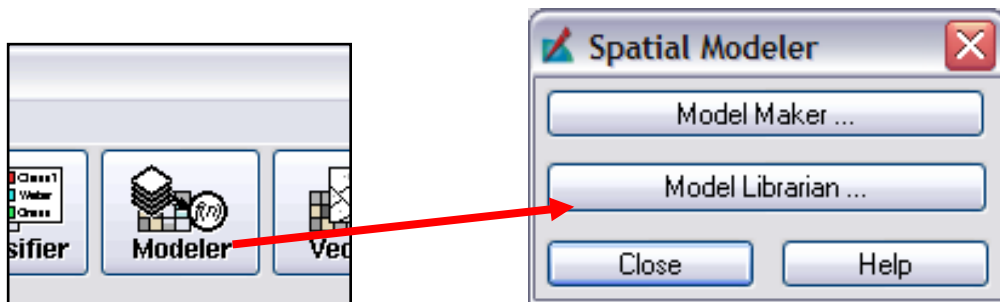
Ηλεκτρονική βιβλιογραφία:

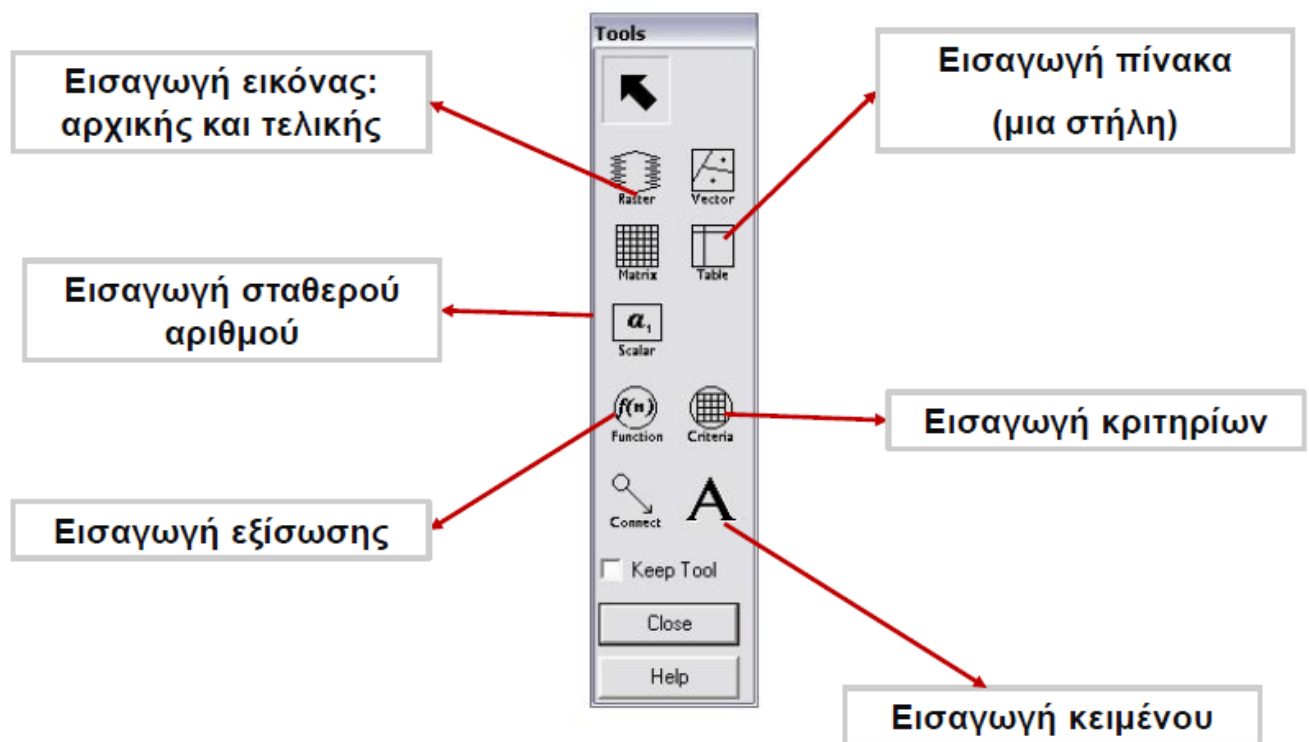
http://dSPACE.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3771/3/gkosioua_forest.pdf
http://users.auth.gr/xkarydas/PUBLICATIONS/xkarydas_GeotechScientIss.pdf
<http://www.wikipedia.org/>
<http://geo-analysis.com/gpr/>
http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/archeology/peten_tm.htm
<http://www.jpl.nasa.gov/sircxsar>
<http://www.jpl.nasa.gov/radar/sircxsar/sc-angko.gif>
<http://www.spie.org/web/oer/july/jul00/cover1.html>
<http://www.saa.org/Portals/0/SAA/publications/SAAbulletin/15-1/SAA11.html>
<http://deathstar.rutgers.edu/projects/france/france.html>
http://www.lapetlab.it/testi/Ikonos_2.pdf
<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-C53/papers/FPL006.pdf>
<http://www.mdpi.com/1424-8220/9/2/1167>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

