

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Τηλεπισκόπηση και Χωρική Συσχέτιση καλυμμένων
κατασκευών: Η περίπτωση της Ευρωπαϊκής Μακεδονίας**



Συγγραφή : Δημήτριος Τσόκας
Επίβλεψη: Δημήτριος Καϊμάρης
Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2023

Διπλωματική Εργασία | Δημητρίου Τσόκα

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας & Ανάπτυξης, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία για τη λήψη του πτυχίου του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με τίτλο:

«Αξιοποίηση Τεχνικών Εναέριας Τηλεπισκόπησης στην Αναζήτηση Ιχνών Πιθανού Αρχαιολογικού Ενδιαφέροντος: Η περίπτωση της Ευρωπαϊκής Μακεδονίας»

έχει συγγραφεί από εμένα, ενώ την ευθύνη για το περιεχόμενο την έχω αποκλειστικά εγώ. Δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου προπτυχιακού ή μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό. Επίσης, δηλώνω υπεύθυνα ότι οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, αναφέρονται στο σύνολό τους, κάνοντας αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο.

Όνοματεπώνυμο: Δημήτριος Τσόκας

Ημερομηνία: / /

Ευχαριστίες

Με το πέρας της εκπόνησης της παρούσης διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν κατ'οποιοδήποτε τρόπο σε αυτήν.

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα διδάσκοντα καθηγητή κο Δημήτριο Καϊμάρη για την ανάθεση του θέματος, τις συμβουλές, την καθοδήγηση, την μεταλαμπάδευση της γνώσης αλλά και την στήριξη και την υπομονή κατά την διαδικασία εκπόνησης της εργασίας. Ευχαριστώ την Εφορεία Αρχαιοτήτων του Κιλκίς και ιδιαίτερα την κα Γεωργία Στρατούλη και τον κο Νεκτάριο Πουλακάκη, για την άδεια αεροφωτογράφισης της περιοχής. Επίσης ευχαριστώ την νυν και πρώην εφόρο, αρχαιοτήτων Κιλκίς, κα Γεωργία Στρατούλη και κα Θωμαή Σαββοπούλου για την πλούσια πληροφόρηση, ενημέρωση και καθοδήγηση σχετικά με την ιστορία και το αρχαιολογικό έργο στην περιοχή.

Θερμά θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και τους συγγενείς μου για τις συμβουλές και την πολυειδή στήριξη εν καιρώ ανάγκης και μη. Για αυτά και την επιπλέον μεγάλη υπομονή τους κατά την διάρκεια φοιτήσεώς μου στο Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης και την μέχρι τώρα πορεία μου, θα ήθελα θερμότερα να ευχαριστήσω την κοντινή μου οικογένεια και τους γονείς μου. Ευχαριστώ τέλος όσους παρέλειψα να αναφέρω και πάνω από όλους ευχαριστώ τον Θεό.

Βραχυγραφίες

3D: 3 Dimensions (τρισεδιάστατος -η -ο)

ΕΓΣΑ87: Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987

HMA: ΗλεκτροΜαγνητική Ακτινοβολία

μηΕΑ: μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη

ΣμηΕΑ: Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

ΥΠΑ: Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας

AF: Autofocus (αυτόματη εστίαση σημείων)

Bit: binary digit [(Δυαδικό ψηφίο) μονάδα πληροφορίας υπολογιστών]

CMOS: complementary metal oxide semiconductor (τύπος αισθητήρα ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής)

DC: Direct Current (συνεχές ρεύμα)

DSLR: Digital Single-Lens Reflex (ψηφιακή μονοοπτική φωτογραφική μηχανή)

DSM: Digital Surface Model (ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας)

DTM: Digital Terrain Model (ψηφιακό μοντέλο εδάφους)

ESA: European Space Agency (ΕΟΔ - Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος)

FAA: Federal Aviation Administration [(Αμερικανική Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας) κρατικός αμερικανικός οργανισμός]

FAPAR: Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (ποσοστό ενεργής ακτινοβολίας που απορροφάται από την βλάστηση)

GCI: Green Chlorophyll Index (δείκτης βλάστησης)

GCPs: Ground control points (φωτοσταθερά εδάφους)

GCS: Ground Control Station (επίγειος σταθμός ελέγχου)

GNDVI: Green Normalized Difference Vegetation Index (δείκτης βλάστησης)

GPS: Global Positioning System (παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης)

GRVI: Green Ratio Vegetation Index (δείκτης βλάστησης)

GSAVI: Green Soil Adjusted Vegetation Index (δείκτης βλάστησης)

GSD: Ground Sample Distance (απόσταση δειγματοληψίας εδάφους)

HDMI: High Definition Multimedia Interface [(Διασύνδεση Πολυμέσων Υψηλής Ευκρίνειας) πρότυπο σύνδεσης για τη μετάδοση ψηφιακού ήχου και εικόνας]

HS: Hyperspectral (υπερφασματικός -η -ο)

JPG: Joint Photographic Group (πρότυπο συμπίεσης εικόνων)

LAI: Leaf Area Index (ΔΦΕ – Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας)

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας)

MP: Megapixel (1 εκατομμύριο pixels, μονάδα μέτρησης ανάλυσης εικόνας)

MS: Multispectral (πολυφασματικός – ή - ο)

MSR: Modified Simple Ratio (δείκτης βλάστησης)

MTOM: Maximum Take Off Mass (μέγιστη μάζα απογείωσης)

NASA: National Aeronautics and Space Administration [(Εθνική Διοίκηση Αεροναυτικής και Διαστήματος) κρατικός αμερικανικός οργανισμός]

NDRE: Normalized Difference Red Edge (δείκτης βλάστησης)

NDVI: Normalized difference vegetation index (δείκτης βλάστησης)

NDVIRE: Red Edge Normalised Difference Vegetation Index (δείκτης βλάστησης)

NGRDI: Normalised Green Red Difference Index (δείκτης βλάστησης)

NLI: Nonlinear Vegetation Index (δείκτης βλάστησης)

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration [(Εθνική Διοίκηση Ωκεανών και Ατμόσφαιρας) κρατικός αμερικανικός οργανισμός]

OSAVI: Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (δείκτης βλάστησης)

PAN: Panchromatic (παγχρωματικός -η -ο)

PNG: Portable Network Graphic (μορφή αρχείου)

PPK: Post Processed Kinematic (μεθοδολογία διόρθωσης σφαλμάτων σε συστήματα δορυφορικής πλοήγησης)

RC: Remote Control (απομακρυσμένος έλεγχος - τηλεχειρισμός)

RMSE: Root Mean Square Error (μέσο τετραγωνικό σφάλμα)

ROA: Remotely Operated Aircraft (τηλεχειριζόμενα αεροσκάφη)

RPAS: Remotely Piloted Aircraft Systems (συστήματα τηλεχειριζόμενων αεροσκαφών)

RPV: Remotely Piloted Vehicle (τηλεκατευθυνόμενα οχήματα)

RTK: Real Time Kinematic (μεθοδολογία διόρθωσης σφαλμάτων σε συστήματα δορυφορικής πλοήγησης)

SAVI: Soil Adjusted Vegetation Index (δείκτης βλάστησης)

SR: Simple Ratio (δείκτης βλάστησης)

TIFF: Tagged Image File Format (μορφή αρχείου)

UARSS: Unmanned Aerial Remote Sensing System (μη επανδρωμένο εναέριο σύστημα τηλεπισκόπησης)

UAVs: Unmanned Aerial Vehicles (μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα)

USB: universal serial bus [(Ενιαίος Σειριακός Δίαυλος) σύστημα διαύλου επικοινωνίας]

UVS: Unmanned Vehicle Systems (συστήματα μη επανδρωμένων οχημάτων)

VI: Vegetation Indices (δείκτες βλάστησης)

VTOL: Vertical Take Off & Landing (κατηγορία αεροσκαφών κάθετης απογείωσης & προσγείωσης)

WGS84 - World Geodetic System 1984 (παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς 1984)

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	11
Abstract	12
1. Εισαγωγή	13
1.1. Τηλεπισκόπηση	14
1.1.1. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	14
1.1.2. Φασματική υπογραφή	15
1.1.3. Εικονοληπτικά συστήματα	16
1.1.3.1. Διάκριση συστημάτων	16
1.1.3.2. Αναλογικά Συστήματα	17
1.1.3.3. Ψηφιακά Συστήματα	17
1.2. Εναέρια και Δορυφορική Αρχαιολογία.....	19
1.2.1. Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών – ΣμηΕΑ.....	19
1.2.2. Ίχνη- Marks	22
1.2.2.1. Ίχνη Καλλιέργειας - Crop marks.....	22
1.2.2.2. Ίχνη Εδάφους - Soil marks	22
1.2.2.3. Ίχνη σκιάς - Shadow marks	22
1.2.2.4. Ίχνη Πάγου– Frost Marks.....	23
1.2.3. Εργαλεία Αναγνώρισης Ίχνων	23
1.2.3.1. Ορθοφωτομωσαϊκό	23
1.2.3.2. Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας (DSM)	23
1.2.3.3. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM)	23
1.2.3.4. Δείκτες	24
1.2.4. Παραδείγματα.....	29
1.2.4.1. Ανακάλυψη αγνώστου μεσαιωνικού κοιμητηρίου στο Φρόσντορφ της Αυστρίας με Εναέρια Αρχαιολογία. (Doneus & Scharrer-Liska, 2003)	29
1.2.4.2. Μελέτη πολεοδομικής οργάνωσης της εγκαταλελειμμένης αρχαίας πόλης Άλτινουμ, Βενετία (Ιταλία), από πολυφασματικές εικόνες. (Ninfo et al., 2009).....	30
1.2.4.3. Δορυφορικές εικόνες και χωροταξικά συμπεράσματα αρχαίας πόλης. Μαντινεία, Πελοπόννησος (Ελλάδα). (Donati & Sarris, 2016)	31
1.2.4.4. Έρευνες στην Μακεδονία με παγχρωματικά, πολυφασματικά θερμικά δεδομένα. (Kaimaris, 2022)	32
2. Εφαρμογή και Μεθοδολογία.....	34
2.1. Περιοχή Μελέτης – Αρχαία Ευρωπός	34
2.2. Τεχνικά Χαρακτηριστικά UAV	41
2.3. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παγχρωματικού Αισθητήρα.....	42
2.4. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Πολυφασματικού Αισθητήρα	43
2.5. Επεξεργασία στον υπολογιστή	45
2.5.1. RGB εικόνες.....	45
2.5.1.1. Ροή Διεργασιών.....	45

2.5.1.2.	Προϊόντα	52
2.5.2.	Πολυφασματικές εικόνες	60
2.5.2.1.	Ροή Διεργασιών	61
2.5.2.2.	Ακρίβειες τελικών προϊόντων.....	76
3.	Αποτελέσματα	77
3.1.	Ίχνη πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.....	77
3.2.	Αξιολόγηση εικόνων δεικτών.....	79
3.2.1.	Τομέας Α.....	79
3.2.1.1.	Περιοχή Α1.....	79
3.2.1.2.	Περιοχή Α2.....	82
3.2.1.3.	Περιοχή Α3.....	83
3.2.1.4.	Περιοχή Α4.....	86
3.2.1.5.	Περιοχή Α5.....	89
3.2.1.6.	Περιοχή Α6.....	92
3.2.1.7.	Περιοχή Α7.....	95
3.2.2.	Τομέας Β.....	98
3.2.2.1.	Περιοχή Β1.....	98
3.2.2.2.	Περιοχή Β2.....	101
3.2.3.	Τομέας Γ	104
3.2.3.1.	Περιοχή Γ1	104
3.2.3.2.	Περιοχή Γ2	107
3.2.3.3.	Περιοχή Γ3	110
3.2.3.4.	Περιοχή Γ4	113
3.2.4.	Τομέας Δ.....	116
3.2.4.1.	Περιοχή Δ1.....	116
3.2.4.2.	Περιοχή Δ2.....	120
3.2.4.3.	Περιοχή Δ3.....	123
3.3.	Συνολική Αξιολόγηση.....	126
4.	Συμπεράσματα	128
4.1.	Συμπεράσματα Μεθοδολογίας.....	128
4.2.	Χωροταξικά Συμπεράσματα	131
5.	Βιβλιογραφία	133
6.	Ηλεκτρονικές Πηγές.....	141
7.	Παράρτημα	143

Ευρετήριο Σχημάτων

ΣΧΗΜΑ.1.2.4.1.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΟΥΜΕΝΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΙΧΝΩΝ	29
ΣΧΗΜΑ 1.2.4.2.1. ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΨΕΥΔΟΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ (NIR,RED,GREEN) ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ. ΔΕΞΙΑ: ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΙΧΝΩΝ. (NINFO ET AL., 2009)	30
ΣΧΗΜΑ 1.2.4.3.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΜΑΝΤΙΝΕΙΑΣ. ΟΙ ΕΝΤΟΝΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΝΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ (DONATTI, 2015)	31
ΣΧΗΜΑ 1.2.4.4.1. ΕΙΚΟΝΑ ΜΕ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ SR ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΟΥ ΕΡΕΥΝΗΘΗΚΕ ΕΝΤΟΣ ΤΩΝ ΤΕΙΧΩΝ ΤΩΝ ΑΡΧΑΙΩΝ ΦΙΛΙΠΠΩΝ . ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΑΠΟ (ΚΑΙΜΑΡΙΣ, 2022)	33
ΣΧΗΜΑ 2.1.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	34
ΣΧΗΜΑ 2.1.2 Η ΑΚΡΟΠΟΛΗ ΑΠΕΧΕΙ 5,5 ΧΛΜ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΟΙΤΗ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΞΙΟΥ. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΟ ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ. ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΑΠΟ GOOGLE EARTH	35
ΣΧΗΜΑ 2.1.3 «ΕΥΡΩΠΑΙΩΝ Η ΠΟΛΙΣ». ΕΠΙΓΡΑΦΗ ΧΡΟΝΩΝ ΠΡΩΙΜΗΣ ΡΩΜΑΙΟΚΡΑΤΙΑΣ. (ΔΗΜΟΣ ΠΑΙΟΝΙΑΣ, 2022)	36
ΣΧΗΜΑ 2.1.4 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ. Α: Π.Ι. ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ, Β: ΘΕΣΗ ΦΟΥΡΝΟΥ ΚΕΡΑΜΟΠΟΙΙΑΣ C: ΘΕΣΕΙΣ ΤΑΦΩΝ (TSOKAS ET AL., 1994)	37
ΣΧΗΜΑ 2.1.5. ΤΑ ΣΗΜΕΡΙΝΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΚΗΡΥΓΜΕΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΟ (ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ, 2022).	38
ΣΧΗΜΑ 2.1.6 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΑ ΟΡΙΑ ΚΑΛΥΨΗΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ (ΜΕ ΜΑΥΡΗ ΓΡΑΜΜΗ). ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΑΠΟ ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΣΤΟ GOOGLE EARTH PRO	39
ΣΧΗΜΑ 2.1.7 ΆΠΟΨΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΡΑΠΕΖΑΣ ΛΙΓΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΓΩΝΙΑΚΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΟΔΩΝ. ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ	40
ΣΧΗΜΑ 2.2.1. ΤΟ WINGTRAONE GEN II ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ. ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ	41
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.1.1 ΟΙ ΠΑΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	45
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.1.2 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΠΡΟΒΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΡΟΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΝΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΛΗΨΕΙΣ.	46
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.1.3 Η ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΣΕ GGRS87 – ΕΓΣΑ87 ΕΙΝΑΙ ΕΜΦΑΝΗΣ. ΡΟΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΝΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΛΗΨΕΙΣ.	46
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.1.4 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΝΤΟΛΗΣ ALIGN PHOTOS. ΡΟΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΝΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΛΗΨΕΙΣ.	47
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.1.5 ΆΠΟΨΗ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ RGB ΛΗΨΕΩΝ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟ. ΩΣ ΜΠΛΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΓΡΑΜΜΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΛΗΨΕΙΣ.	47
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.1.6 ΆΠΟΨΗ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ RGB ΛΗΨΕΩΝ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟ.	48
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.1.7 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΠΑΓΧΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ.	48
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.1.8 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ DENSE CLOUD ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΝΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΛΗΨΕΙΣ	49
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.1.9 ΆΠΟΨΗ ΤΟΥ DENSE CLOUD ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΝΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΛΗΨΕΙΣ	49
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.1.10 ΆΠΟΨΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΡΧ. ΧΩΡΟΥ ΣΤΟ DENSE CLOUD ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΝΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΛΗΨΕΙΣ	50
ΣΧΗΜΑ.2.5.1.1.11 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΝΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΛΗΨΕΙΣ	50
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.1.12 DEM ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΝΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΛΗΨΕΙΣ	51
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.1.13 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟΥ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΝΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΛΗΨΕΙΣ	51
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.2.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ DENSE CLOUD ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΝΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΛΗΨΕΙΣ.	53
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.2.1.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	54
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.2.1.2 DENSE CLOUD ΥΨΗΛΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ	54
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.2.3 DEM ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	55
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.2.4 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟ ΨΗΛΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ	56
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.2.2.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΕΤΡΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	57
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.2.2.2 DENSE CLOUD ΜΕΤΡΙΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ	57
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.2.2.3 DEM ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΡΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	58
ΣΧΗΜΑ 2.5.1.2.2.4 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟ ΜΕΤΡΙΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ.....	59
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ	60
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.1 ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΟ AGISOFT METASHAPE	61
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.2 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΜΕΤΑΦΕΡΕΙ ΤΙΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΦΑΚΕΛΟ	61
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.3 ΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΤΗΣ ΕΝΤΟΛΗΣ <<CALIBRATE REFLECTANCE>>.....	62
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.4 ΤΙΜΕΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ	63
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.5 ΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΤΗΣ ΕΝΤΟΛΗΣ <<CALIBRATE REFLECTANCE>> ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ...	63
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.6 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΠΡΟΒΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	64
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.7 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΡΥΘΙΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΝΤΟΛΗΣ ALIGN PHOTOS.....	64

ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.8 ΑΠΟΨΗ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟ ΤΩΝ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΛΗΨΕΩΝ. ΩΣ ΜΠΛΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΓΡΑΜΜΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΛΗΨΕΙΣ	65
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.9 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	66
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.10 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ DENSE CLOUD	66
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.11 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	67
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.12 ΑΠΟΨΗ ΤΟΥ DENSE CLOUD ΤΩΝ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΛΗΨΕΩΝ ΠΑΝΩ ΣΤΗΝ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ. ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΟΘΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΟ AGISOFT METASHAPE.....	68
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.13 DSM ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΛΗΨΕΙΣ.....	69
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.14 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ MS	70
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.15 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟ ΕΓΓΥΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ (NIR) ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΛΗΨΕΩΝ	71
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.16 ΠΟΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΛΗΨΕΩΝ.....	72
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.17 ΠΟΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΛΗΨΕΩΝ.....	72
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.18 ΟΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΠΟΥ ΑΞΙΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΟΥΤΡΥΤ BANDS	73
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.19 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΕΞΟΔΟΥ ΚΑΙ ΠΑΛΕΤΑΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΙΜΩΝ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΥΠΟΠΑΡΑΘΥΡΟ PALETTE ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ RASTER CALCULATOR	74
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.20 ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΕΝΤΟΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΟΡΘΟΜΩΣΑΙΚΟΥ	74
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.22 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ MS.....	75
ΣΧΗΜΑ 2.5.2.1.21 ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ MS.....	75
ΣΧΗΜΑ 3.1.1 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟ ΔΕΙΚΤΗ NDVI ΜΕ ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ ΤΟΜΕΩΝ & ΠΕΡΙΟΧΩΝ	78
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.1.1 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α1 ΜΕ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ SR.....	80
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.1.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α1	81
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.2.1 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΙΚΤΗ SR ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α2 (ΠΑΝΩ) ΚΑΙ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ (ΚΑΤΩ)	82
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.3.1: ΑΡΙΣΤΕΡΑ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDVI ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Α3, ΔΕΞΙΑ :ΤΑ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ	84
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.3.2. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α3	85
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.4.1: ΑΡΙΣΤΕΡΑ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDV ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Α4, ΔΕΞΙΑ :ΤΑ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ	87
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.4.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α4	88
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.5.1: ΑΡΙΣΤΕΡΑ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SR ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Α5, ΔΕΞΙΑ : ΤΑ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ	90
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.5.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α5	91
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.6.1 : ΔΕΞΙΑ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDRE ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Α6, ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ.....	93
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.6.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α6	94
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.7.1 ΠΑΝΩ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SAVI ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Α7, ΚΑΤΩ: ΤΑ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ	96
ΣΧΗΜΑ 3.2.1.7.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α7	97
ΣΧΗΜΑ 3.2.2.1.1 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΙΧΝΟΥΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Β1 ΣΤΗΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ NIR ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	98
ΣΧΗΜΑ 3.2.2.1.2: ΠΑΝΩ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NIR ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Β1, ΚΑΤΩ :ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΙΧΝΟΥΣ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΟ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ.....	99
ΣΧΗΜΑ 3.2.2.1.3 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Β1.....	100
ΣΧΗΜΑ 3.2.2.2.1: ΠΑΝΩ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ RED ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Α4, ΚΑΤΩ :ΤΑ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΙΘΑΝΩΝ ΙΧΝΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ.....	102
ΣΧΗΜΑ 3.2.2.2.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Β2.....	103
ΣΧΗΜΑ 3.2.3.2.1 : ΠΑΝΩ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SAVI ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Γ1, ΚΑΤΩ : ΤΑ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.3.1.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ1.....	104
ΣΧΗΜΑ 3.2.3.2.1 : ΠΑΝΩ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SAVI ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Γ1, ΚΑΤΩ : ΤΑ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ	105
ΣΧΗΜΑ 3.2.3.2.1 : ΠΑΝΩ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SAVI ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Γ1, ΚΑΤΩ : ΤΑ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ	105
ΣΧΗΜΑ 3.2.3.1.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ1	106
ΣΧΗΜΑ 3.2.3.2.1 : ΠΑΝΩ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ GSAVI ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Γ2, ΚΑΤΩ: ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ.....	108
ΣΧΗΜΑ 3.2.3.2.1 : ΠΑΝΩ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ GSAVI ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Γ2, ΚΑΤΩ: ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ.....	108
ΣΧΗΜΑ 3.2.3.2.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ2	109

ΣΧΗΜΑ 3.2.3.2.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ2	109
ΣΧΗΜΑ 3.2.3.3.1 ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΙΚΤΗ NDVI ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ3 (ΠΑΝΩ) ΚΑΙ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ (ΚΑΤΩ)	111
ΣΧΗΜΑ 3.2.3.3.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ3	112
ΣΧΗΜΑ 3.2.3.4.1 : ΔΕΞΙΑ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ GCI ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Γ4, ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣΧΗΜΑ 3.2.3.3.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ3	112
ΣΧΗΜΑ 3.2.3.4.1 : ΔΕΞΙΑ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ GCI ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Γ4, ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ	114
ΣΧΗΜΑ 3.2.3.4.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ4	115
ΣΧΗΜΑ 3.2.4.1.1 : ΠΑΝΩ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SR ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Δ1, ΚΑΤΩ :ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΙΧΝΟΥΣ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΟ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ	117
ΣΧΗΜΑ 3.2.4.1.1 : ΠΑΝΩ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SR ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Δ1, ΚΑΤΩ :ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΙΧΝΟΥΣ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΟ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ	117
ΣΧΗΜΑ 3.2.4.1.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Δ1	119
ΣΧΗΜΑ 3.2.4.2.1 : ΑΡΙΣΤΕΡΑ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SR ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Δ2, ΔΕΞΙΑ: ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ	121
ΣΧΗΜΑ 3.2.4.2.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Δ2	122
ΣΧΗΜΑ 3.2.4.3.1 : ΑΡΙΣΤΕΡΑ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SR ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Δ3, ΔΕΞΙΑ: ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΙΧΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΕΙΚΟΝΑ	124
ΣΧΗΜΑ 3.2.4.3.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Δ3	125
ΣΧΗΜΑ 4.2.1: ΣΚΑΡΙΦΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟΥ	1432
ΣΧΗΜΑ 7.1 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ NIR ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	143
ΣΧΗΜΑ 7.2 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ REDEDGE ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	144
ΣΧΗΜΑ 7.3 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ RED ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	145
ΣΧΗΜΑ 7.4 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ GREEN ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	146
ΣΧΗΜΑ 7.5 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ BLUE ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	147
ΣΧΗΜΑ 7.6 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ NDVI	148
ΣΧΗΜΑ 7.7 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ SAVI	149
ΣΧΗΜΑ 7.8 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ OSAVI	150
ΣΧΗΜΑ 7.9 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ SR	151
ΣΧΗΜΑ 7.10 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ NDRE	152
ΣΧΗΜΑ 7.11 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ GSAVI	153
ΣΧΗΜΑ 7.12 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ GNDVI	154
ΣΧΗΜΑ 7.13 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ GC	155
ΣΧΗΜΑ 7.14 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ GRVI	156
ΣΧΗΜΑ 7.15 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ NLI	157
ΣΧΗΜΑ 7.16 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ NDVIRE	158
ΣΧΗΜΑ 7.17 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ MSR	159
ΣΧΗΜΑ 7.18 ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ ΔΕΙΚΤΗ NGRDI	160

Ευρετήριο Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1.1.1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	14
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2.1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗΕΑ ΒΑΣΕΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ.....	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ MICASENSE REDEEDGE-MX.....	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5.2.2.1 ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΩΝ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.1.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α1	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.1.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α1	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.1.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α1	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.3.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α3	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.4.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α4	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α4	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.5.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α5	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.5.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α5	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.6.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α6	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.6.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α6	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.7.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α7	95
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.7.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α7	95
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.2.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Β1	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.2.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Β2	101
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.3.1.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ1.....	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.3.1.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ1.....	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.3.2.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ2.....	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.3.2.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ2.....	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.3.3.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ3.....	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.3.3.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ3.....	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.3.4.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ4.....	113
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.3.4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Γ4.....	113
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.4.1.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Δ1	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.4.1.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Δ1	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.4.2.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Δ2	120
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.4.2.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Δ2	120
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.4.3.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΔΟΧΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΧΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Δ3	123
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΟΜΑΔΩΝ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΔΕΙΚΤΩΝ.....	126
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.2. ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΑ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΚΔΟΧΩΝ ΤΟΥ ΟΡΘΟΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΙΧΝΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΑΞΗ.....	126

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί εφαρμογή μεθόδων Εναέριας και Δορυφορικής Αρχαιολογίας για την αναγνώριση των θέσεων και της χωροταξικής κατανομής πιθανών ιχνών καλυμμένων (από το έδαφος ή τη βλάστηση) κατασκευών, σε μία έκταση 300 στρεμμάτων, εντός των ορίων μίας κυρηγμένης αρχαιολογικής ζώνης. Η περιοχή βρίσκεται σε απόσταση 1 χιλιομέτρου από την σημερινή πόλη της Ευρωπού (Κεντρικής Μακεδονίας). Η έκταση περικλείει επισκέψιμες αρχαιολογικές ανασκαφές και την τοπογραφική τράπεζα με ανασκαμμένα αλλά και καλυμμένα κατάλοιπα οικοδομικής δραστηριότητας αρχαιολογικής σημασίας. Στην εργασία αναζητήθηκαν ίχνη βλάστησης πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Στα ευρήματα εντός και εκτός της τοπογραφικής τράπεζας, εμπεριέχονται γραμμικά ίχνη καθώς και ορισμένα ίχνη ορθογώνιου σχήματος με διαστάσεις μεγαλύτερες των 5 μέτρων. Παρατηρείται επίσης μεγάλος αριθμός ιχνών διαστάσεων παρόμοιων με των ανασκαμμένων ταφικών μνημείων εντός του επισκέψιμου αρχαιολογικού χώρου σε μεγάλο κομμάτι των ορθοανηγμένων εικόνων. Αξιοποιήθηκαν, το μη επανδρωμένο αεροσκάφος Wingtra ONE gen II, η πανχρωματική κάμερα Sony Cyber-shot DSC-RX1R II, ο πολυφασματικός αισθητήρας Micasense RedEdge -MX για την λήψη των πρωτογενών δεδομένων καθώς και το λογισμικό Agisoft Metashape για την παραγωγή των τηλεπισκοπικών προϊόντων. Επιπλέον, αξιοποιήθηκε το λογισμικό ArcMap για την σύγκριση των τελικών προϊόντων. Παράχθηκε πανχρωματική ορθοανηγμένη εικόνα, ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας και ορθοφωτομωσαϊκά δεικτών τηλεπισκόπησης. Η ορθοανηγμένη NIR εικόνα και τα ορθοφωτομωσαϊκά των δεικτών αποτέλεσαν την κύρια πηγή παρατηρήσεων σχετικών ιχνών βλάστησης και εξαγωγής συμπερασμάτων. Ειδικότερα, οι βιβλιογραφικά δημοφιλείς στην Δορυφορική Αρχαιολογία δείκτες SR, NDVI, SAVI και OSAVI, κρίθηκαν οι αποδοτικότεροι στην εμφάνιση ιχνών βλάστησης κατά την σύγκριση και αξιολόγηση των παραπάνω προϊόντων.

Λέξεις Κλειδιά: Εναέρια και Δορυφορική Αρχαιολογία, Τηλεπισκόπηση, Ίχνη Βλάστησης, Ευρωπός, μη επανδρωμένα αεροσκάφη, ΣμηΕΑ, πολυφασματικοί αισθητήρες, δείκτες βλάστησης, πανχρωματική και πολυφασματική κάμερα.

Abstract

This bachelor's thesis is an application of Aerial and Satellite Archeology methods. It is about the identification of the position and spatial distribution of marks of possible structures covered (by soil or vegetation). The research area has an acreage of 300 acres and is within the boundaries of a declared archaeological zone. It is located at a distance of 1 kilometer from the current city of Europos (Central Macedonia, Greece). The area includes open to visitors archaeological excavations and a topographical table where excavated and covered remains of construction activity of archaeological importance are found. In a great part of the thesis, the main object is the search of crop marks of possible archaeological interest. The findings inside and outside the topographical table include linear crop marks as well as marks of a rectangular shaped object with linear dimensions greater than 5 meters. In the orthorectified images, plenty of crop marks are found which have dimensions similar to those of the excavated burial monuments within the visited archaeological site. In the reception of the raw data, the unmanned aerial vehicle "Wingtra ONE gen II", the panchromatic camera "Sony Cyber-shot DSC-RX1R II", the multispectral sensor "Micasense RedEdge -MX" were utilized. The software "Agisoft Metashape" was utilized in the making of the final products. In addition, ArcMap software was used to compare the final products. Panchromatic orthorectified images, a digital surface model and remote sensing index orthophotomosaics were produced. The orthorectified NIR image and the index orthophotomosaics were the primary source of crop marks observations and outcomes about the area. When compared, the bibliographically popular in Satellite Archeology, SR, NDVI, SAVI and OSAVI indices were found to be the most effective in revealing crop marks.

Keywords: Aerial and Satellite Archaeology, Remote Sensing, Crop Marks, Europos, Unmanned Aerial Vehicles, UAVs, Multispectral Sensors, Vegetation Indices, Panchromatic and Multispectral Camera

1. Εισαγωγή

Η συμβολή της Τηλεπισκόπησης εμπίπτει στα αντικείμενα της διαμόρφωσης των πόλεων, της χωροταξίας, της πολεοδομίας, της περιφερειακής ανάπτυξης, κτλ, όπου εμπεριέχεται η εκπόνηση μακροπρόθεσμων σχεδίων με μελλοντικούς στόχους. Επιπλέον, έχει συμβάλει ουσιαστικά στην ανάδειξη και καλύτερη διαχείριση των αρχαιοτήτων. Οι τεχνικές της Τηλεπισκόπησης και της Φωτοερμηνείας, δηλαδή της επεξεργασίας των προϊόντων της Τηλεπισκόπησης προς την εξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων, όταν αξιοποιούνται σε αρχαιολογικές εφαρμογές, υπάγονται στον κλάδο της Εναέριας και Δορυφορικής Αρχαιολογίας.

Στην εργασία, βασικοί στόχοι αποτέλεσαν η εξοικείωση του φοιτητή με σχετικές τεχνικές και μεθοδολογίες καθώς και η επαφή με όλα τα στάδια αντίστοιχων εφαρμογών. Πρόκειται για μία πληρέστερη προσέγγιση και εμβάθυνση στα γνωστικά εφόδια του εργαστηριακού μαθήματος Τηλεπισκόπησης, που περιλαμβάνεται στο πρόγραμμα σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας & Ανάπτυξης του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Κεντρικά αντικείμενα, αποτέλεσαν η εκπαίδευση και εξοικείωση με τα συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών και τις αεροφωτογραφίες (πολυφασμασματικές και παγχρωματικές), με την επεξεργασία των σχετικών προϊόντων. Αυτό πραγματοποιήθηκε διά βιβλιογραφικής ανασκοπήσεως αλλά και μίας επακόλουθης εφαρμογή σχετικών μεθοδολογιών.

Τα παραπάνω εφαρμόζονται στην εργασία για την αναγνώριση του υπεδάφους περιοχής με αρχαιολογικό ενδιαφέρον. Πρόκειται για έκταση 300 στρεμμάτων γύρω από γνωστές θέσεις ανασκαμμένων αρχαιοτήτων και εντός των ορίων κυρηγμένης αρχαιολογικής ζώνης στην Ευρωπό της Περιφερειακής Ενότητας Κυκλίας. Η περίπτωση, προσέφερε ευκαιρία αξιοποίησης του πρόσφατα αποκτημένου από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, μη επανδρωμένου αεροσκάφους: Wingtra ONE gen II. Για την λήψη των πρωτογενών δεδομένων, στο αεροσκάφος προσαρτήθηκαν η πανχρωματική φωτογραφική μηχανή Sony Cyber-shot DSC-RX1R II και ο πολυφασματικός αισθητήρας Micasense RedEdge-MX. Η αεροφωτογράφιση έλαβε χώρα στις 6 Μαΐου 2022 και η επεξεργασία των λήψεων και παραγωγή των φωτογραμμετρικών προϊόντων εκτελέστηκε στο λογισμικό Agisoft Metashape Τα προϊόντα περιλαμβάνουν την πανχρωματική ορθοανηγμένη εικόνα, το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας, τις εικόνες των απομονωμένων ζωνών της HMA, όπως προκύπτουν από τις εναέριες εικόνες με τον πολυφασματικό αισθητήρα, και τέλος τις καίριες σημασίας εικόνες δεικτών βλάστησης, όπου και διακρίνονται τα περισσότερα ίχνη βλάστησης.

Στην πρώτη και εισαγωγική ενότητα (την παρούσα) σημειώνεται σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης, της Εναέριας και Δορυφορικής Αρχαιολογίας και σχετικών μεθόδων και τεχνικών. Βαρύτητα δίνεται στην παρουσίαση του εργαλείου των δεικτών βλάστησης και ακολουθεί η αναφορά τεσσάρων παραδειγμάτων από την διεθνή βιβλιογραφία. Στην δεύτερη ενότητα αναπτύσσεται ο χαρακτήρας του ερευνητικού σκέλους της παρούσας εργασίας. Αρχικά παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, ο εξοπλισμός και τα εργαλεία που αξιοποιήθηκαν όπως το μη επανδρωμένο αεροσκάφος, η πανχρωματική κάμερα και ο πολυφασματικός αισθητήρας. Αναφέρονται παράμετροι της επιχείρησης της πτήσης του ΣμηΕΑ και στην συνέχεια παρουσιάζεται ενδελεχώς η φωτοερμηνευτική διαδικασία, από την εξαγωγή των εναέριων εικόνων έως την τελική παραγωγή των προϊόντων. Στην τρίτη ενότητα παρουσιάζονται τα ίχνη πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος που παρατηρήθηκαν στα φωτογραμμετρικά προϊόντα σε όλη την έκταση της εργασίας. Επιχειρείται μία αξιολόγηση των προϊόντων. Στην τελευταία ενότητα αναγράφονται τα μεθοδολογικά και χωροταξικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη των παραπάνω.

1.1. Τηλεπισκόπηση

Τηλεπισκόπηση ή Τηλε-ανίχνευση καλείται η Επιστήμη και η τεχνική της παρατήρησης, παρακολούθησης, συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων των χαρακτηριστικών αντικειμένων, φαινομένων ή γήινων επιφανειών από απόσταση βάσει της ακτινοβολίας που ανακλάται ή εκπέμπεται από αυτά τα αντικείμενα (Read & Torrado, 2009; Αστάρας, 2011; Καϊμάρης, 2014).

Η Τηλεπισκόπηση εστιάζει στην ανάλυση των δορυφορικών εικόνων. Περιλαμβάνει περιφερειακές και παγκόσμιες αναλύσεις, γεγονός που οφείλεται στην σημειωθείσα πρόοδο στην τεχνολογία των εικονοληπτικών συστημάτων και της ψηφιακής επεξεργασίας (Anghamba et al., 2015).

Η Τηλεπισκόπηση αξιοποιεί αρχές της ακτινοβολίας για να προσδιορίσει τα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου που εκπέμπει ή ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητική ενέργεια σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος (Read et al., 2020).

1.1.1. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ΗΜΑ) ονομάζεται η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας κυματικής μορφής στον χώρο. Αυτά τα κύματα καλούνται ηλεκτρομαγνητικά και αποτελούν συγχρονισμένα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία ταλαντώνονται κάθετα προς τη διεύθυνση διαδόσεως καθώς και σε κάθετα μεταξύ τους επίπεδα (Raymond, 1990; Καϊμάρης, 2014). Κατά τη συχνότητα και την ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρεται, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διακρίνεται σε φασματικές περιοχές όπως φαίνεται στον πίνακα 1.1.1.1.

Μήκος κύματος		Φασματική Περιοχή
<0,03 nm	Ακτίνες Γ	
0,03-300 nm	Ακτίνες Χ	
0,30-0,38 μm	Υπεριώδης	
0,38-0,5 μm	Ιώδης / Μπλε / BLUE	Ορατή
0,50-0,60 μm	Πράσινη / GREEN	
0,60-0,72 μm	Ερυθρή / Κόκκινη / RED	
0,72-1,30 μm	Εγγύς / NIR	Υπέρυθρη
1,30-3,00 μm	Βραχεία / SWIR	
3,00-8,00 μm	Μέση / MWIR	
8,00-15,0 μm	Μακρά ή Θερμική/ LWIR ή TIR	
0,75 – 1,10 cm	Ka	Μικροκύματα
1,10-1,67 cm	K	
1,70-2,40 cm	Ku	
2,40-3,80 cm	X	
3,80-7,69 cm	C	
7,69-15,00 cm	S	
15,00-30,00 cm	L	
30,00-100,00 cm	Ραδιοκύματα	

Πίνακας 1.1.1.1 Περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος .Διαμορφωμένο από : (Καϊμάρης 2014)

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανιχνεύεται από την ανθρώπινη όραση με την έννοια των χρωμάτων είναι το κομμάτι του φάσματος από 0,38μm έως 0,72 μm (Campbell & Wynne, 2011; Καϊμάρης, 2014). Συνεπώς υπάρχει ακτινοβολία αόρατη από τα μάτια αλλά δυνάμει ανιχνεύσιμη από όργανα Τηλεπισκόπησης και αξιοποιήσιμη σε ποικίλα ερευνητικά πεδία (NRCAN, 2015).

Οι καταγραφές των <<αντιδράσεων>> επιφανειών και αντικειμένων στην HMA αποτελούν τα δεδομένα της Τηλεπισκόπησης (Πατιάς, 1993).