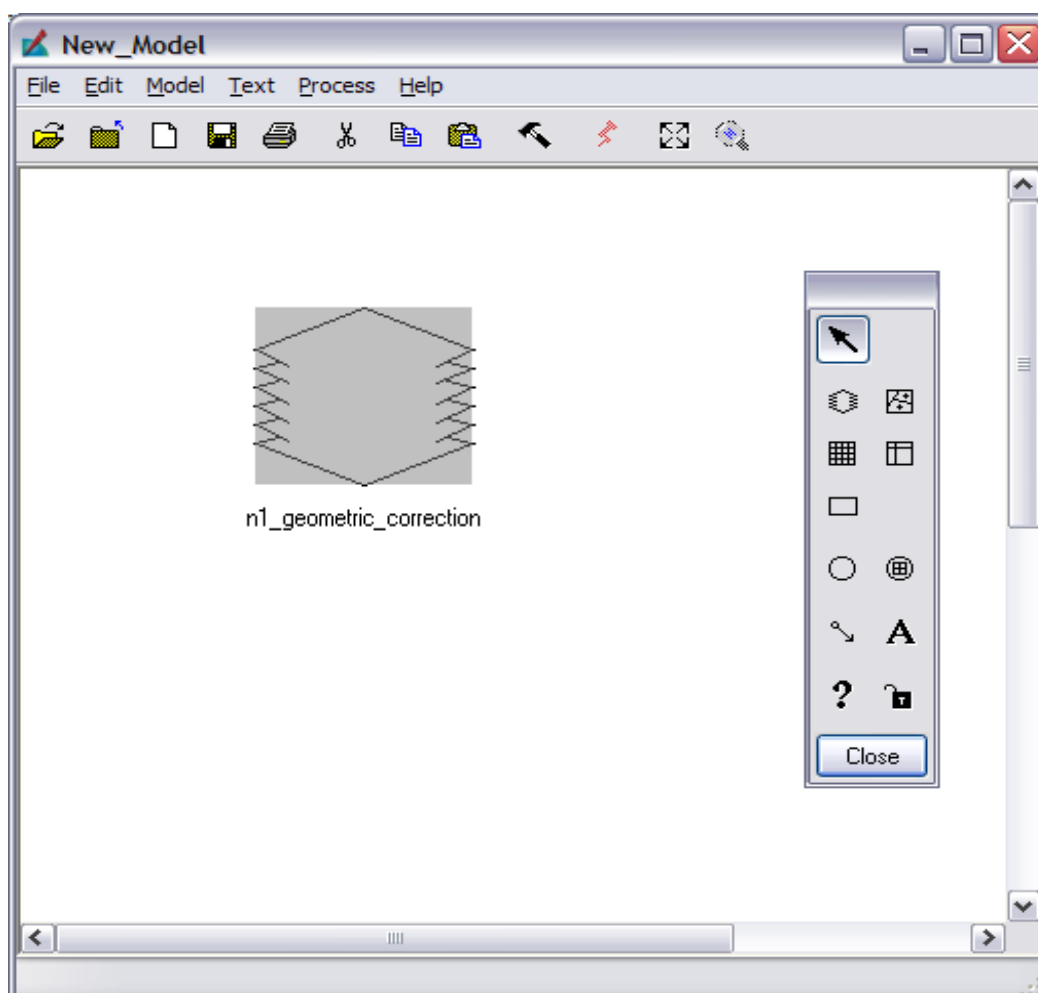
1. Διαδικασία Ραδιομετρικής διόρθωσης

Η ραδιομετρική διόρθωση της εικόνας έγινε μέσα από το εργαλείο Spatial Modeler του λογισμικού Erdas Imagine. Από την κεντρική οθόνη του Erdas Imagine ακολουθώ την πιο κάτω διαδικασία.