1.1.2. Φασματική υπογραφή

Ο ήλιος αποτελεί βασική πηγή HMA και σε τομείς της Τηλεπισκόπησης αξιοποιείται ουσιαστικά. Η ηλιακή ακτινοβολία φτάνοντας στη γη και διανύοντας την ατμόσφαιρα, επηρεάζεται από σωματίδια και μόρια, με αποτέλεσμα να υφίσταται μία σειρά αλλιώσεων. Αυτές είναι η μετάδοση, η σκέδαση, η διάθλαση, η απορρόφηση και η εκπομπή και οι οποίες εν τέλει μεταβάλλουν το μέγεθος, την διεύθυνση, το μήκος κύματος, την φάση και την πόλωση της HMA (Καϊμάρης, 2014).

Στα ποικίλα μήκη κύματος, κάθε αντικείμενο - επιφάνεια - υλικό που βρίσκεται επάνω στη Γη, έχει έναν μοναδικό τρόπο αλληλεπίδρασης με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτός αποτυπώνεται στην γραφική παράσταση του ποσοστού της HMA που ανακλάται και καταγράφεται από τα όργανα σε συνάρτηση με το μήκος κύματος. Η καμπύλη ονομάζεται φασματική υπογραφή ή φασματική ταυτότητα ή φασματική απάντηση του αντικειμένου (Καϊμάρης, 2014; ESA, 2014).

Οι ανακλαστικές ιδιότητες ενός αντικειμένου εξαρτώνται από το υλικό, τη φυσική του κατάσταση, τη χημική του σύσταση, την τραχύτητα της επιφάνειας, αλλά και από χαρακτηριστικά της εισερχόμενης ακτινοβολίας, όπως η γωνία πρόσπτωσης και το μήκος κύματος της HMA (HSU, 2014). Η πορεία που διανύει η ακτινοβολία, αλλά και οι ιδιαιτερότητες του αντικειμένου-στόχου θα αποδώσουν διαφορετική κατανομή της ανακλώμενης ακτινοβολίας και άρα διαφορετική φασματική υπογραφή.

Η περίπτωση της βλάστησης

Στα πράσινα μέρη των φυτών βρίσκεται η χλωροφύλλη. Πρόκειται για ζωτικής σημασίας ουσία, που παράγεται μέσω της φωτοσύνθεσης. Για την τροφοδότηση της φωτοσύνθεσης, το φυτό απορροφά την ιώδη και την ερυθρή ακτινοβολία. Συνεπώς, όταν το φυτό είναι υγιές, η ακτινοβολία απορροφάται στα μήκη πλησίον των 0,45 μm (ιώδης - BLUE ακτινοβολία) και 0,67 μm (ερυθρή - RED ακτινοβολία), ενώ ανακλάται σε μεγάλο βαθμό η πράσινη - GREEN ακτινοβολία (0,5 μm - 0,6μm) (HSU, 2014). Η ανακλώμενη πράσινη ακτινοβολία καταφθάνει στους οφθαλμούς του παρατηρητή και καθιστά αντιληπτά ως πράσινα τα σημεία χλωροφύλλης της υγιούς βλάστησης. Επιπλέον, σε εύρωστα φυτά με περισσότερη χλωροφύλλη παρατηρείται σημαντικά υψηλότερη ανάκλαση της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας - NIR μεταξύ 0,72 μm και 1,3 μm (NASA, 2010). Η ιδιότητα αυτή, οφείλεται στην ιδιαίτερη εσωτερική δομή των φύλλων. Αξιοποιείται στη διάκριση μεταξύ διαφορετικών ειδών χλωρίδας, καθώς η δομή των φύλλων ποικίλει κατά είδος (HSU, 2014).

Συνοψίζοντας, πληροφορίες για την υγεία και την παραγωγικότητά συγκεκριμένης βλάστησης μπορούν να εξαχθούν από την μελέτη των αποκρίσεων της στις ζώνες ορατής και υπέρυθρης HMA (NASA, 2010).

1.1.3. Εικονοληπτικά συστήματα

Για την συλλογή των δεδομένων αξιοποιούνται ειδικοί δέκτες, οι οποίοι ανιχνεύουν τα μεγέθη της ενέργειας που αντανακλάται ή εκπέμπεται από το υπό μελέτη αντικείμενο στόχο ή περιοχή.

1.1.3.1. Διάκριση συστημάτων

Οι δέκτες διακρίνονται σύμφωνα με διάφορα κριτήρια και κάποια βασικά είναι τα παρακάτω.

A) Βάσει της πηγής ακτινοβολίας

Οι δέκτες διακρίνονται στους παθητικούς και τους ενεργητικούς (NOAA, 2021; Καϊμάρης, 2014).

Οι παθητικοί δέκτες ή παθητικά συστήματα αξιοποιούν εξωτερική πηγή ενέργειας. Ανταποκρίνονται σε εξωτερικά ερεθίσματα και καταγράφουν ενέργεια που εκπέμπεται ή ανακλάται από την υπό μελέτη επιφάνεια. Συνήθης πηγή ακτινοβολίας, ανιχνεύσιμη από τα παθητικά συστήματα, είναι το ανακλώμενο φως του ηλίου. Παθητικό δέκτη αποτελεί η φωτογραφική μηχανή χειρός.

Οι ενεργητικοί δέκτες ή ενεργητικά συστήματα, αντιθέτως, χρησιμοποιούν ίδια πηγή ενέργειας. Παράδειγμα αποτελεί ένα σύστημα τηλεπισκόπησης με λέιζερ, το οποίο εκπέμπει δέσμη ενέργειας προς την επιφάνεια της Γης και μετρά τον χρόνο που χρειάζεται για να επιστρέψει μετά την ανάκλασή της από την επιφάνεια στον αισθητήρα του συστήματος (Gelbart et al., 2002).

B) Βάσει της πλατφόρμας του δέκτη

Το μέσο όπου εφαρμόζεται ο εικονοληπτικός δέκτης, μπορεί να είναι επίγειο, αερομεταφερόμενο ή διαστημικό. Τα επίγεια μέσα περιλαμβάνουν τα κινούμενα και τα στατικά, όπως οι γερανοί. Στα εναέρια συγκαταλέγονται τα αεροπλάνα, τα αερόστατα, τα ελικόπτερα, τα συστήματα μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων - ΣμηΕΑ (UAVs: Unmanned Aerial Vehicles Systems). Στα διαστημικά διακρίνονται οι δορυφόροι και τα διαστημικά σκάφη.

Γ) Βάσει του μέσου αποθήκευσης της καταγραφόμενης ακτινοβολίας

Πρόκειται για καίρια διάκριση μεταξύ των εικονοληπτικών συστημάτων. Στα αναλογικά μέσα, η ΗΜΑ καταγράφεται επάνω σε φιλμ και σε συνεχείς περιοχές. Στους ψηφιακούς αισθητήρες, η ένταση της καταγραφόμενης (ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης) ακτινοβολίας από τα αντικείμενα-στόχους μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα, καθώς ψηφιακοί αισθητήρες έχουν τοποθετηθεί αντί του αρνητικού του φιλμ (Καϊμάρης, 2014; NRCAN, 2015).

1.1.3.2. Αναλογικά Συστήματα

Στα αναλογικά συστήματα η ΗΜΑ αποτυπώνεται σε φιλμ. Η φωτογραφία αποτυπώνεται έπειτα από χημικές αντιδράσεις σε φωτοευαίσθητο γαλάκτωμα, απλωμένο πάνω σε επιφάνεια λεπτής μεμβράνης (φιλμ). Στη μεμβράνη μπορεί να καταγραφεί το διάστημα από 0,3 έως 0,9 μm , όπου περιλαμβάνεται η ορατή ακτινοβολία (0,4 - 0,7 μm), τμήμα της υπεριώδους (0,3-0,38 μm) και του εγγύς υπέρυθρου (0,72 - 1.3 μm). Τα γαλακτώματα κατηγοριοποιούνται, βάσει της φασματικής περιοχής που μπορούν να καταγράψουν, σε παγχρωματικά (0,38-0,72 μm), συμβατικά (0,38-0.5 μm), ορθοχρωματικά (0.3-0.6 μm), υπέρυθρα (0,38-0,9 μm), έγχρωμα συμβατικά (0,38-0,73 μm), έγχρωμα υπέρυθρα (τα οποία παράγουν ψευδοχρωματική εικόνα) (Καϊμάρης, 2014)..

Υπάρχει επίσης, η δυνατότητα μείωσης των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής διάθλασης και βελτίωσης της ορατότητας και αντίθεσης με την εφαρμογή ειδικών φίλτρων (Καϊμάρης 2014, NRCAN, 2015).

Βασικός παράγοντας των σχετικών παραγόμενων αναλογικών εικόνων είναι η χωρική ανάλυση. Πρόκειται για την ελάχιστη δυνατή απόσταση μεταξύ αντικειμένων, ώστε να μπορούν να διακριθούν ως διαφορετικά αντικείμενα (Μπουτσούκης, 2022). Κάποιοι παράγοντες που επηρεάζουν τη χωρική ανάλυση είναι η διαχωριστική ικανότητα και η ποιότητα του φακού, η διακριτική ικανότητα, η ποιότητα και η επιπεδότητα του φιλμ, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και συνθήκες πτήσεως, όπως η απόκλιση του άξονα λήψης από την κατακόρυφο, η εμφάνιση αναταράξεων κ.α. (Καϊμάρης, 2014).

Κατά τους Cowen & Jensen (1998), υψηλή χωρική ανάλυση στις αεροφωτογραφίες κυμαίνεται από 0,3 έως 0,5 μέτρα. Σύμφωνα με τον DiBiase (2014) όμως, παρόλο που από το 1998 στις ψηφιακές αεροφωτογραφίες έχει επιτευχθεί ανάλυση 0,05 μέτρων, σε περιπτώσεις όπου η μέγιστη δυνατή χωρική και χρονική ανάλυση απαιτούνται, οι αναλογικές παρουσιάζουν πλεονεκτήματα.

1.1.3.3. Ψηφιακά Συστημάτα

Στα ψηφιακά συστήματα η ανακλώμενη ακτινοβολία μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα. Η καταγραφόμενη εικόνα υποδιαιρείται σε μικρά στοιχεία ίσου εμβαδού (συνήθως τετραγωνικά), τα λεγόμενα εικονοστοιχεία ή ψηφίδες ή πίξελ (pixels). Κάθε εικονοστοιχείο χαρακτηρίζεται από μία ακέραια αριθμητική τιμή από 0 έως 255 και αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα της αντίστοιχης περιοχής. Ο πίνακας που συγκροτείται από το σύνολο των εικονοστοιχείων ονομάζεται ψηφιακή εικόνα.

Η ικανότητα ανάγνωσης και ερμηνείας των παραγόμενων ψηφιακών εικόνων εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες και διαφορετικούς, αναλόγως προς την πλατφόρμα εφαρμογής. Βασικοί για τα ψηφιακά συστήματα είναι η χωρική ικανότητα, η ραδιομετρική ικανότητα και η φασματική ικανότητα, οι οποίες συνιστούν την αναγνωριστική ικανότητα.

1.1.3.3.1. Χωρική Ικανότητα

Η χωρική ικανότητα ή χωρική ανάλυση αναφέρεται στις διαστάσεις του εικονοστοιχείου που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένη έκταση της υπό μελέτη επιφάνειας (Καϊμάρης, 2014). Μετριέται σε μέτρα/ψηφίδα και αντιπροσωπεύει το μήκος μιας πλευράς ενός τετραγώνου. Χωρική ανάλυση 140 μέτρων σημαίνει πως μία ψηφίδα αντιστοιχεί σε εμβαδό 140 m επί 140 m στο έδαφος.

1.1.3.3.2. Ραδιομετρική Ικανότητα

Ραδιομετρική ανάλυση ή ραδιομετρική ικανότητα αναφέρεται στην ευαισθησία που έχει ο αισθητήρας για την καταγραφή διακυμάνσεων τιμών ενέργειας στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Πρόκειται για την ικανότητα ανάλυσης της φασματικής περιοχής και υψηλότερες τιμές δείχνουν ικανότητα ανίχνευσης διακριτικότερων αλλαγών. Το μέγιστο πλήθος των διαθέσιμων επιπέδων φωτεινότητας στην εικόνα εξαρτάται από τον αριθμό των bit που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση της καταγεγραμμένης ενέργειας. Ραδιομετρική ανάλυση 10 bit δείχνει ικανότητα αποτυπώσεως $2^{10} = 1024$ τιμών και συνεπώς 1024 χρωματικών διαβαθμίσεων από το μαύρο (επίπεδο 0) έως το λευκό (επίπεδο 1023) (Kumar, 2005; Καϊμάρης, 2014).

1.1.3.3.3. Φασματική Ικανότητα

Το πλήθος των καναλιών καταγραφής του εικονοληπτικού συστήματος, καθώς και τα εύρη ζωνών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος όπου αυτά είναι ευαίσθητα, καθορίζουν την καλουμένη «φασματική ανάλυση» του συστήματος (Kumar, 2005). Κατά τον Κούτσια (2018), ευρύτερα διαστήματα δείχνουν μικρή φασματική ανάλυση, λιγότερο αποτελεσματική στον εντοπισμό διαφορών και τη διάκριση λεπτομερειών των αντικειμένων, ενώ μικρότερα διαστήματα σημαίνουν μεγαλύτερη ικανότητα διακρίσεως λεπτομερειών στον χώρο.

Παγχρωματικό (PAN - Panchromatic) ονομάζεται το σύστημα που έχει την δυνατότητα να καταγράψει σε μία περιοχή, είτε αυτή είναι ευρεία, είτε πρόκειται για ένα μικρό κομμάτι του φάσματος της ΗΜΑ.

Πολυφασματικό (MS - Multispectral) καλείται το σύστημα που καταγράφει σε περισσότερες από μία περιοχές.

Υπερφασματικός (HS - Hyperspectral) ανιχνευτής καλείται εκείνος που καταγράφει σε πολλές διακριτές περιοχές στενού εύρους.

Στα δορυφορικά συστήματα η απεικόνιση συνήθως αποτελείται από μία πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης, παγχρωματική εικόνα και μία πολυφασματική καταγραφή χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης. Παραδείγματος χάριν, ο εμπορικής χρήσης δορυφόρος WorldView-2, που εκτοξεύτηκε στις 8/10/2009, φέρει παγχρωματικό αισθητήρα χωρικής ανάλυσης 0,5μ και πολυφασματικό αισθητήρα 8 καναλιών χωρικής ανάλυσης 1,8μ.

1.2. Εναέρια και Δορυφορική Αρχαιολογία

Η Εναέρια και Δορυφορική Αρχαιολογία αποτελεί την αξιοποίηση της εφαρμοσμένης Τηλεπισκόπησης και Φωτογραμμετρίας σε αρχαιολογικές έρευνες και μελέτες. Αυτές περιλαμβάνουν την αποτύπωση υφιστάμενων αρχαιολογικών καταλοίπων και την αναζήτηση αγνώστων αρχαιολογικών χώρων, την αποδοτικότερη διαχείριση εργαλείων και πόρων αρχαιολογίας (επιλογή σημείων επιγείων γεωφυσικών μετρήσεων και ανασκαφών), τη χαρτογράφηση, κ.ά..

1.2.1. Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών – ΣμηΕΑ

Τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) είναι ιπτάμενα οχήματα χωρίς χειριστή εντός της ατράκτου. Ελέγχονται μέσω τηλεχειρισμού ή είναι καθολικά αυτόνομα..

Στη διεθνή ορολογία αναφέρονται ως Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), Remotely Piloted Vehicles (RPV), Remotely Operated Aircraft (ROA) (Eisenbeiss, 2009). Ο όρος Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) περιλαμβάνει το ίδιο το μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος (μηΕΑ), καθώς και την Επίγεια Βάση Χειρισμού (Ground Control Station-GCS). Αντιστοίχως, η Αμερικανική Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας - Federal Aviation Administration (FAA) χρησιμοποιεί τον όρο Unmanned Aircraft Systems (UAS), ο οποίος περιλαμβάνει το μη επανδρωμένο αεροσκάφος Unmanned Aircraft (UA) / Unmanned Aircraft Vehicle (UAV) και το GCS.

Η εκτεταμένη αξιοποίηση των UAV ως πλατφόρμες Τηλεπισκόπησης οδήγησε στην εμφάνιση του όρου μη Επανδρωμένα Συστήματα Εναέριας Τηλεπισκόπησης - Unmanned Aerial Remote Sensing Systems (UARSS), ο οποίος αναφέρεται σε μηΕΑ εξοπλισμένα με εικονοληπτικά συστήματα κατάλληλα για εναέρια τηλεπισκόπηση (Perry et al., 2008).

Η ανεπίσημη ορολογία drone αναφέρεται το 1935 για ένα τηλεχειριζόμενο, μη επανδρωμένο αεροσκάφος-στόχο εκπαίδευσης πυροβολητών με την ονομασία DH.82 Queen Bee (βασιλίτσα μέλισσα), το οποίο πρωτοτυπούσε ως προς τη δυνατότητα επιστροφής στη βάση του, εάν δεν είχε καταρριφθεί (Palik & Nagy, 2019).

Η πρώτη επιτυχημένη πτήση με ραδιοτηλεχειριζόμενο, μη επανδρωμένο αεροσκάφος διάρκειας 39 λεπτών, εκτελέστηκε στις 3 Σεπτεμβρίου του 1924, από την Βρετανική Βασιλική Αεροπορία. Έκτοτε, η τεχνολογία των μηΕΑ σημειώνει σταδιακή ανάπτυξη ιδιαίτερα στον τομέα των στρατιωτικών εφαρμογών. Στις 12 Αυγούστου 1960 πραγματοποιείται ελεύθερη επιτυχημένη πτήση μη επανδρωμένου ελικοπτέρου, ενώ στις 20-21 Αυγούστου 1998 και στις 22-23 Απριλίου 2001 η πρώτη διατλαντική και διειρηνική πτήση αντίστοιχα (Arjomandi et al., 2006).

Σήμερα, τα μηΕΑ παρουσιάζουν τη δυνατότητα 3 διαφορετικών πτητικών λειτουργιών: της χειροκίνητης, της ημιαυτόνομης και της αυτόνομης λειτουργίας.

1. Στη χειροκίνητη λειτουργία (manual flight mode), ο χρήστης ελέγχει τις κινήσεις του ΜΕΑ μέσω ασυρμάτου τηλεχειρισμού. Εντός αυτής της κατηγορίας, το επίπεδο ελέγχου διαφέρει αναλόγως προς τη λειτουργία και το αν ο χρήστης θα χειρίζεται τα πηδάλια των πτερυγίων ή μόνο τις κλήσεις του αεροσκάφους κατά την πτήση και την παροχή ισχύος.
2. Στην ημιαυτόνομη ή υποβοηθούμενη λειτουργία πτήσης (assisted /semi-automated flight mode), ο χειρισμός πάλι πραγματοποιείται από τον χρήστη αλλά βαθμιαία

απλουστευμένος, καθώς διάφορες ενέργειες ελέγχου παραμέτρων έχουν αντικατασταθεί από αλγόριθμους. Τέτοιες ενέργειες είναι η εναέρια σταθεροποίηση έναντι του ανέμου, η τήρηση ευθύγραμμης και σταθερού υψομέτρου πορείας και άλλες.

3. Στην αυτόνομη λειτουργία πτήσης (autonomous flight mode) ο χειριστής εισάγει ελάχιστες πληροφορίες στο σύστημα πλοήγησης. Το τελευταίο, όντας αυτόνομο, απογειώνει το αερόχημα, εκτελεί το προκαθορισμένο από τον χρήστη σχέδιο πτήσης και τον χειρισμό της προσγείωσης.

Εκτός από την επιχειρησιακή αυτονομία, τα μηΕΑ κατηγοριοποιούνται, όπως και τα αεροσκάφη, σύμφωνα με χαρακτηριστικά της σχεδιαστικής διαμόρφωσης, όπως η μάζα, ο τύπος του κινητήρα, το μέγιστο υψόμετρο πτήσης, η εμβέλεια και διάρκεια πτήσης κ.α. (Arjomandi et al., 2006). Στον πίνακα 1.2.1.1 παρουσιάζεται ταξινόμηση των ΣμηΕΑ, βάσει ορισμένων μηχανικών χαρακτηριστικών.

Στην ερευνητική τηλεπισκόπηση κατά βάση αξιοποιούνται μικρής μάζας μηΕΑ, που διακρίνονται σε σταθερών και περιστρεφόμενων πτερυγίων. Τα τελευταία περιλαμβάνουν ελικόπτερα και πολυελικοφόρες πλατφόρμες, τα οποία συνήθως σημειώνουν μεγαλύτερη ευελιξία και λιγότερες απαιτήσεις για την απογείωση και την προσγείωση, καθώς όμως και δυνατότητα κάλυψης μικρότερης έκτασης από τα πρώτα. Τα μηΕΑ σταθερών πτερυγίων εν γένει απαιτούν αεροδιάδρομο ή μηχανισμό τύπου καταπέλτη για την απογείωσή τους και ίσως μηχανισμό ασφαλούς προσγείωσης, όπως ένα δίχτυ. Εξάιρεση αποτελούν τα μηΕΑ σταθερών πτερυγίων και κάθετης απογείωσης & προσγείωσης - fixed wings Vertical Take Off & Landing (VTOL), τα οποία απογειώνονται και προσγειώνονται συνήθως με την υποβοήθηση ελίκων και συνεχίζουν την πορεία τους ως αεροπλάνα (Whitehead & Hugenholtz, 2014).

	Ελαφρύτερα του αέρα	Βαρύτερα του αέρα		
Δίχως τροφοδοσία καυσίμου	Μπαλόνη	Ευέλικτων πτερυγίων	Σταθερών Πτερυγίων	Περιστρεφόμενων πτερυγίων
		Αιωρόπτερο	Ανεμόπτερα	Χαρταετός με έλικα
		Παραπέντε		
		Χαρταετοί		
Με τροφοδοσία καυσίμου	Αεροπλάνα & Αερόπλοια	Παραπέντε	Με προπέλα	Μίας έλικας
			Μηχανοκίνητα	Δύο ελίκων (ομοαξονικά)
				Τεσσάρων ελίκων
				Πολλών ελίκων

Πίνακας 1.2.1.1 Κατηγοριοποίηση μηΕΑ βάσει μηχανικών χαρακτηριστικών. Διαμορφωμένο από: (Eisenbeiss 2009)

Στην Ελλάδα κατά το έτος 2022, για την πιστοποίηση των ΣμηΕΑ, η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ) ακολουθεί τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς κατηγοριοποίησης. Σε αυτούς, κριτήρια διάκρισης αποτελούν η μέγιστη μάζα απογείωσης - Maximum Take Off Mass (MTOM), το επιτρεπτό υψόμετρο πτήσης, οι επιτρεπτές και απαγορευμένες περιοχές πτήσεως, οι τεχνικές δυνατότητες, η πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος πτητικής λειτουργίας καθώς και η χρήση του μηΕΑ. Διακρίνονται 3 κατηγορίες μηΕΑ: η ανοικτή, η ειδική και η πιστοποιημένη.

1. Στην ανοικτή κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Open Category) υπάγονται μηΕΑ με μέγιστη μάζα κατά την απογείωση <25 κιλών, με δυνατότητα πτήσης αποστάσεως από τον χειριστή μικρότερης των 500 μέτρων και με απευθείας οπτική επαφή με αυτόν.
2. Στην Ειδική Κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Specific Category) υπάγονται ΣμηΕΑ τα οποία δεν πληρούν όλες τις προϋποθέσεις της ανοικτής κατηγορίας. Η πτήση μηΕΑ αυτής της κατηγορίας πιθανόν ενέχει κινδύνους για πρόσωπα υπεράνω των οποίων εκτελείται.
3. Στην Πιστοποιημένη κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Certified Category) υπάγονται μηΕΑ των οποίων η πτητική λειτουργία διεξάγεται με απαιτήσεις ανάλογες εκείνων που ισχύουν για τα επανδρωμένα αεροσκάφη.

Στην Φωτογραμμετρία και την Τηλεπισκόπηση η εφαρμογή των ΣμηΕΑ παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα έναντι των επανδρωμένων αεροσκαφών. Κατά τον Eisenbeiss (2009) αυτά είναι:

- Ικανότητα επιχείρησης σε συνθήκες υψηλού κινδύνου, εφ' όσον δεν τίθεται σε κίνδυνο η ζωή του χειριστή, καθώς και σε νεφώδεις ή βροχερές καιρικές συνθήκες, όταν η απόσταση από τα υπό μελέτη αντικείμενα είναι τέτοια που επιτρέπει πτήσεις κάτω από τα νέφη.
- Δυνατότητα πτήσης σε μη προσβάσιμες περιοχές (απόκρημνα πρανή, δάση, βάλτοι, απομονωμένες νησίδες, κ.α.) και σε χαμηλό ύψος πλησίον των υπό μελέτη αντικειμένων (π.χ. χώροι που υπέστησαν φυσική καταστροφή, ηφαιστεια, πλημμυρισμένες περιοχές, σκηνές ατυχημάτων, κ.α.).
- Η απόκτηση ενός ΣμηΕΑ είναι συνήθως φθηνότερη από την απόκτηση ενός αεροσκάφους ή ελικοπτερου. Κάτι παρόμοιο ισχύει και για τα έξοδα συντήρησής τους ή τα έξοδα μιας έρευνας με ΣμηΕΑ, σε σχέση με τα αντίστοιχα έξοδα των επανδρωμένων αεροσκαφών.
- Δυνατότητα ταχύτατης λήψης και αποστολής δεδομένων στο έδαφος για αξιολόγηση ή περαιτέρω επεξεργασία.
- Συμπληρωματική κάλυψη της επίγειας Φωτογραμμετρίας. Επίσης, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ή ίδια κάμερα σε συνδυαστική εφαρμογή επίγειας και εναέριας φωτογραμμετρίας, όπου επιπροσθέτως απλοποιείται η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων.
- Δυνατότητα λήψης αεροφωτογραφιών για την κατασκευή υψηλής διακριτικής ικανότητας αποτυπώσεις υφής (texture mapping) επί υπαρχόντων Ψηφιακών Μοντέλων Επιφανείας (DSMs) και τρισδιάστατων μοντέλων.
- Αξιοποίηση στη γεωμετρική διόρθωση υπαρχόντων αεροφωτογραφιών.
- Η προσαρμογή συστημάτων GPS αλλά και συστημάτων σταθεροποίησης και πλοήγησης, επιτρέπει πτήσεις ακριβείας με αποτέλεσμα καλύψεις περιοχών έρευνας με προκαθορισμένο βαθμό επικάλυψης εναέριων εικόνων.

Συμπερασματικά, τα μοντέρνα ΣμηΕΑ έχουν τη δυνατότητα να αποτελέσουν αυτόματα, τηλεχειριζόμενα εργαλεία απόκτησης δεδομένων ακριβείας. Η αυξανόμενη εφαρμογή τους στην ερευνητική τηλεπισκόπηση οφείλεται εν μέρει στο βαθμιαίως ελαττούμενο κόστος των ίδιων των ΣμηΕΑ. Κυρίως όμως οφείλεται στην τεχνολογική ανάπτυξη και μείωση του κόστους των υψηλής ακριβείας φορητών ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών, πολυφασματικών αισθητήρων, σαρωτών laser και άλλων εικονοληπτικών μέσων και της βελτίωσης των συστημάτων γεωγραφικού εντοπισμού GPS/INS (Global Positioning System / Inertial Navigation System).

1.2.2. Ίχνη- Marks

Η Εναέρια και Δορυφορική Αρχαιολογία θεμελιώνεται στη δυνατότητα παρατήρησης επιφανειακών φαινομένων, τα οποία σχετίζονται με την παρουσία αντικειμένων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (Bewley, 2003). Τα καλυμμένα αντικείμενα μπορούν να επηρεάσουν χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως η υγρασία και το σχήμα, αλλά και την ανάπτυξη της επίγειας βλάστησης πάνω από αυτά. Η επίδραση αυτή είναι ανιχνεύσιμη στις εικόνες των εικονοληπτικών συστημάτων ως τοπική ανωμαλία στο έδαφος ή στη βλάστηση. Στην εικόνα δημιουργείται ένα αποτύπωμα της υπεδάφιας δομής, το οποίο βιβλιογραφικά καλείται ίχνος (Kaimaris, 2022). Τα ίχνη διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες εκ των οποίων μερικές είναι οι παρακάτω:

1.2.2.1. Ίχνη Καλλιέργειας - Crop marks

Η παρουσία υπεδάφινων αντικειμένων (π.χ. οικοδομικά θεμέλια) ελαττώνουν το βάθος του εδάφους και τα τοπικά επίπεδα υγρασίας. Καταλαμβάνοντας χώρο, περιορίζουν την πρόσβαση της άνωθεν βλάστησης σε νερό και θρεπτικές ουσίες. Η ανάπτυξη και ευρωστία της βλάστησης που αναπτύσσεται με τέτοιο υπόβαθρο, εκ προοιμίου υστερεί εκείνης της υπόλοιπης βλάστησης του πεδίου. Αντιθέτως, εάν υπάρχει στο υπέδαφος σημείο συγκέντρωσης υγρασίας και θρεπτικών ουσιών (όπως μία τάφρος), η τοπική βλάστηση πάνω από το σημείο υπερτερεί σε παροχή νερού, θρεπτικών ουσιών και εν δυνάμει ανάπτυξης. Τα ίχνη καλλιέργειας διακρίνονται σε θετικά, λόγω ζωηρότερης και υψηλότερης βλάστησης, και αρνητικά, λόγω ασθενέστερης βλάστησης (Lasaponara & Masini, 2007).

1.2.2.2. Ίχνη Εδάφους - Soil marks

Σε πεδία χωρίς φυτική κάλυψη εμφανίζονται τα ίχνη εδάφους ως χρωματικές διαφοροποιήσεις στις εικόνες. Θεωρούνται πιο ευδιάκριτα σε οργωμένες και υγρές περιοχές, ειδικότερα την άνοιξη και το φθινόπωρο (Stanjek & Faßbinder, 1995; Stewart, 2017)

Οφείλονται σε υπεδάφια υλικά που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα της επιφάνειας του εδάφους, καθώς και σε υλικά που αλλοιώνουν απευθείας το χρώμα της. Περιοχές με παρουσία υπεδάφινων αντικειμένων εμφανίζονται ανοιχτόχρωμες, ενώ περιπτώσεις θαμμένων τάφρων ή άλλου είδους κοιλοτήτων, όπου συγκεντρώνονται οργανικά υλικά και αυξημένη υγρασία, σκουρόχρωμες (Stanjek & Faßbinder, 1995; Stewart, 2017).

1.2.2.3. Ίχνη σκιάς - Shadow marks

Προϋποθέτουν την ύπαρξη υπέργειων στοιχείων, καθώς σχηματίζονται από υψομετρικές διαφοροποιήσεις στο πεδίο μελέτης, λόγω της παρουσίας οικοδομικών καταλοίπων (Masini et al., 2008).

1.2.2.4. Ίχνη Πάγου– Frost Marks

Στην διεθνή βιβλιογραφία τα ίχνη πάγου (frost marks) καλούνται επίσης και ίχνη χιονιού (snow marks). Πρόκειται για σημεία εμφάνισης πάγου σε πιθανά σημεία με υπεδάφια ανθρωπογενή κατάλοιπα. Δημιουργούνται από συγκέντρωση νερού κατά την διάρκεια του χειμώνα, κυρίως σε οργωμένα χωράφια. (Stanjek & Faßbinder, 1995)

1.2.3. Εργαλεία Αναγνώρισης Ιχνών

Υπάρχουν αρκετά εργαλεία μεταξύ των μεθόδων αναγνώρισης αρχαιολογικών ιχνών. Στην τηλεπισκόπηση, μεταξύ των βιβλιογραφικά αναγνωρισμένων συγκαταλέγονται τα ψηφιακά μοντέλα επιφάνειας (DSM) και εδάφους (DTM), τα ορθοφωτομωσαϊκά και οι ιδιαίτερες απεικονίσεις που προκύπτουν από τους δείκτες βλάστησης (Καϊμάρης, 2014).

1.2.3.1. Ορθοφωτομωσαϊκό

Το ορθοφωτομωσαϊκό είναι η σύνθεση πολλών επικαλυπτόμενων γεωγραφικά διορθωμένων αεροφωτογραφιών μίας περιοχής σε μία νέα δυσδιάστατη εικόνα της περιοχής (Πατιάς, 1993). Οι αεροφωτογραφίες αλληλοσυσχετίζονται βάσει των κοινών επικαλυπτόμενων σημείων και διορθώνονται γεωγραφικά σε λογισμικά φωτογραμμετρίας (π.χ. Agisoft Metashape). Τελικό προϊόν είναι μία νέα ορθοεικόνα η οποία αποτελεί την συγκεντρωμένη σε ένα μωσαϊκό απεικόνιση των συσχετισμένων ορθοεικόνων. Καθώς σε κάθε σημείο του εμπεριέχεται χρωματική και γεωγραφική πληροφορία (συντεταγμένες x,y), το ορθοφωτομωσαϊκό προσφέρεται για τοπογραφικές μετρήσεις.

1.2.3.2. Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας (DSM)

Το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας - Digital Surface Model(DSM) είναι η τρισδιάστατη αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας και των επίγειων αντικειμένων (δέντρα, κτήρια, οχήματα, κλπ.) ενός τόπου (Hinzmann et al., 2018).

1.2.3.3. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM)

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους - Digital Terrain Model(DTM) είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση της επιφάνειας μελέτης με απόντα τα φυσικά και τεχνητά επίγεια αντικείμενα (Li et al., 2005).

1.2.3.4. Δείκτες

Δείκτες στην Τηλεπισκόπηση ονομάζονται αλγόριθμοι επεξεργασίας της φασματικής πληροφορίας της εικόνας. Εφαρμόζονται στην ορθοεικόνα, με σκοπό την αποδοτικότερη διάκριση στοχευμένων ειδών και ιδιαιοτήτων της επιφάνειας και την εξαγωγή αξιόπιστης χωρικής και χρονικής πληροφορίας (Καϊμάρης, 2014).

Με την εφαρμογή ενός δείκτη, οι τιμές φωτεινότητας των ψηφίδων μεταβάλλονται σύμφωνα με τον μαθηματικό τύπο του δείκτη και παράγεται μία καινούργια εικόνα. Πρόκειται για μία απόπειρα ελάττωσης της αρχικής φασματικής πληροφορίας για να επιταθούν οι διαφορές στις αποκρίσεις ορισμένων αντικειμένων με την HMA (Abate et al., 2020). Στην βιβλιογραφία βρίσκεται διαθέσιμο πλήθος παλιών και νεώτερων δεικτών για ποικίλες εφαρμογές, αλλά το ποιοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε περίπτωση το καθορίζει η φασματική ανάλυση του εικονοληπτικού συστήματος (Καϊμάρης, 2014). Παραδείγματος χάριν, ο Δείκτης Έντασης Υγρασίας (Moisture Stress Index – MSI με μαθηματικό τύπο υπολογισμού: $MSI = SWIR(1,599\mu m) / NIR(0,819\mu m)$, χρησιμοποιεί την τιμή της έντασης της HMA στα 1,599μm η οποία δεν καταγράφεται από τους αισθητήρες του εικονοληπτικού συστήματος Micasense Rededge – MX (βλ. πιν. 2.4.1) και συνεπώς αποκλείεται η εφαρμογή του δείκτη σε ορθοεικόνες από φωτογραφίες του συστήματος. Κατηγορία δεικτών που συχνά αξιοποιούνται στην Εναέρια Αρχαιολογία είναι οι δείκτες βλάστησης.

1.2.3.4.1. Δείκτες βλάστησης

Οι δείκτες βλάστησης (VI – Vegetation Indices) ποσοτικοποιούν παραμέτρους της φύσεως των φυτών. Τέτοιες παράμετροι είναι η βιομάζα, το ποσοστό κάλυψης, η περιεκτικότητα σε φωτοσυνθετικές χρωστικές, η απορροφούμενη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία, η φωτοσυνθετική ικανότητα και άλλες τιμές ενδεικτικής της υγείας του φυτού. Επί το πλείστον, θεμελιώνονται στην ιδιαιτερότητα αλληλεπίδρασης των φυτών με την εγγύς υπέρυθη και την ορατή ακτινοβολία (βλ.παρ. 1.1.2) (Fang & Liang, 2014).

1.2.3.4.2. Επιλεγμένοι Δείκτες Βλάστησης

Στη διεθνή βιβλιογραφία συναντάται όγκος δεικτών βλάστησης Τηλεπισκόπησης για πλήθος εφαρμογών. Αυτοί που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία συνοπτικά παρουσιάζονται παρακάτω. Πρόκειται για δείκτες με συχνή βιβλιογραφική εμφάνιση σε εφαρμογές εναέριας αρχαιολογίας. Οι περισσότεροι αξιοποιήθηκαν σε έρευνες περιοχών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος στη Μακεδονία από τον επιβλέποντα της παρούσας εργασίας, Δημήτριο Καϊμάρη (Kaimaris, 2022). Επίσης, παρουσιάζονται στη συνέχεια δείκτες προτεινόμενοι από την εταιρεία κατασκευής του πολυφασματικού αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία (Micasense, 2021a).

NDVI- Normalized Difference Vegetation Index

$$(NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Ο κανονικοποιημένης διαφορικός δείκτης βλάστησης προκύπτει από την ορατή και υπέρυθρη ΗΜΑ που ανακλάται από το φυτό. Στηρίζεται στο ότι η βλάστηση με δυσκολίες ανάπτυξης και υγείας ανακλά περισσότερη ερυθρή ακτινοβολία και λιγότερη εγγύς υπέρυθρη (Micasense, 2021a; ESA, 2014). Ο δείκτης είναι επίσης ενδεικτικός της περιεκτικότητας του φυλλώματος σε θρεπτικές ουσίες, της διαθεσιμότητας του εδάφους σε νερό, καθώς και των δυνατοτήτων εσοδειάς για είδη παραγωγής (Micasense, 2021a). Κατά τους Rouse et al (1974), η κανονικοποίηση στον μαθηματικό τύπο εφαρμόζεται με διπλό στόχο. Πρώτον, προς την εξάλειψη πιθανών εποχιακών διαφορών στην ηλιακή γωνία. Δεύτερον, για την ελαχιστοποίηση της εξασθένισης του σήματος λόγω σκέδασης και απορρόφησης καθώς αυτό αλληλεπιδρά με συστατικά της ατμόσφαιρας όπως αέρια και υδρατμούς.

Οι τιμές κυμαίνονται από -1 έως 1 με εκείνες που είναι μικρότερες του 0,3 να υποδεικνύουν ασθενική βλάστηση ή έδαφος. Τιμές από 0,3 έως 0,7 δείχνουν κιτρινοπράσινη ενώ τιμές >0,7 πράσινη και υγιή βλάστηση (Καϊμάρης, 2014).

NDRE - Normalized Difference Red Edge

$$(NIR - RedEdge) / (NIR + RedEdge)$$

Στον δείκτη ομαλοποιημένης διαφοράς ερυθρής ακμής ακολουθείται ο τύπος του NDVI με αντικατάσταση του ερυθρού καναλιού από το κανάλι ερυθρής ακμής. Κατά τους Boiarskii & Hasegawa (2019), ο δείκτης δεν είναι τόσο αποτελεσματικός όσο ο NDVI στην ανάλυση της ζωτικότητας και πυκνότητας βλάστησης μεγάλων εκτάσεων, αλλά καθιστά δυνατή την οπτικοποίηση της ποσότητας της χλωροφύλλης στα φύλλα.