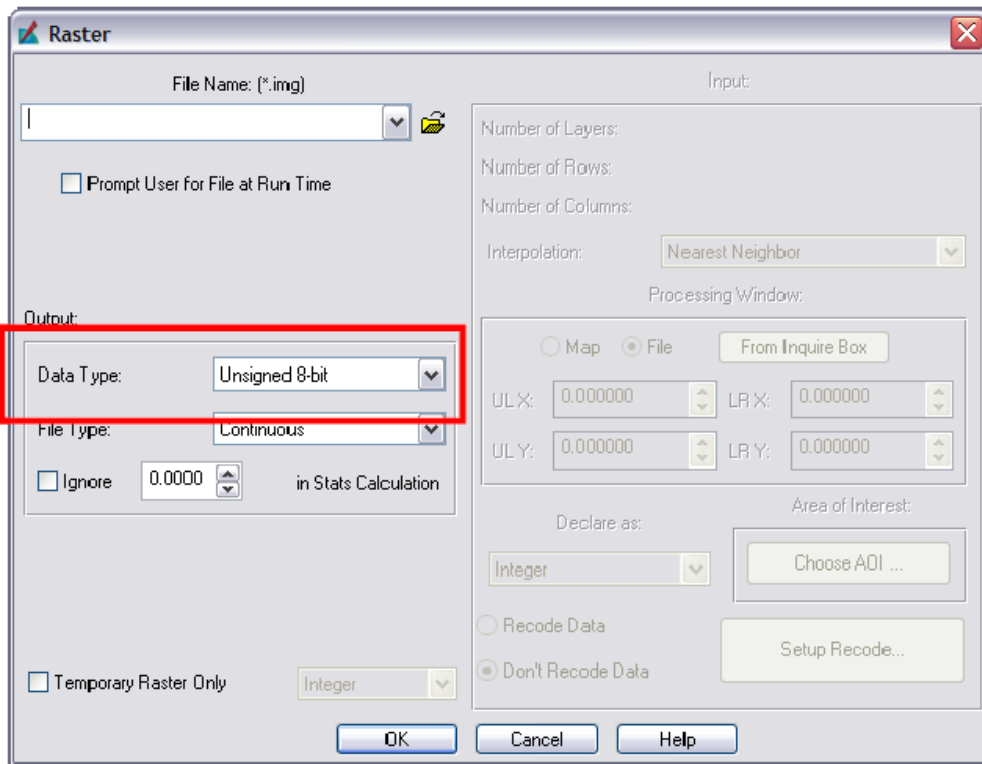




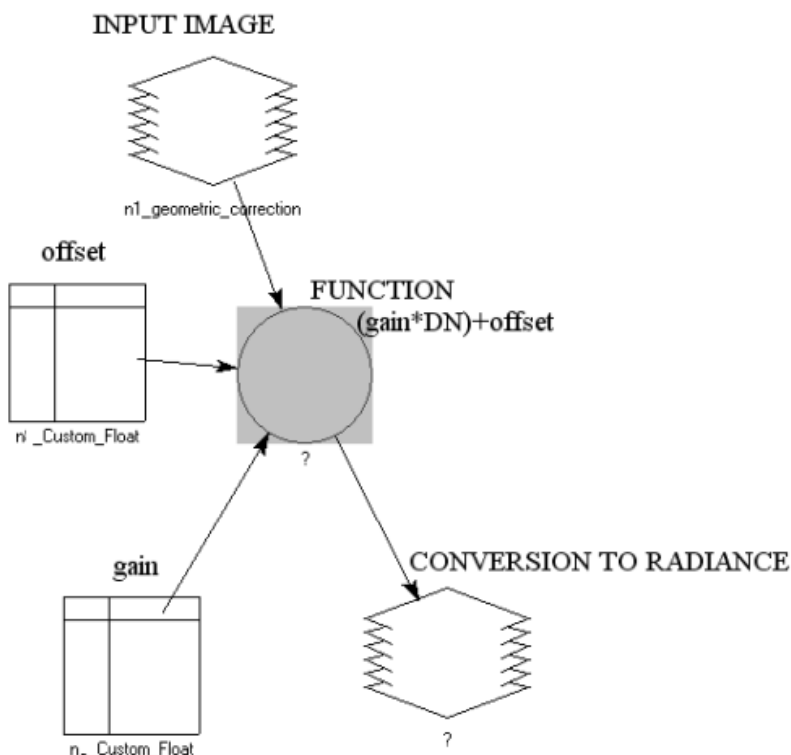
- Εισάγουμε την εικόνα που διορθώσαμε γεωμετρικά στο προηγούμενο εργαστήριο



- Προσοχή να κοιτάζουμε πόσα Layers έχει η εικόνα και το Data Type

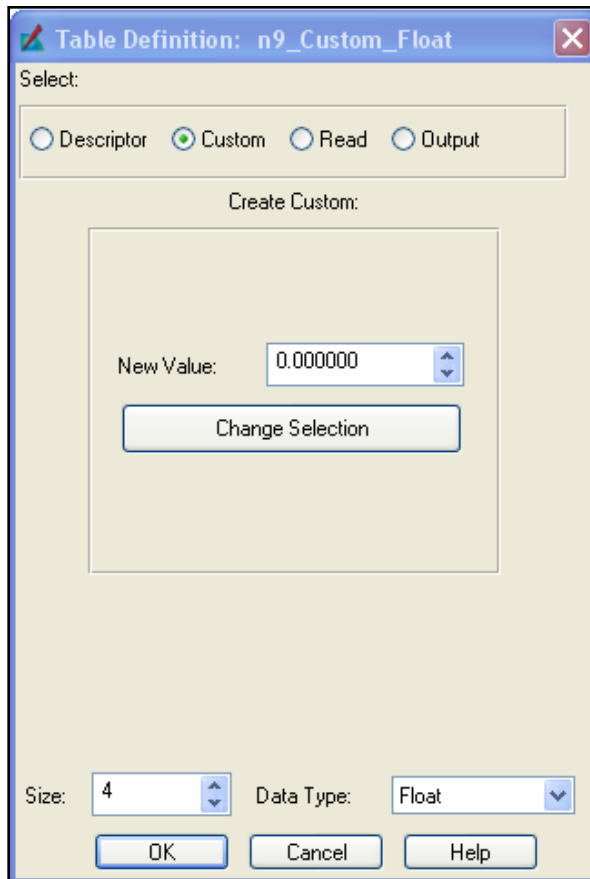


- Στη συνέχεια δημιουργούμε το διάγραμμα ροής για το πρώτο μέρος δηλαδή την μετατροπή των ψηφιακών τιμών σε ακτινοβολία. Από τα μεταδεδομένα (metadata), παίρνουμε το LMAX και LMIN. Έτσι δημιουργούμε με τα κατάλληλα εικονίδια το διάγραμμα μας όσο αφορά την πρώτη διόρθωση των εικόνων.