GNDVI – Green Normalized Difference Vegetation Index

$$(NIR - Green) / (NIR + Green)$$

Στον πράσινο κανονικοποιημένο διαφορικό δείκτη βλάστησης ακολουθείται ο δείκτης του NDVI με αντικατάσταση του ερυθρού καναλιού από το κανάλι πράσινης ακτινοβολίας (Kaimaris, 2022). Σύμφωνα με τους Gitelson et al. (1996), ο δείκτης παρουσιάζει αυξημένη ευαισθησία στην συγκέντρωση της χλωροφύλλης συγκριτικά με τον NDVI. Επιπλέον βρίσκει εφαρμογή στην καταγραφή τυχόν καταπόνησης του φυτού και του φωτοσυνθετικού ρυθμού (Micasense 2021b).

SR – Simple Ratio

NIR / Red

Πρόκειται για τον λόγο της καταγραφής στην εγγύς υπέρυθρη ζώνη προς εκείνη της ερυθρής περιοχής. Χρησιμοποιείται για την γρήγορη αναγνώριση της βλάστησης από άλλες καλύψεις και στην διάκριση καταπονημένων και μη περιοχών βλάστησης (Moriarty et al., 2019).

Οι τιμές του δείκτη εγγύζουν την μονάδα, όταν η ανάκλαση NIR και RED παρουσιάζουν παρόμοιας τιμής καταγραφή (πράγμα που δεν συμβαίνει στη βλάστηση λόγω αυξημένης ανάκλασης στην NIR). Τιμές 2-7,5 υποδεικνύουν κιτρινοπράσινη - ελαφρώς καταπονημένη βλάστηση ενώ τιμές >7,5 , πράσινη και υγιή βλάστηση (Καϊμάρης, 2014).

MSR – Modified Simple Ratio

$(\text{NIR} / \text{Red}) - 1 / \text{SQRT} ((\text{NIR} / \text{Red}) - 1)$

Πρόκειται για συνδυασμό δεικτών. Μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει του δείκτη SR και έχει αποδώσει σε μελέτη αρχαιολογικών ιχνών (Moriarty et al., 2019; Kaimaris, 2022). Ο δείκτης έχει δείξει ικανοποιητική συσχέτιση με το ποσοστό της εισερχόμενης ορατής ακτινοβολίας που απορροφάται από την βλάστηση (δείκτης FAPAR¹), καθώς και με τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας ($\Delta\Phi E^2$) κατά το καλοκαίρι και την άνοιξη (Chen, 1996).

SAVI - Soil Adjusted Vegetation Index

$(1+L)(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red} + L)$

Ο «Δείκτης βλάστησης προσαρμοσμένος στο έδαφος» ομοιάζει με τον NDVI, αλλά με την προσθήκη ενός συντελεστή. Αυτό αποσκοπεί στο να μετριάσει τις επιπτώσεις της εδαφικής ανακλαστικότητας στις φασματικές καταγραφές (Huete, 1988). Η τιμή του συντελεστή συνήθως τίθεται $L = 0,5$. Όταν η βλάστηση παρουσιάζει ζωντανό πράσινο χρώμα, τίθεται ίση με 0^3 , ενώ όταν δεν δείχνει υγιής, με $L = 1$.

¹ FAPAR - Fraction of Absorbed Photosynthetically. Πρόκειται για το ποσοστό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας εύρους 0,4-0,7 μm που απορροφάται από την βλάστηση. Είναι καθαρός αριθμός με τιμή από 0 έως 1 (Baret, 2016).

² ΔΦΕ - Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI - Leaf Area Index). Αδιάστατο μέγεθος, που προκύπτει ως η αναλογία του εμβαδού της φυλλικής επιφάνειας προς το εμβαδό της εδαφικής επιφάνειας που καλύπτεται από το φύλλωμα (Watson, 1947)

³ Για $L=0$, ο δείκτης ταυτίζεται με τον NDVI.

OSAVI - Optimized Soil Adjusted Vegetation Index

$$(NIR - Red) / (NIR + Red + 0.16)$$

Ο βελτιστοποιημένος δείκτης βλάστησης προσαρμοσμένος στο έδαφος ομοιάζει με τον SAVI. Σύμφωνα με τους Rondeaux et al. (1996), στον γενικό τύπο δεικτών : $(NIR - RED) / (NIR + RED + \alpha)$, η ιδανική και πιο αξιόπιστη (σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες) τιμή του συντελεστή α για τον περιορισμό ατμοσφαιρικών και εδαφικών επιπτώσεων (όπως η ανακλαστικότητα) στις μετρήσεις, είναι $\alpha=0,16$ (Micasense, 2021a). Οι τιμές του κυμαίνονται από -1 έως 1, με τις μεγαλύτερες να προσδιορίζουν υγιέστερη βλάστηση και τις χαμηλότερες ασθενέστερη.

GSAVI - Green Soil Adjusted Vegetation Index

$$(1+L)(NIR - Green) / (NIR + Green + L)$$

Στον «Πράσινο Δείκτη βλάστησης Προσαρμοσμένο στο έδαφος» ακολουθείται ο τύπος του SAVI με αντικατάσταση του ερυθρού από το πράσινο κανάλι (Kaimaris, 2022). Κατά τους Peter et al. (2020), ο GSAVI και άλλοι δείκτες στους οποίους το ερυθρό κανάλι αντικαταστάθηκε από το πράσινο, κρίθηκαν πως είχαν μεγαλύτερη συνάφεια με την ποσότητα χλωροφύλλης και την ικανότητα εσοδειάς σε μελέτη εκτάσεων καλαμποκιού.

NLI - Nonlinear (vegetation) Index

$$(NIR * NIR - Red) / (NIR * NIR + Red)$$

Ο μη γραμμικός δείκτης βλάστησης είναι παραλλαγή του NDVI και χρησιμοποιείται στην Εναέρια Αρχαιολογία. Τα τετράγωνα αποσκοπούν στην τόνιση των γραμμικών σχέσεων με παραμέτρους της βλάστησης (Kaimaris, 2022).

GRVI - Green Ratio Vegetation Index

$$NIR / Green$$

Η αναλογία της εγγύς υπέρυθρης προς την πράσινη καταγραφή παρουσιάζει ευαισθησία στον ρυθμό φωτοσύνθεσης της βλάστησης (Moriarty et al., 2019). Κατά τους Motoshka et al. (2010), μπορεί να εμφανίσει διαφοροποίηση στις τιμές αναλόγως προς τα διάφορα οικοσυστήματα και σύμφωνα με τον Kaimaris (2022) απέδωσε καλύτερα απ' ό,τι οι δείκτες NDVI, GNDVI, SAVI, GSAVI στον εντοπισμό ιχνών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.

GCI - Green Chlorophyll Index

(NIR / Green) - 1

Ο πράσινος δείκτης χλωροφύλλης παρουσιάζει συσχέτιση με την ποσότητα χλωροφύλλης στο φύλλωμα ποικίλων καλλιεργειών και χρησιμοποιείται για αντίστοιχη εκτίμηση (Gitelson et al., 2003; Peter et al., 2020; Kaimaris, 2022). Έχει αξιοποιηθεί με επιτυχία στον εντοπισμό ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος που δεν παρατηρούνταν με άλλους δείκτες, και στην καλύτερη διάκριση γνωστών ιχνών (Kaimaris, 2022).

NGRDI - Normalised Green Red Difference Index

(Green - Red) / (Green + Red)

Ομοιάζει στον NDVI αλλά με αντικατάσταση της εγγύς υπέρυθρης από την πράσινη καταγραφή. Έχει παρουσιάσει συσχέτιση με τη βιομάζα του φυτού και αξιοποιείται σε σχετικές έρευνες (Hunt et al., 2005; Lussem et al., 2018; Kaimaris, 2022).

NDVIRE - Red Edge Normalised Difference Vegetation Index

(Red Edge – Red) / (Red Edge + Red)

Ο ομαλοποιημένος δείκτης διαφοράς κόκκινης ακμής προκύπτει από αντικατάσταση στον αρχικό δείκτη NDVI της εγγύς υπέρυθρης καταγραφής με εκείνη της κόκκινης ακμής. Έχει εμφανίσει υψηλή συσχέτιση με τη βιομάζα καλλιεργειών, αλλά και ίχνη πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος πιο ευδιάκριτα απ' ότι οι δείκτες NDVI, GNDVI, SAVI, GSAVI (βλ. Σχ. 1.2.4.2.1.1) σε σχετική μελέτη (Marta et al., 2015; Kaimaris, 2022).

1.2.4. Παραδείγματα

Στην βιβλιογραφία εμφανίζεται πλήθος εφαρμογών Εναέριας και Δορυφορικής Αρχαιολογίας με ποικίλα αποτελέσματα. Παρακάτω παρουσιάζονται τέσσερα παραδείγματα.

1.2.4.1. Ανακάλυψη αγνώστου μεσαιωνικού κοιμητηρίου στο Φρόνστορφ της Αυστρίας με Εναέρια Αρχαιολογία. (Doneus & Scharrer-Liska, 2003)

Κοντά στο Φρόνστορφ της Κάτω Αυστρίας και ειδικότερα σε αποθέσεις χαλικιών 600 μέτρα δυτικά του ποταμού Λείθα, εντοπίστηκε, την άνοιξη του 2000, καλυμμένο και άγνωστο μεσαιωνικό κοιμητήριο μέσω ερμηνείας αεροφωτογραφιών.

Η φωτοερμηνεία στηρίχθηκε σε κατακόρυφα στερεοζεύγη σε συνδυασμό με κεκλιμένες αεροφωτογραφίες. Στόχοι φωτοσταθερών γεωαναφέρθηκαν με τη χρήση γεωδαιτικού σταθμού και αξιοποιώντας αναλυτικό στερεοαναγωγέα παράχθηκε DTM. Η γεωμετρική διόρθωση έγινε στο λογισμικό ERDAS Imagine και ο τελικός διορθωμένος χάρτης είχε διάσταση εικονοστοιχείου 10 εκ. Με το λογισμικό ArcView GIS, ως πιθανές θέσεις τάφων θεωρήθηκαν περίπου 280 παραλληλόγραμμα ίχνη βλάστησης διαστάσεων ~2,5 x 1 μέτρων σε έκταση 3.400 τ.μ. (βλ. σχ. 1.2.4.1.1). Οι περισσότεροι επαληθεύτηκαν σε ακόλουθες ανασκαφές.

Τη δεκαετία 2001-2011 συνολικά αποκαλύφθηκαν 501 ταφές σε έκταση 4200 τ.μ. της περιοχής, παρέχοντας πλούσια πληροφόρηση για τα ταφικά έθιμα των Αβάρων. Οι τελευταίοι αποτέλεσαν λαό χωρίς γραφή, γεγονός που επαυξάνει σημαντικά την βαρύτητα της αρχαιολογικής έρευνας και ακολούθως της εναέριας αρχαιολογίας στην μελέτη του πολιτισμού τους (Scharrer-Liška et al., 2015)

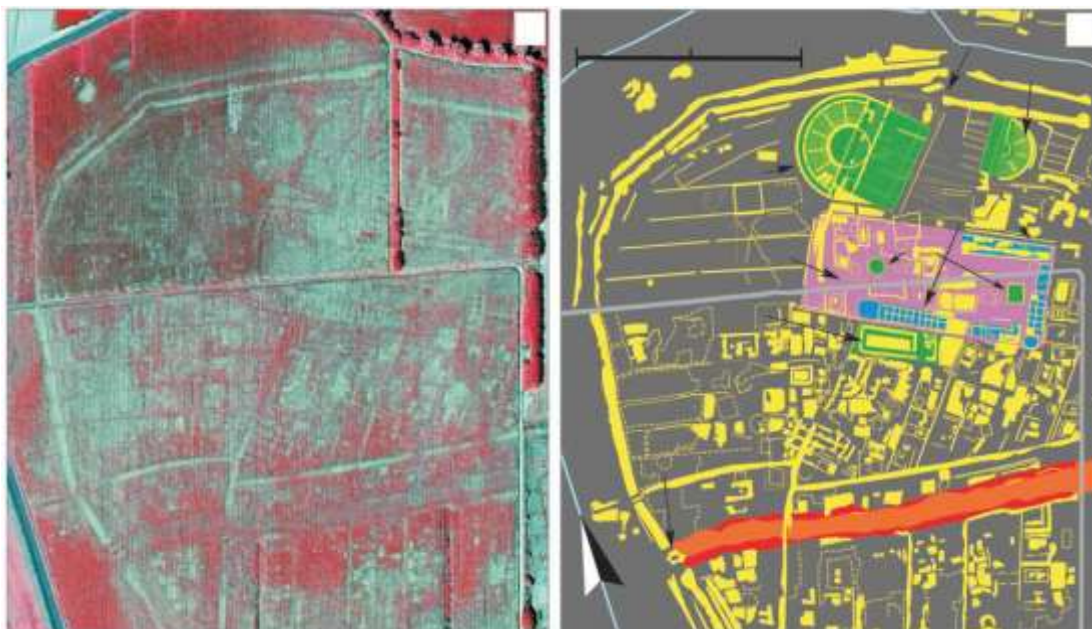


Σχήμα.1.2.4.1.1 Γεωμετρικά Διορθωμένη Αεροφωτογραφία και Εκτιμούμενες θέσεις Ιχνών

1.2.4.2. Μελέτη πολεοδομικής οργάνωσης της εγκαταλελειμμένης αρχαίας πόλης Άλτινουμ, Βενετία (Ιταλία), από πολυφασματικές εικόνες. (Ninfa et al., 2009)

Η πόλη αυτή προϋπήρχε της Βενετίας κατά τη Ρωμαϊκή εποχή, αλλά σταδιακά εγκαταλείφθηκε. Τα υλικά των κτηρίων επαναχρησιμοποιήθηκαν στην ανοικοδόμηση της Βενετίας. Σε αντίθεση με τη συντριπτική πλειοψηφία των ευρωπαϊκών πόλεων, τα ερείπιά της δεν καλύφθηκαν από μεταγενέστερες φάσεις (μεσαιωνικές ή σύγχρονες), αλλά παρέμειναν θαμμένα.

Το καλοκαίρι του 2007 ελήφθησαν παγχρωματικές και πολυφασματικές αεροφωτογραφίες, έπειτα από περίοδο έντονης ξηρασίας. Σε επεξεργασμένες απεικονίσεις της εγγύς υπέρυθρης καταγραφής και στο ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας, ανιχνεύθηκε η δομή της πόλης, δηλαδή τείχη, δημόσια κτήρια, κατοικίες, πύλες, γέφυρες και υδάτινα κανάλια (βλ. σχ. 1.2.4.2.1).



Σχήμα 1.2.4.2.1. Αριστερά: Ψευδοχρωματική εικόνα (NIR,RED,GREEN) του πυρήνα της πόλης. Δεξιά: Ερμηνεία ιχνών. (Ninfa et al., 2009)

1.2.4.3. Δορυφορικές εικόνες και χωροταξικά συμπεράσματα αρχαίας πόλης. Μαντινεία, Πελοπόννησος (Ελλάδα). (Donati & Sarris, 2016)

Πρόκειται για θέση περιτειχισμένης πόλεως έκτασης 1,19 τ.χλμ 4 η οποία λεηλατήθηκε, εγκαταλείφθηκε και επανοικοδομήθηκε δύο φορές κατά την αρχαιότητα. Παρέμεινε θαμμένη για πολλούς αιώνες με το καλυμμένο έδαφός της να αποτελεί τόπο καλλιέργειας σιτηρών και λαχανικών.

Η αρχαιολογική και η γεωφυσική έρευνα είχαν οδηγήσει σε περιορισμένα συμπεράσματα σχετικά με τη χωροταξία της πόλης. Όμως, η επεξεργασία και ερμηνεία πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης έδειξε ότι η πόλη διέθετε σύστημα καθέτων οδών Β-Ν και Α-Δ, με κάποιες να εμφανίζουν διακριτά επαναλαμβανόμενα ίσα πλάτη. Η παραγωγή σύνθετων εικόνων (rap sharpened) και εφαρμογή δεικτών βλάστησης που εμφάνισαν οξυμένες τις φασματικές διαφοροποιήσεις, αποκάλυψε δεκάδες εδαφικές ανωμαλίες - ίχνη και υπέδειξε με σαφήνεια τις θέσεις των πυλών..

Στην έρευνα επίσης αξιοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες των περασμένων ~50 ετών, οι οποίες υπέδειξαν περιβαλλοντικές αλλαγές μέσα σε αυτά τα χρόνια. Χάρη στις αεροφωτογραφίες αυτές, αποκλείστηκε το ενδεχόμενο να είναι αρχαιολογικά ίχνη κάποιες ανωμαλίες, που αρχικά έμοιαζαν ως τέτοια.

Η Μαντινεία, κατά τους Sarris & Donati (2015), αποτελεί την πρώτη περίπτωση διάγνωσης της ύπαρξης πολεοδομικής οργάνωσης σε αρχαία Ελληνική πόλη αποκλειστικά μέσω μεθόδων Τηλεπισκόπησης. Οι ίδιοι εκτιμούν ότι η σαφής οργάνωση της πόλεως, δεν ήταν αυστηρώς Ιπποδάμεια.

Η συμβολή των ιστορικών αεροφωτογραφιών και της σύγχρονης, υψηλής ανάλυσης δορυφορικής αρχαιολογίας κατέστησαν εφικτή την εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών για τις υπεδάφειες δομές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σε μία κλίμακα, ιδιαίτερα ευρεία για τέτοιου είδους μελέτες (βλ. σχήμα 1.2.4.3.1). Η εφαρμοσμένη



Σχήμα 1.2.4.3.1 Εκτίμηση οδικού δικτύου της Μαντινείας. Οι έντονες γραμμές επιβεβαιώνονται από επιφανειακές ανωμαλίες (Donatti, 2015)

τηλεπισκόπηση μπορεί να αποδώσει αποτελέσματα ως μέθοδος αρχικής διάγνωσης τοπίων ιστορικής σημασίας και ο συνδιασμός της με άλλες μεθόδους περισσότερο (Sarris & Donati, 2015).

⁴ Τα τείχη σώζονται σε μεγάλο βαθμό έως και σήμερα.

1.2.4.4. Έρευνες στην Μακεδονία με παγχρωματικά, πολυφασματικά θερμικά δεδομένα. (Kaimaris, 2022)

Κατά την διάρκεια εκτεταμένης έρευνας των ιχνών της αρχαίας Εγνατίας οδού από την Αμφίπολη έως τους Φιλίππους, είχαν παρατηρηθεί επιπλέον ίχνη πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος τα οποία δεν αποτελούσαν τον στόχο της μελέτης. Η μελέτη του Kaimaris (2022) εστιάζει σε δύο ποιοτικά διαφορετικές θέσεις πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος στη Β. Ελλάδα. Η πρώτη περιοχή ευρίσκεται βόρεια της αρχαίας Αμφίπολης, ενώ η δεύτερη εντός των τειχών των αρχαίων Φιλίππων.

Το υλικό της μελέτης βόρεια της Αμφίπολης περιελάμβανε αεροφωτογραφίες αρχείου (1945, 1953), δορυφορικές εικόνες Google Earth (GE) κατά βάση άνοιξης και φθινοπώρου (2005, 2010, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018), γνωστό DTM, σημεία εδαφικού ελέγχου από το ελληνικό κτηματολόγιο και αεροφωτογράφιση από drone ιδιοσυναρμολόγησης με παγχρωματική κάμερα DSLR.