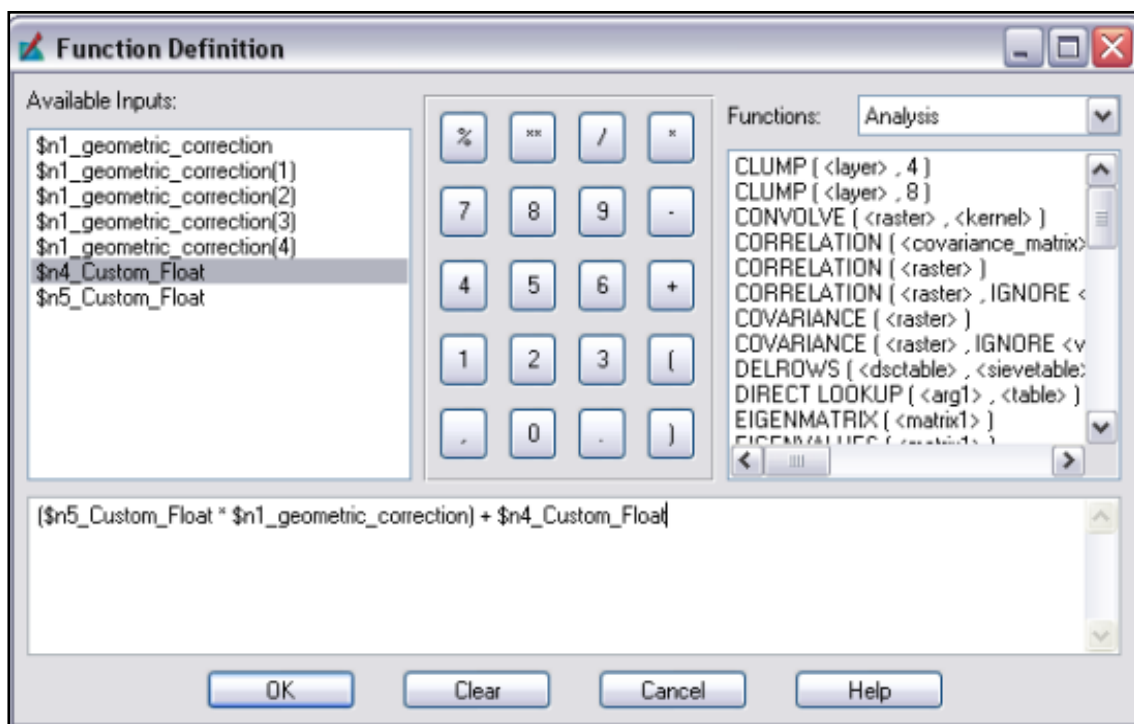


Διάγραμμα 1^ο Βήματος

Εισαγωγή Πίνακα



Εξίσωση διαγράμματος 1ου Βήματος

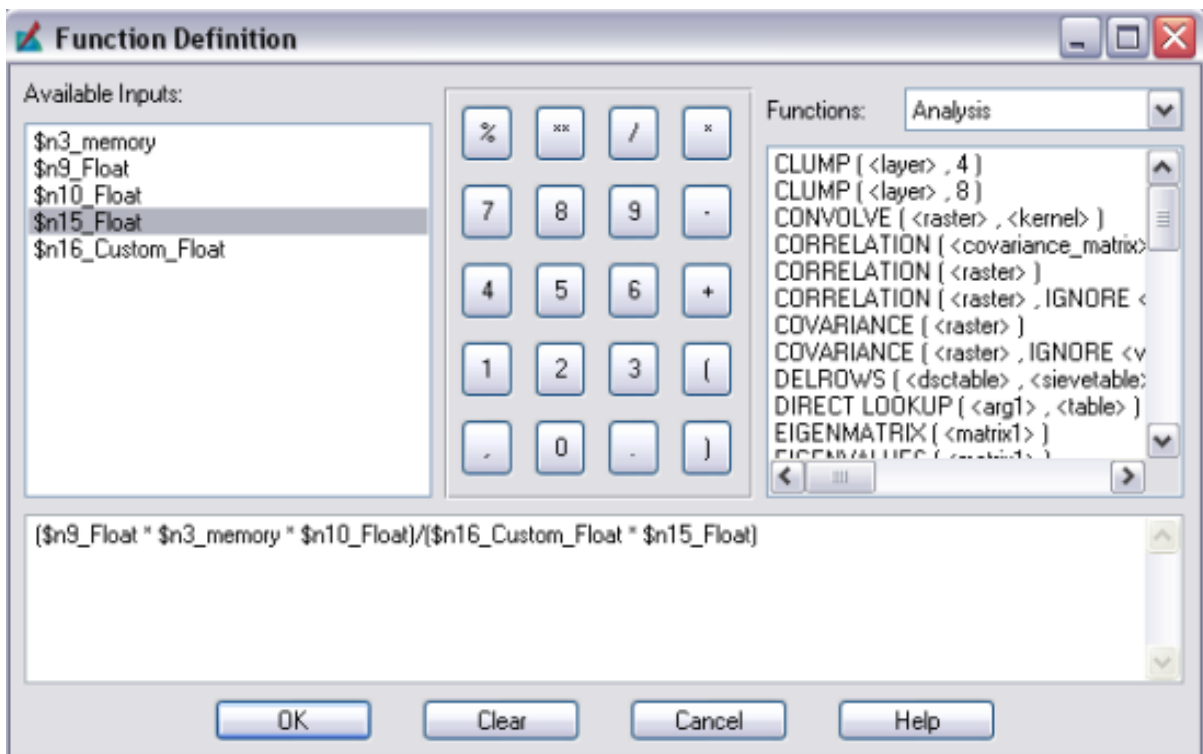


- Για να ολοκληρώσουμε την Γεωμετρική Διόρθωση κάνουμε το τελευταίο βήμα με τα υπόλοιπα στοιχεία τα οποία βρίσκονται στην πιο κάτω σχέση την οποία αναφέραμε και αναλύσαμε, εξηγώντας τον κάθε παράγοντα στην εισαγωγή.

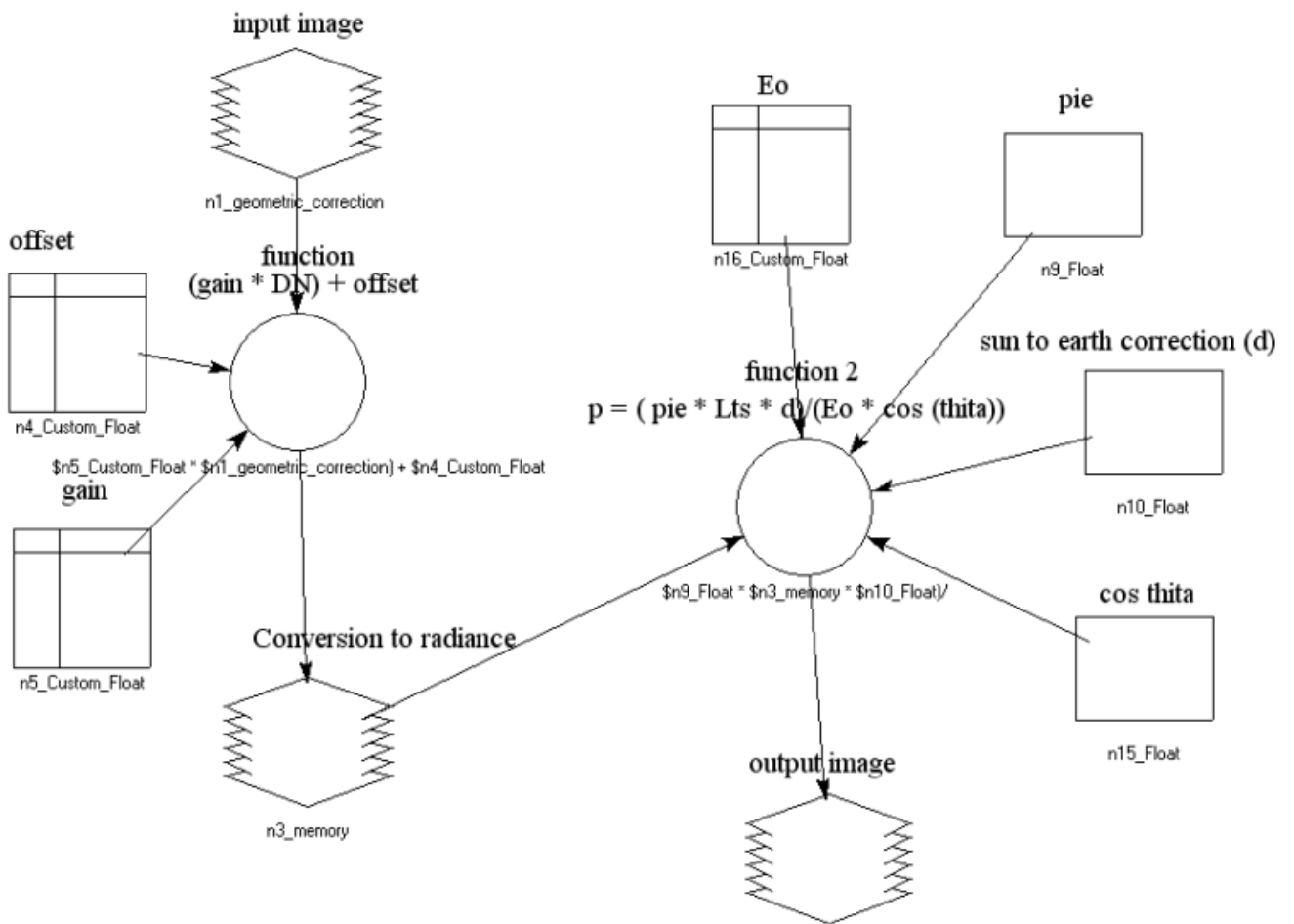
$$\rho = \frac{\pi * Lts}{Eo + \cos(\theta o) + d}$$

- Εκτελούμε την διόρθωση και έτσι δημιουργείται η τελική μας εικόνα.