Ο αρχικός εντοπισμός έγινε σε εικόνα GE δορυφόρου QB-2 με ημερομηνία λήψης 2/5/2005, η οποία διορθώθηκε γεωμετρικά στο λογισμικό Erdas Imagine αξιοποιώντας το DTM και τα GCPs. Η τελική χωρική ανάλυση 0,6μ ήταν ικανή να καταγράψει αλλαγή τόνου χρωματισμού που προέρχεται από ανωμαλία υπεδάφιας δομής με πλάτος περίπου 40 εκατοστών. Τα ίχνη λόγω ίχνη που λόγω του γεωμετρικού τους σχήματος είναι πολύ πιθανόν να οφείλονται σε λείψανα αρχαίων κτισμάτων. Όμως, δεν διακρίνονταν στις μεταγενέστερες εικόνες GE (2010, 2012, 2014 και 2016), ενώ στις αντίστοιχες λήψεις του 2017 και 2018, δεν εμφανίστηκαν όλα τα ίχνη που εντοπίστηκαν στην εικόνα του 2005 και επιπλέον εμφανίζονταν με ασθενέστερη ένταση. Αυτό αποδόθηκε στην ποιοτική υποβάθμιση των εικόνων GE και στην έλλειψη της ζώνης NIR. Τονίζεται επίσης η επαναληψιμότητα της εμφάνισης των ιχνών σε διάφορες χρονικές περιόδους πράγμα που συνηγορεί στη απόδοσή τους σε πιθανά θαμμένα αρχιτεκτονικά κατάλοιπα.

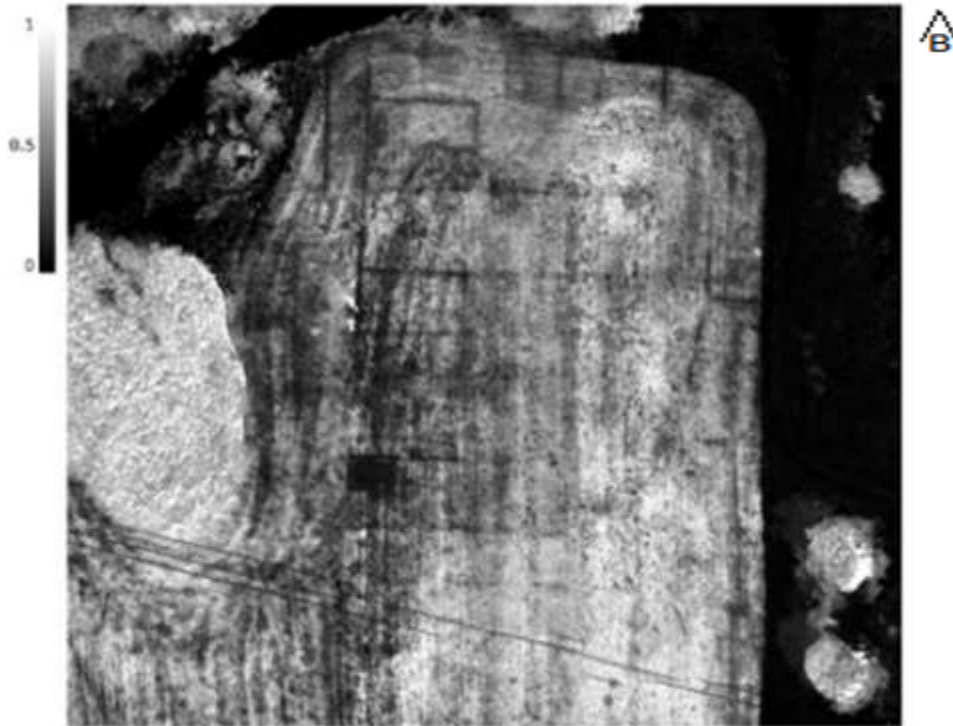
Ακολούθησε αεροφωτογράφιση 94 λήψεων ύψους 50 μ και 6 διαδρομών με επικάλυψη 80 % με τον παγχρωματικό αισθητήρα στις 10 Μαΐου 2019 και η παραγωγή DTM και ορθοφωτομωσαϊκού στο λογισμικό Agisoft Metashape. Τα ίχνη εμφανίστηκαν στο παγχρωματικό ορθοφωτομωσαϊκό και στην εκδοχή της με αρνητικές τιμές.

Στην περίπτωση της περιοχής των Φιλίππων δεν παρατηρήθηκαν ίχνη στις εικόνες GE αλλά επιχειρήθηκε αεροφωτογράφιση καθώς η θέση βρίσκεται εντός των τειχών της αρχαίας πόλης. Το UAV εκτός από την μηχανή DSLR εξοπλίστηκε με πολυφασματικό αισθητήρα Parrot Sequoia και θερμικό δέκτη Flir Vue Pro. Για τις παγχρωματικές, πολυφασματικές και θερμικές λήψεις ακολουθήθηκε ροή διεργασιών όμοια με το πρώτο παράδειγμα με την επιπρόσθετη παραγωγή χαρτών με δείκτες βλάστησης.

Τα παγχρωματικά και θερμικά προϊόντα έδειξαν μικρό αριθμό ιχνών αδύναμης έντασης. Από τα πολυφασματικά προϊόντα, το ορθοφωτομωσαϊκό της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας έδειξε εμφανώς την πιθανή ύπαρξη υπεδάφιας οικοδομικών καταλοίπων. Η ακόλουθη εφαρμογή των δεικτών SR και GCI εμφάνισε επιπλέον ίχνη και τα προηγούμενα με μεγαλύτερη ευκρίνεια (βλ. σχ.1.2.4.4.1.). Οι δείκτες NDVI, GNDVI, SAVI και GSAVI έδωσαν ασθενή εικόνα των ιχνών έναντι των δεικτών NLI, NDVIRE, MSR, GRVI, NDRE και NGRDI όπου τα ίχνη εμφανίζονται πιο έντονα.

Εκτός από την αναγνωριστική απόδοση των συγκεκριμένων δεικτών βλάστησης στην έρευνα τονίζεται το χαμηλό κόστος των πολυφασματικών και θερμικών εικόνων που λαμβάνονται από UAV σε σχέση με τις αντίστοιχες που προέρχονται από δορυφορικές λήψεις. Επιπλέον, οι συγκεκριμένοι δέκτες παράγουν απεικονίσεις του εδάφους υψηλότερης χωρικής ανάλυσης αντί

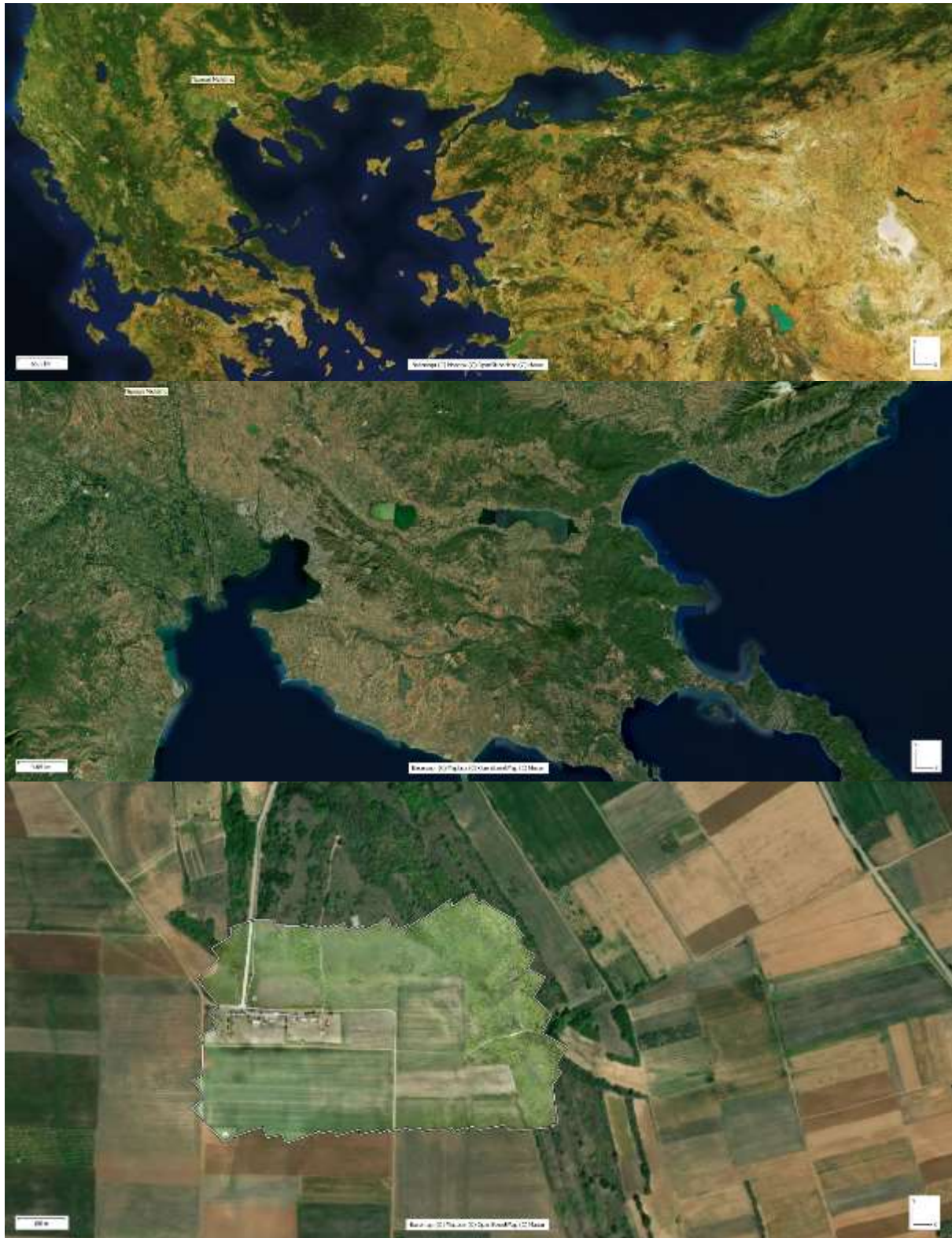
των δορυφορικών. Όμως, επισημαίνεται το σαφές μειονέκτημα ως προς την έκταση της περιοχής που μπορεί να ερευνηθεί με UAV πράγμα που αποδίδεται στο σχετικά χαμηλό ύψος πτήσης των UAV, το μικρότερο ωφέλιμο φορτίο και τον τύπο του ιπτάμενου μέσου.



Σχήμα 1.2.4.4.1. Εικόνα με δείκτη θλάστησης SR σε τμήμα της περιοχής που ερευνήθηκε εντός των τειχών των αρχαίων Φιλίππων . Διαμορφωμένο από (Kaïmaris, 2022) .

2. Εφαρμογή και Μεθοδολογία

2.1. Περιοχή Μελέτης – Αρχαία Ευρωπός



Σχήμα 2.1.1. Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης

Εντός της περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας και σε απόσταση περίπου 55 χλμ από την Θεσσαλονίκη, βρίσκεται η αρχαία πόλις της Ευρωπού (βλ. σχ. 2.1.1.). Απέχει μόλις 1 χλμ ΝΔ από τη σημερινή ομώνυμη κωμόπολη, περίπου 15 χλμ από την αγορά της αρχαίας Πέλλας και 5,5 χλμ από τον ποταμό Αξιό (βλ. σχ. 2.1.2.).

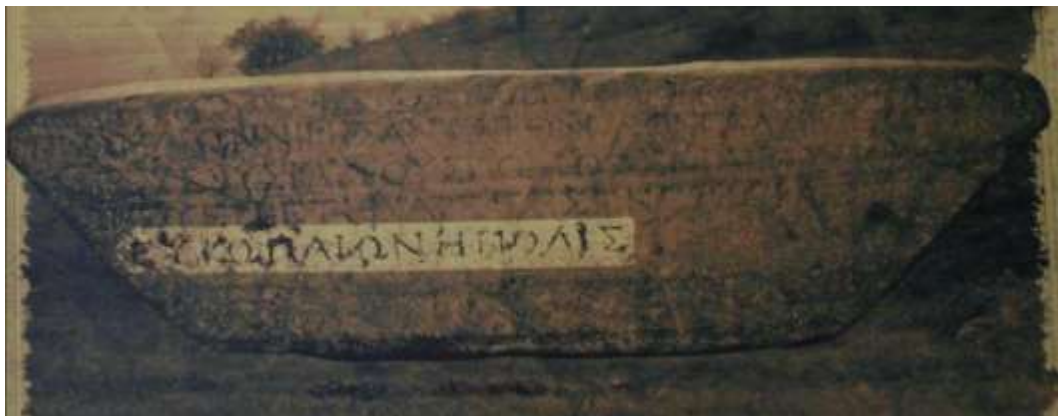


Σχήμα 2.1.2 Η ακρόπολη απέχει 5,5 χλμ από την σημερινή κοίτη του ποταμού Αξιού. Επεξεργασμένο στιγμιότυπο αεροφωτογραφίας. Διαμορφωμένο από google earth

Σύμφωνα με παλαιογεωγραφικές μελέτες, το σημερινό τοπίο της πεδιάδας μέχρι τον Θερμαϊκό δημιουργήθηκε έπειτα από συνεχείς εδαφικές προσχώσεις του Αξιού ποταμού και η θαλάσσια ακτογραμμή ήταν εγγύτερα της αρχαίας πόλης απ' ό τι σήμερα (Sotiriadis & Astaras, 1988). Κατά τους Tsokas et al. (1994), αυτό υποστηρίζεται από πηγές αρχαίας γραμματείας, σύμφωνα τις οποίες η αρχαία πόλη αποτέλεσε εμπορικό κέντρο λόγω του λιμανιού της στον ποταμό Αξιό. Στο κέντρο του σημερινού οικισμού, εντοπίζεται η παλαιότερη οικιστική συγκέντρωση, η οποία ανάγεται στην Εποχή του Χαλκού (3000 π.Χ.) και εμφανίζει τυπική μορφή μακεδονικής τούμπας (Σαββοπούλου, 1997). Εν τη απουσία γραπτών πηγών, η ιστορία της πόλης στην Αρχαϊκή εποχή ερμηνεύεται εμμέσως. Κατά την Σαββοπούλου, η εύρεση κούρου κυκλαδίτικης τεχνοτροπίας του 6ου αιώνα π.Χ. (μοναδικού μέχρι σήμερα επί Μακεδονικού εδάφους), η ανεσκαμμένη κεραμική κορινθιακής και αττικής τεχνοτροπίας και η στρατηγική θέση της πόλης επί της τότε εμπορικής οδού Βορρά - Νότου υπονοούν υπερτοπική εμπορική δραστηριότητα.

Για την ιστορική σκιαγράφηση από τον 6^ο αιώνα π.Χ. και έπειτα, φιλολογικές πηγές συνδράμουν στις αρχαιολογικές παρατηρήσεις (Σαββοπούλου, 1988). Σύμφωνα με τον Θουκυδίδη, ο βασιλιάς της Θράκης Σιττάλκης εισέβαλε στην περιοχή της Παιονίας το 429 π.Χ. κατά τη διάρκεια του Πελοποννησιακού Πολέμου και κατέλαβε αρκετές πόλεις παρά τον τότε ρου του Αξιού ποταμού, πλην της Ευρωπού⁵. Η μαρτυρία του υπονοεί τη δύναμη της πόλης και την ύπαρξη τειχών. Η περιοχή έχει δώσει αφθονία αρχαιολογικών ευρημάτων Κλασικής και Ελληνιστικής Εποχής και εμφανίζει πληθώρα κτιριακών καταλοίπων στην επιφάνεια του εδάφους (Σαββοπούλου, 1988). Μεγάλη ποσότητα αρχαίου οικοδομικού υλικού και όχι μόνο (π.χ. επιτύμβιες στήλες) χρησιμοποιήθηκε σε νεότερες κατασκευές, πράγμα φανερό ακόμη και στον σημερινό επισκέπτη. Τέτοια περίπτωση αποτέλεσε και μία επιγραφή του 5ου αιώνα π.Χ. με τη φράση «Ευρωπαίων η πόλις» σε κατώφλι οικίας Τούρκου (βλ. σχ. 2.1.3). Επίσης, είναι γνωστό πως από την Ευρωπό καταγόταν ο Σέλευκος ο Νικάτωρ (ιδρυτής της δυναστείας των Σελευκιδών και θεμελιωτής σημαντικών πόλεων της Ελληνιστικής περιόδου). Τα παραπάνω επισημαίνουν την οικονομική ευμάρειά της κλασικής και ελληνιστικής πόλης.

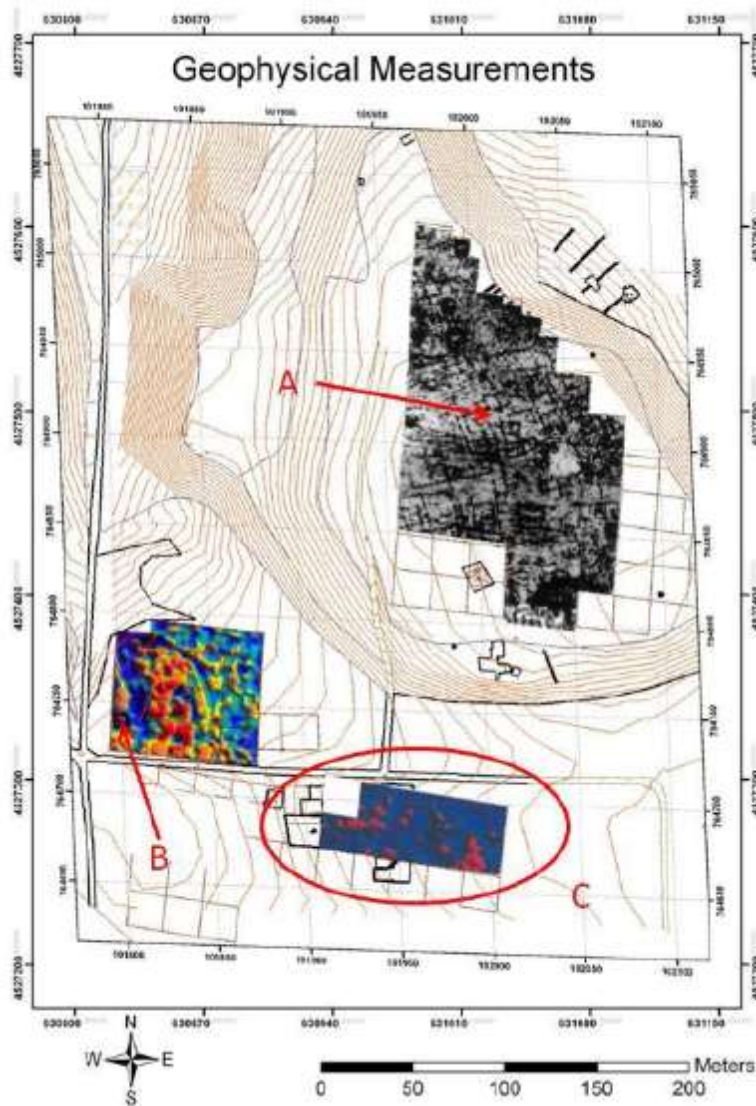
Στην περίοδο της πρώιμης Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, η Ευρωπό εξακολουθεί να σημειώνει ακμή και αναφέρεται συχνά σε σχέση με βαρβαρικές επιδρομές που αντιμετωπίζονται επιτυχώς υπό την ηγεσία Ρωμαίων αξιωματούχων. Ευημερία εμφανίζει και στα ακόλουθα αυτοκρατορικά χρόνια (1^{ος} - 4^{ος} αιώνας), αλλά σταδιακά παρακμάζει. Κατά τον 5ο - 6ο αιώνα η ακρόπολη εγκαταλείπεται από κατοίκους και φιλοξενεί εργαστήρια κεραμοποιίας.



Σχήμα 2.1.3 «ΕΥΡΩΠΑΙΩΝ Η ΠΟΛΙΣ». Επιγραφή χρόνων πρώιμης ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας. (Δήμος Παιονίας, 2022)

Στην περιοχή μελέτης οι ανασκαφές άρχισαν το 1938. Απεκάλυψαν τριθάλαμο καμαροσκέπαστο τάφο και το ίδιο έτος έγινε ανακάλυψη ενσφράγιστων κεραμιδιών οροφής με την επιγραφή <<Ευρωπός>> (Σαββοπούλου, 1988).