Εξίσωση διαγράμματος 2ου Βήματος



Τελικό διάγραμμα ραδιομετρικής διόρθωσης



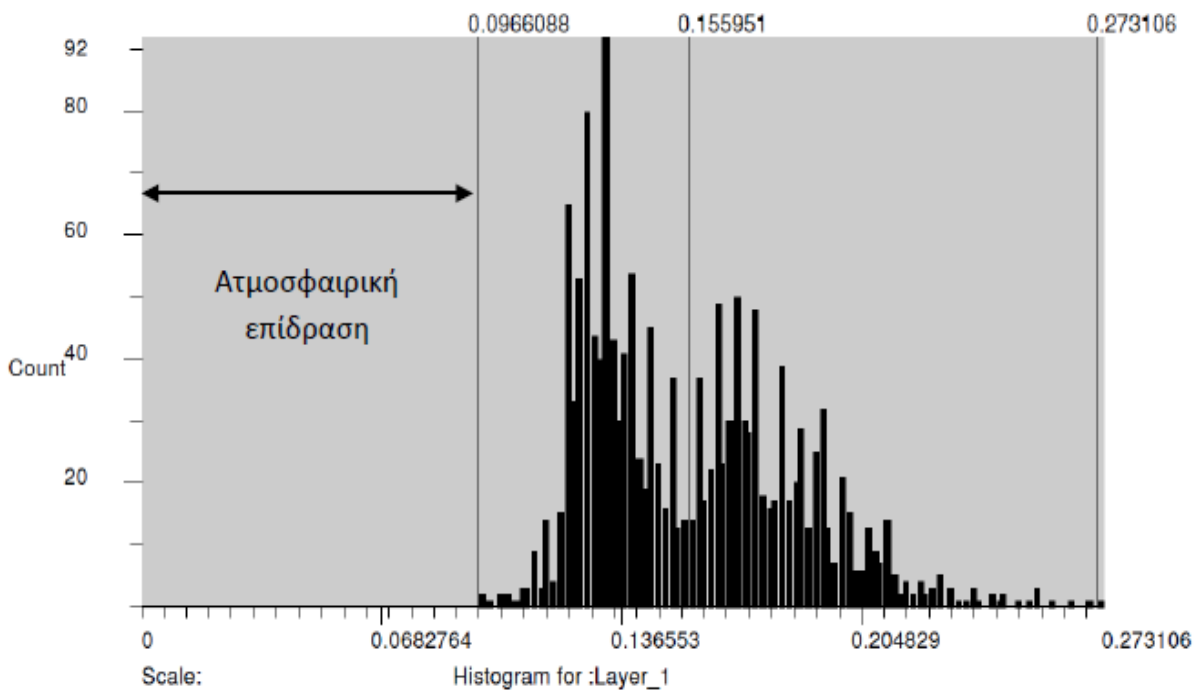
Row	Process Title	File	State	Progress
1	viewer			
2	MODELMAKER			
3	Modeler - running model: EGM0_004428		DONE - Click Dismiss to Remove	100%

2. Διαδικασία Ατμοσφαιρικής διόρθωσης

Γίνεται εισαγωγή της ραδιομετρικά διορθωμένης εικόνας στο λογισμικό ERDAS IMAGINE και επιλέγεται η περιοχή ενδιαφέροντος.

Μέσα από τον Viewer εντοπίζεται ένα κατάλληλο σκοτεινό στόχο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται και ο κέρσορας έτσι ώστε να εντοπιστεί η χαμηλότερη τιμή.

- Εναλλακτικά μπορεί να γίνει η χρήση και του ιστογράμματος της εικόνας σε κάθε κανάλι:



- Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως δεν έγινε χρήση του πιο πάνω ιστογράμματος της εικόνας αλλά η διαδικασία ξεκίνησε με την διόρθωση χρησιμοποιώντας την μέθοδο του σκοτεινού στόχου, που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