⁵ Θουκυδίδου Ιστοριών Β' . Ιστορία του Πελοποννησιακού Πολέμου. [100.3]: «ὁ δὲ στρατὸς τῶν Θρακῶν ἐκ τῆς Δοθῆρου ἐσέβαλε πρῶτον μὲν ἐς τὴν Φιλίππου πρότερον οὖσαν ἀρχήν, καὶ εἶλεν Εἰδομένην μὲν κατὰ κράτος, Γορτυνίαν δὲ καὶ Αταλάντην καὶ ἄλλα ἅττα χωρία ὁμολογία διὰ τὴν Ἀμύντου φίλιαν προσχωροῦντα τοῦ Φιλίππου υἱέος παρόντος· **Εὐρωπὸν δὲ ἐπολιόρκησαν μὲν, ἐλεῖν δὲ οὐκ ἐδύναντο**».



Σχήμα 2.1.4 Τοπογραφική απεικόνιση των γεωφυσικών διασκοπήσεων. Α: π.ι. ακρόπολης, Β: θέση φούρνου κεραμοποιίας, C: θέσεις τάφων (Tsokas et al., 1994)

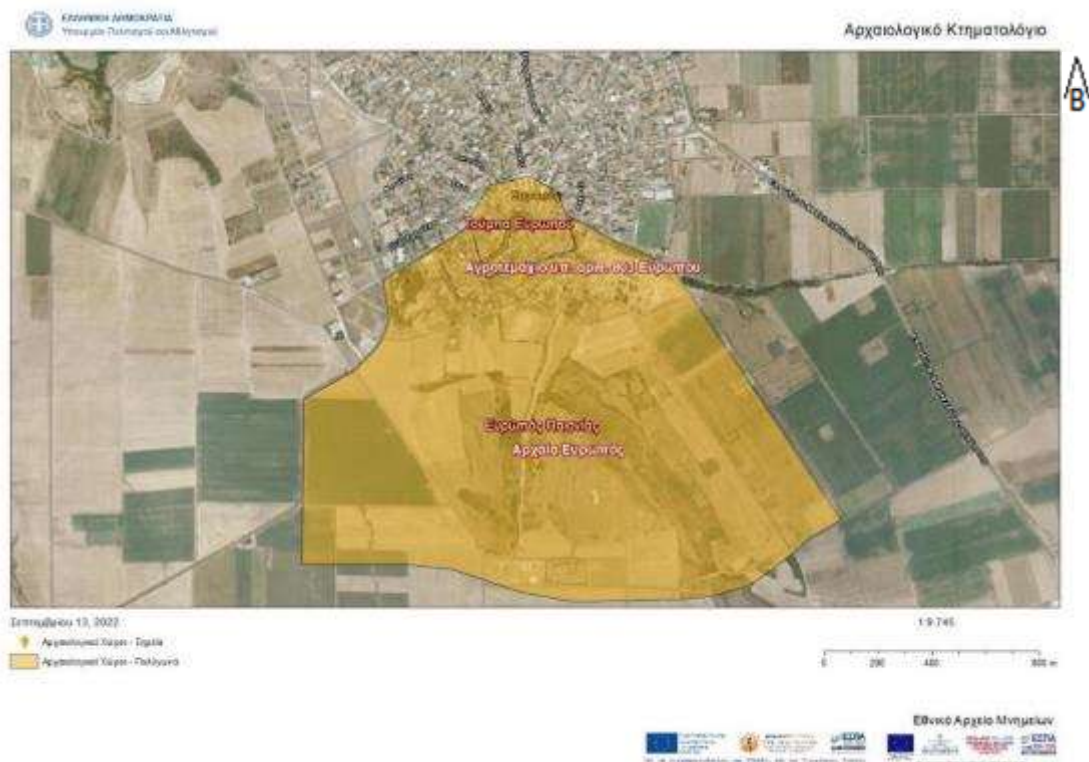
Το 1989, μέσω γεωφυσικών διασκοπήσεων (μαγνητικές μετρήσεις και ηλεκτρικές τομογραφίες) χαρτογραφήθηκε μεγάλο μέρος του υπεδάφους της ακροπόλεως και εγγύς αυτής με στόχο τον επανεντοπισμό του (καλυμμένου τότε) τάφου του 1938 (Tsokas et al., 1994). Οι χαρτογραφήσεις αποτέλεσαν γνώμονα για στοχευμένες ανασκαφικές μελέτες στα έτη 1991, 1992, 1993-1995. Αποκαλύφθηκε μέρος του πολεοδομικού ιστού της ακροπόλεως, πλήθος ταφικών μνημείων, διαφόρων διαστάσεων, θαμμένων σε βάθος <1μ και κλίβανος κεραμοποιίας (Οικονομίδης et al., 2011; Tsokas et al., 1994). Εξάγονται έτσι πληροφορίες χωροταξικής οργάνωσης για τις τελευταίες φάσεις της ζωής της πόλης, όπως το πολεοδομικό σύστημα, θέσεις εργαστηρίων, κοιμητηρίων, κατοικιών και δρόμων (βλ. σχ. 2.1.4) (Σαββοπούλου, 1997).

Το 2011, οι Οικονομίδης et al. εκπόνησαν έρευνα Τηλεπισκόπησης στον χώρο αξιοποιώντας δορυφορικές εικόνες των συστημάτων SPOT-4, ALOS, IKONOS, QuickBird-2, καθώς και αεροφωτογραφίες του 1979. Εφαρμόστηκε μέθοδος σύνθεσης παγχρωματικής και πολυφασματικής εικόνας (pan-sharpen) σε συνδιασμό με τεχνικές βελτίωσης εικόνας και ψευδοχρωματικών απεικονίσεων με αποτέλεσμα την παρατήρηση γραμμικών και

σημειακών ιχνών βλάστησης πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σε μία ευρεία έκταση περίξ του αρχαιολογικού χώρου. Κάποια ταυτίζονταν με θέσεις αναγνωρισμένες από την γεωφυσική διασκόπηση. Εξ' αυτών, άλλα συγκρινόμενα με τις παλαιότερες αεροφωτογραφίες θεωρήθηκαν πως οφείλονται σε παλαιότερους αναδασμούς και άλλα θεωρήθηκαν ως πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος (Καραμήτρου, 2012).

Σήμερα ο χώρος του ρωμαϊκού και παλαιοχριστιανικού κοιμητηρίου έχει διαμορφωθεί ως επισκέψιμος και βρίσκεται εντός του οργανωμένου αρχαιολογικού χώρου συνολικής έκτασης 11,5 στρεμμάτων. Η τοπογραφική τράπεζα που κάποτε αποτελούσε την ακρόπολη της αρχαίας πόλης, έχει περιορισμένα ανασκαφεί.

Στην έκταση των καλλιεργητικών πεδίων νοτίως του κηρυγμένου αρχαιολογικού (βλ. σχ. 2.1.8) χώρου διασώζονται σημαντικά ταφικά μνημεία ελληνιστικής εποχής, τα οποία καλύπτονταν από ευμεγέθεις τύμβους. Επίσης, την περιοχή διασχίζει αγωγός υδροδότησης του οποίου το ίχνος διακρίνεται στις αεροφωτογραφίες ως διαγώνια γραμμή (Σαββοπούλου & Γιαννάκης, 2008). Η περιοχή προσφέρεται για έρευνα και εντός αυτής εστιάζει η παρούσα εργασία, όπου και έλαβε χώρα το ερευνητικό της κομμάτι.



Σχήμα 2.1.5. Τα σημερινά όρια του κηρυγμένου αρχαιολογικού χώρου στην Ευρώπη (Αρχαιολογικό Κτηματολόγιο, 2022).

Στα πλαίσια του ερευνητικού σκέλους της διπλωματικής εργασίας, στις 6 Μαΐου 2022 το μεσημέρι πραγματοποιήθηκε συλλογή εικόνων με UAV και με χρήση παγχρωματικής και πολυφασματικής κάμερας, σε μία έκταση καλλιέργειας σιτηρών.~ 300.000 τμ (300 στρεμμάτων) (βλ. σχ. 2.1.6). Η ημερομηνία ήταν εντός της ευρύτερης ιδανικής περιόδου για εναέρια αναζήτηση ιχνών σε καλλιέργειες σιταριού, η οποία, σύμφωνα με τους Kaïmaris et al. (2012), κυμαίνεται από τα τέλη Μαρτίου έως τα μέσα Μαΐου. Η τραπεζοειδούς μορφής περιοχή εστίασης των λήψεων εκτείνεται βορείως από το ανασκαμμένο σημείο της κορυφής της τράπεζας έως 400 μέτρα νότια εντός των

καλλιεργητικών πεδίων και από τα δυτικά όρια του κτήματος των νεώτερων κτιριακών εγκαταστάσεων του επισκέψιμου αρχαιολογικού χώρου έως ~700 μέτρα ανατολικά (στις ημιδασώδεις εκτάσεις) (βλ. σχ. 2.1.7).

Εκτελέστηκαν δύο πτήσεις με το UAV WingtraOne GEN II. Στην πρώτη έφερε την παγχρωματική φωτογραφική μηχανή Sony Cyber-shot DSC-RX1R II και στην δεύτερη τον πολυφασματικό αισθητήρα Micasense RedEdge-MX. Για τη συλλογή γεωγραφικής πληροφορίας, στο έδαφος είχε στηθεί βάση GPS και καθώς αξιοποιήθηκε σύστημα PPK, δεν τοποθετήθηκαν σημεία εδαφικού ελέγχου GCPs (βλ. παρ. 2.2). Μετά τις πτήσεις ακολούθησε επεξεργασία σε εξειδικευμένα λογισμικά. Προηγουμένως της πτήσης είχε εκδοθεί από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ), άδεια πτήσης του συγκεκριμένου μηΕΑ στην συγκεκριμένη περιοχή για το χρονικό διάστημα από την ώρα 13:00 μέχρι 14:30. Επίσης παραχωρήθηκε άδεια έρευνας αεροφωτογράφισης στην περιοχή από την τοπική Εφορεία Αρχαιοτήτων Κιλκίς.



Σχήμα 2.1.6 Προσεγγιστικά όρια κάλυψης αεροφωτογραφιών (με μαύρη γραμμή). Διαμορφωμένο από στιγμιότυπο στο Google Earth Pro



Σχήμα 2.1.7 Αποψη της τοπογραφική τράπεζας λίγα μέτρα πρίν από την γωνιακή συμβολή των αγροτικών οδών. Προσωπικό Αρχείο



Σχήμα 2.1.8 Αποψη της περιοχής νοτίως του επισκέψιμου αρχαιολογικού χώρου. Προσωπικό Αρχείο

2.2. Τεχνικά Χαρακτηριστικά UAV



Σχήμα 2.2.1. Το WingtraOne GEN II στην περιοχή μελέτης. Προσωπικό Αρχείο

Το WingtraONE GEN II (βλ. σχ. 2.2.1) είναι ένα drone σταθερών πτερυγίων ανοίγματος 1,25 μ και κάθετης απογείωσης και προσγείωσης στην ουρά (Tailsitter VTOL - vertical takeoff and landing) . Ζυγίζει 3,7 κιλά και έχει μέγιστο φορτίο απογείωσης 4,5 κιλά.

Δίχως την κεντρική βάση έχει διαστάσεις 125 × 68 × 12 εκ και η κίνησή του βασίζεται σε ζεύγος επαναφορτιζόμενων μπαταριών λιθίου 99 κιλοβατώραν. Έχει ενσωματωμένο σύστημα γεωεντοπισμού GPS και μπορεί να χρησιμοποιήσει τα δορυφορικά συστήματα GPS (L1, L2), GLONASS (L1, L2), Galileo (L1) και BeiDou (L1).

Για την παροχή διορθωμένων γεωγραφικά δεδομένων το WingtraONE GEN II αξιοποιεί σύστημα PPK (Post-Processing Kinematic). Χρησιμοποιώντας ενσωματωμένο GPS, το drone συλλέγει γεωσυντεταγμένες σε κάθε λήψη και τις επισυνάπτει σε κάθε μία φωτογραφία (για το σημείο του κέντρου κάθε φωτογραφίας). Επίσης, κατά τη διάρκεια της πτήσης, μια επίγεια μονάδα βάσης GPS καταγράφει γεωπληροφορίες μεγαλύτερης ακρίβειας. Τα δύο συστήματα δρουν ξεχωριστά. Μετά το πέρας της πτήσης και σε σχετικό λογισμικό, οι δύο καταγραφές γεωπληροφορίας αντιστοιχίζονται βάσει των χρόνων καταγραφής με αποτέλεσμα την γεωαναφορά κάθε αεροφωτογραφίας. Οι διορθωμένες πλέον εικόνες έχουν ιδιαιτέρως υψηλή ακρίβεια και δεν απαιτούν περαιτέρω διόρθωση για την αξιοποίησή τους σε ορθοφωτομωσαϊκά, DSM, κ.α. (Wingtra, 2020).

Το σχέδιο και όλες οι παράμετροι της πτήσης ορίζονται μέσα από το λογισμικό WingtraPilot. Το μηΕΑ απογειώνεται κατακόρυφα με την χρήση ζεύγους ελίκων και στην πορεία στρέφεται κάθετα προς τον άξονα απογείωσης και συνεχίζει την πορεία του ως αεροπλάνο σταθερών πτερυγίων. Μετά την απογείωση, αναδύεται, στον ουρανό, σε

κυκλική τροχιά με ταχύτητα από 10,8 έως 21,6 χλμ /ώρα ενώ καλύπτει την προσχεδιασμένη έκταση με μέση ταχύτητα 57,6 χλμ /ώρα. Παρόμοια με της ανάδυσης ταχύτητα, έχει και στην κατάδυση πριν την προσγείωση η οποία επίσης εκτελείται παρομοίως της απογείωσης. Η αυτόματη προσγείωσή του σημειώνει ακρίβεια μικρότερη των 2 μέτρων.

Αξιοσημείωτη με το συγκεκριμένο UAV είναι η εν δυνάμει έκταση κάλυψης σε μία πτήση από 1000 στρέμματα με χωρική ανάλυση 0,7 εκ/ πίκσελ έως 4000 στρεμμάτων με χωρική ανάλυση 3 εκ/ πίκσελ σχεδόν διπλάσια από τα συμβατικά drone σταθερών πτερυγίων. Συγκριτικά με τα τελευταία, θεωρείται πώς συλλέγει δεδομένα 2 φορές πιο γρήγορα με την κάμερα RX1R II ενώ σε σχέση με τα ελικοπτεροειδή μηΕΑ, 8 φορές πιο γρήγορα (Wingtra, 2022).

2.3. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παγχρωματικού Αισθητήρα

Η παγχρωματική φωτογραφική μηχανή που προσαρτήθηκε στο UAV είναι η Sony Cyber-shot DSC-RX1R II ανάλυσης 42,4 megapixel. Έχει διαστάσεις 113,3 χιλ. πλάτος x 65,4 χιλ. ύψος x 72 mm χιλ. βάθος και ζυγίζει 507 γρ, μαζί με την μπαταρία και την κάρτα μνήμης (480γρ χωρίς). Χρησιμοποιεί αισθητήρα CMOS πλήρους καρέ και σταθερό φακό 35mm (35.9 x 24.0mm), αναλογίας εικόνας 3:2 με αυτόματη εστίαση 399 σημείων (Autofocus- AF) και ISO 100 – 25600 (sony 2022). Διαθέτει πτυσσόμενο ηλεκτρονικό εικονοσκόπιο και οπτικό μεταβλητό χαμηλοπερατό φίλτρο το οποίο κόβει τις χαμηλές συχνότητες ΗΜΑ.

Τροφοδοτείται από επαναφορτιζόμενη μπαταρία NP-BX1 και η θερμοκρασία λειτουργίας της κάμερας κυμαίνεται από περίπου 0°C έως 40°C. Μπορεί να συνδεθεί με HDMI, USB και WiFi (Sony, 2022).

Εξαρτημένη στο WingtraOne GEN II, έχει κάθετο οπτικό πεδίο 37,8°, οριζόντιο οπτικό πεδίο 54,3° και σημειώνει χαμηλότερη πιθανή GSD⁶ ίση με 0,7 cm / πίκσελ. Χωρίς GCPs και με ενεργούμενο το PPK, σημειώνει έως και 1 cm , οριζοντιογραφική ακρίβεια και έως και 3 cm υψομετρική ακρίβεια. Με επικάλυψη 60% μεταξύ των λήψεων μπορεί να καλύψει έκταση έως και 400 εκταρίων (Wingtra, 2022).

⁶ Απόσταση Δειγματοληψίας Εδάφους (Ground Sample Distance - GSD) είναι η πραγματική απόσταση εδάφους μεταξύ των κέντρων δύο επαπτόμενων εικονοστοιχείων. GSD ίσο με 3 εκ / πίκσελ σημαίνει πως ένα εικονοστοιχείο στην εικόνα αντιστοιχεί σε τετράγωνο 3 x 3 εκατοστών (9 εκ.²) στο έδαφος (Vision Aerial, 2021).

2.4. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Πολυφασματικού Αισθητήρα

Στην εργασία αξιοποιήθηκε ο πολυφασματικός αισθητήρας MicaSense RedEdge-MX. Ο αισθητήρας φέρει 5 κάμερες καταγραφής στις περιοχές Μπλε - BLUE, Πράσινη - GREEN, Κόκκινη - RED, Ακμή Ερυθρού - RedEdge και Εγγύς Υπέρυθρη - NIR (βλ. πιν..2.4.1). Εν αντιθέσει με παρόμοιους πολυφασματικούς αισθητήρες, δεν λαμβάνει εικόνες RGB, καθώς δεν φέρει παγχρωματικό αισθητήρα. Όμως, μπορεί να παράξει RGB εικόνες, διότι καταγράφει διακριτά όλες τις φασματικές ζώνες με ευθυγραμμισμένο για τις 5 κάμερες κλείστρο Global. (Micasense, 2022; Wingtra, 2022; Κανδύλας, 2020)

Ο πολυφασματικός αισθητήρας συνοδεύεται από τον ηλιακό αισθητήρα DLS2. Ο ηλιακός αισθητήρας Downwelling Light Sensor 2 (DLS) συνδράμει στην βέλτιστη βαθμονόμηση της ηλιακής ανάκλασης σε περιπτώσεις μεταβαλλόμενων ηλιακών συνθηκών κατά την διάρκεια μίας πτήσης.

Το πακέτο του αισθητήρα επίσης συνοδεύει ο πίνακας - στόχος ραδιομετρικής βαθμονόμησης. Η τελευταία, είναι σημαντική στο στάδιο εμφάνισης των εικόνων λόγω των αλλοιώσεων που υφίστανται από τις επιπτώσεις της ηλιακής αντανάκλασης.

Βάρος Κάμερας:	231.9 γρ (συμπεριλαμβανομένου πολυφασματικού αισθητήρα, αισθητήρα φως, καλωδίων)
Διαστάσεις:	8,7 εκ . x 5,9 εκ x 4,54 εκ
Φασματικές Περιοχές :	Blue, Green, Red, RedEdge, Near Infra Red
Μήκος κύματος (nm):	BLUE (475 nm κέντρο \pm 20 nm), GREEN (560 nm κ. \pm 20 nm), RED (668 nm κ. \pm 10 nm), RedEdge (717 nm κ. \pm 10 nm), Near Infra Red (840 nm κ. \pm 40 nm)
RGB Color Output:	Global shutter, aligned with all bands
Ακρίβεια Δειγματοληψίας Εδάφους (GSD):	8,2 εκ /πίξελ (ανά κανάλι) στα 120 μ
Ρυθμός Λήψεων :	1 λήψη ανά δευτερόλεπτο (όλα τα κανάλια) , 12-bit RAW
Μορφή προϊόντων	16- bit RAW TIFF
Οπτικό Πεδίο:	47,2° Οριζόντιο Οπτικό Πεδίο 36.2° Κάθετο Οπτικό Πεδίο

Πίνακας 2.4.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά αισθητήρα MicaSense RedEdge-MX. Διαμορφωμένο από: (Micasense 2022; Wingtra 2022)

2.5. Επεξεργασία στον υπολογιστή

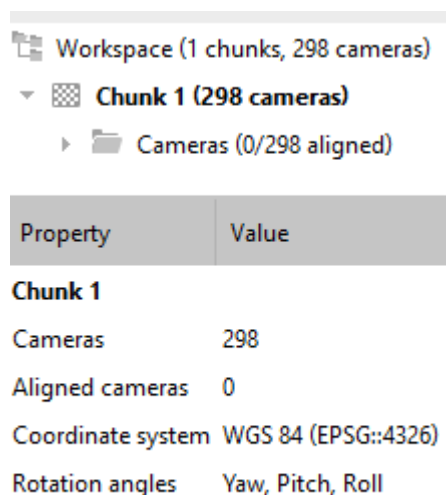
Έπειτα από τις λήψεις των αεροφωτογραφιών και την επιστροφή από το πεδίο, ακολούθησαν διεργασίες επεξεργασίας του πρωτογενούς υλικού. Οι φωτογραφίες από το drone εξήχθησαν σε μορφή 16ψήφρων GeoTIFF.

2.5.1. RGB εικόνες

Το ύψος πτήσης ορίσθηκε στα 100μ πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και η επικάλυψη στο 70 %. Ελήφθησαν 298 φωτογραφίες RGB.

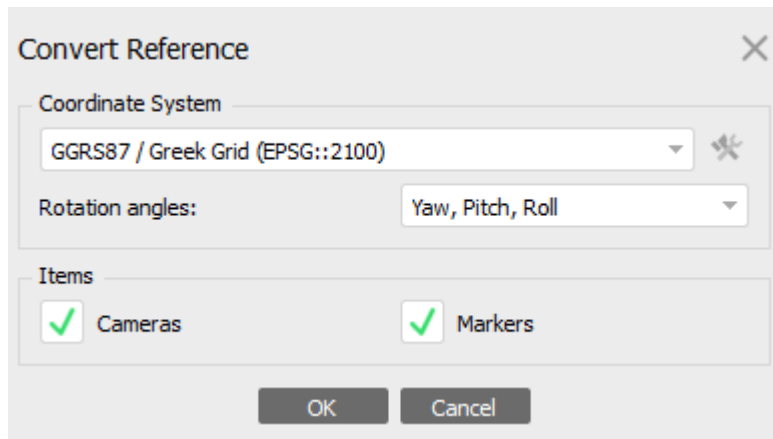
2.5.1.1. Ροή Διεργασιών

Με την εντολή Add photos οι φωτογραφίες εισήχθησαν στο λογισμικό Agisoft Metashape και αναγνωρίσθηκαν (βλ. σχ. 2.5.1.1.1).

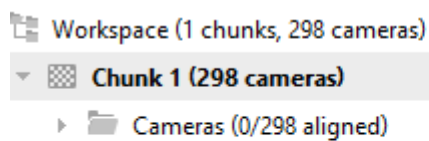


Σχήμα 2.5.1.1.1 Οι παγχρωματικές εικόνες αναγνωρίζονται από το λογισμικό.

Από την εργαλειοθήκη Reference και το πλήκτρο convert ,στο παράθυρο convert reference (βλ. σχ. 2.5.1.1.2) το προβολικό σύστημα μετατράπηκε από WGS84 σε ΕΓΣΑ87 (βλ. σχ. 2.5.1.1.3).



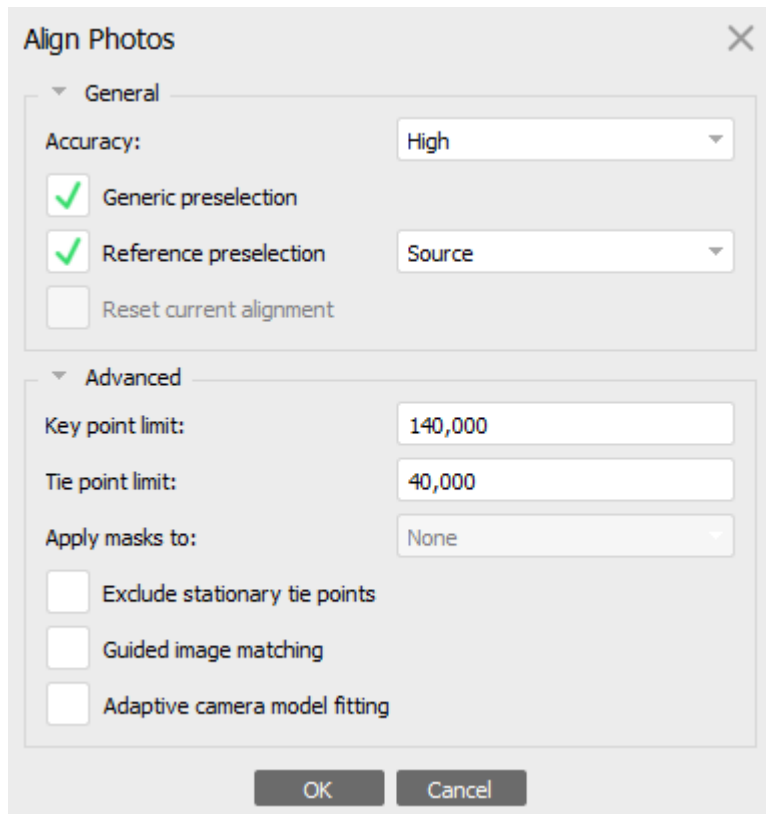
Σχήμα 2.5.1.1.2 Πίνακας παραμέτρων μετατροπής προβολικού συστήματος στην ροή διεργασιών από τις πανγχρωματικές λήψεις.



Property	Value
Chunk 1	
Cameras	298
Aligned cameras	0
Coordinate system	GGRS87 / Greek Grid (EPSG::2100)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

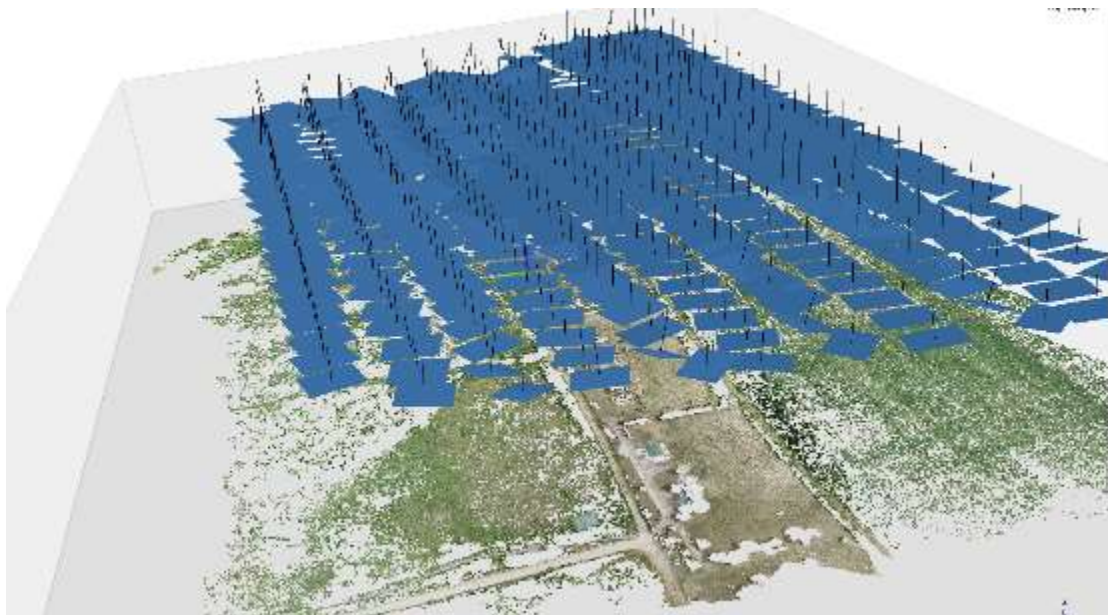
Σχήμα 2.5.1.1.3 Η μετατροπή του συστήματος συντεταγμένων σε GGRS87 – ΕΓΣΑ87 είναι εμφανής. Ροή διεργασιών από τις πανγχρωματικές λήψεις.

Με την εντολή align photos (βλ. σχ. 2.5.1.1.4) ξεκίνησε ο αεροτριγωνισμός των φωτογραφιών. Επιλέχθηκαν οι παράμετροι : Accuracy (ακρίβεια): αρχικά υψηλή αλλά στην συνέχεια η διαδικασία επαναλήφθηκε με επιλογή μέτριας απόδοσης ακρίβεια (βλ. παρ. 2.5.1.2), key point limit: 140.000 και tie point limits: 40.000.

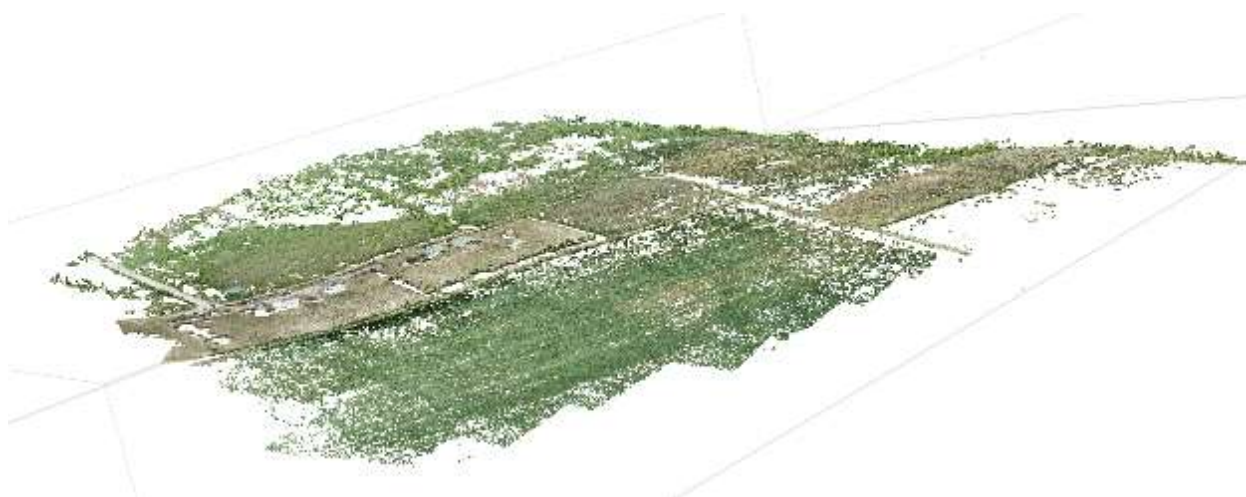


Σχήμα 2.5.1.1.4 Πίνακας παραμέτρων εντολής *Align Photos*. Ροή διεργασιών από τις πανγχρωματικές λήψεις.

Η διαδικασία αεροτριγωνισμού ολοκληρώθηκε με την εκτίμηση των θέσεων των φωτογραφιών (μπλε επιφάνειες στο σχήμα 2.5.1.1.5) και την εμφάνιση ενός νέφους σημείων (tie points cloud) (βλ. σχ. 2.5.1.1.6). Πρόκειται για συγκεντρώσεις σημείων που αναγνωρίστηκαν από το λογισμικό ως προβολές του ίδιου αντικειμένου μεταξύ τουλάχιστον 2 φωτογραφιών.

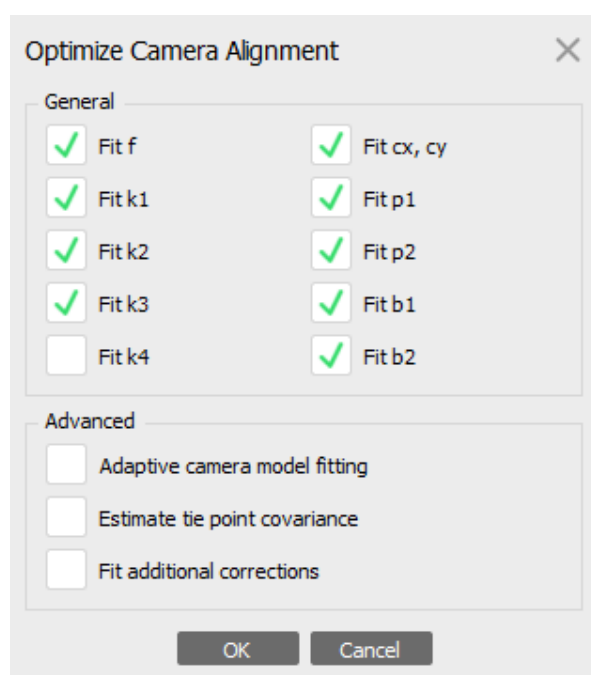


Σχήμα 2.5.1.1.5 Αποψη νέφους σημείων RGB λήψεων έπειτα από τον αεροτριγωνισμό. Ως μπλε παραλληλόγραμμα επιφάνειες εμφανίζονται οι λήψεις.



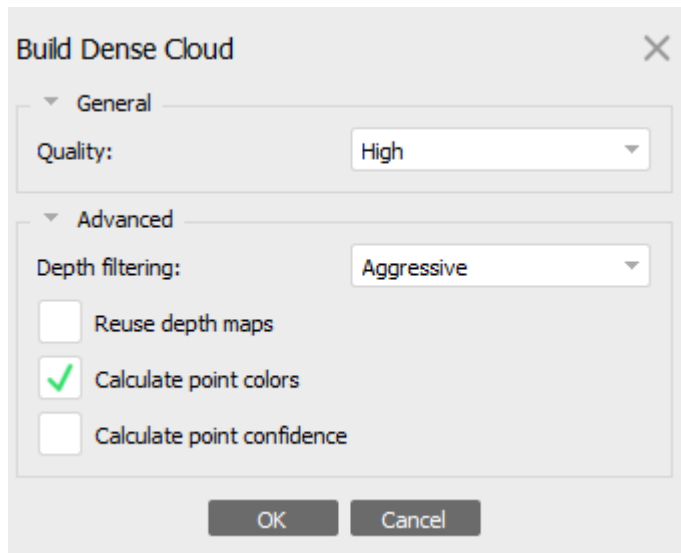
Σχήμα 2.5.1.1.6 Άποψη νέφους σημείων RGB λήψεων έπειτα από τον αεροτριγωνισμό.

Η ακρίβεια της στοίχισης των φωτογραφιών βελτιώθηκε με το εργαλείο Optimize Camera Alignment από την εργαλειοθήκη Tools (βλ. σχ. 2.5.1.1.7).



Σχήμα 2.5.1.1.7 Παράμετροι διαδικασίας Βελτιστοποίησης της διάταξης των παγχρωματικών αεροφωτογραφιών.

Στη συνέχεια παράχθηκε το τρισδιάστατο πυκνό νέφος σημείων (dense cloud) με την εντολή build dense cloud βάσει του tie points cloud και των γνωστών πλέον θέσεων των φωτογραφιών και των αρχικά εκτιμώμενων παραμορφώσεων (βλ. σχ. 2.5.1.1.8). Η νέα αυτή σύνθεση στερεοζεύγων αποτελεί γεωμετρική και γεωγραφική διόρθωση του tie points cloud (βλ. σχ. 2.5.1.1.9, σχ. 2.5.1.1.10). Κατά την διάρκεια της διεργασίας και πριν την τελική παραγωγή του dense cloud, υπολογίζονται χάρτες βάθους (depth maps), δηλαδή εικόνες με πληροφορίες βάθους και αποστάσεων από κοινό σημείο, για κάθε φωτογραφία. Το επιθετικό «aggressive» φίλτρο επιλέχθηκε διότι η περιοχή δεν περιέχει καίριας σημασίας και ιδιαίτερως μικρού μεγέθους επιγείες λεπτομέρειες.



Σχήμα 2.5.1.1.8 Παράμετροι Παραγωγής Dense Cloud από τις πανγχρωματικές λήψεις

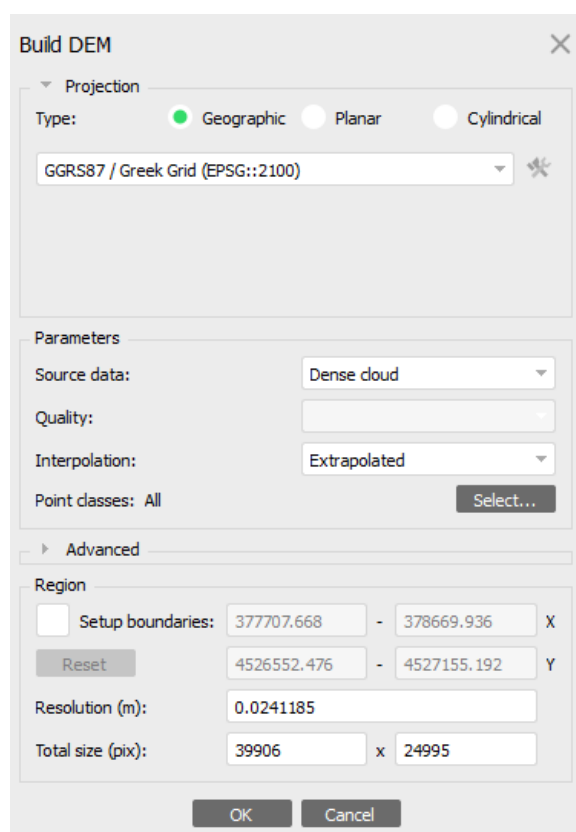


Σχήμα 2.5.1.1.9 Άποψη του dense cloud από τις πανγχρωματικές λήψεις



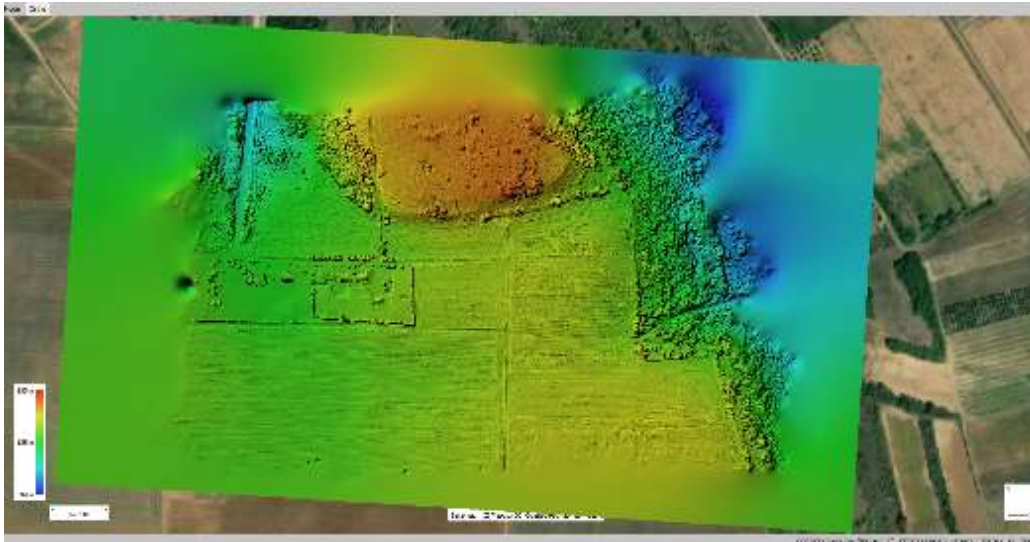
Σχήμα 2.5.1.1.10 Άποψη λεπτομέρειας του αρχ. χώρου στο dense cloud από τις πανγχρωματικές λήψεις

Στην συνέχεια παράχθηκε το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (DSM) με την εντολή Build Digital Elevation Model⁷ (βλ. σχ. 2.5.1.1.12). Ως πηγή δεδομένων τέθηκε το dense cloud και στην επιλογή παρεμβολής – interpolation η προεκτεταμένη: extrapolated (βλ. σχ. 2.5.1.1.11).



Σχήμα.2.5.1.1.11 Παράμετροι Παραγωγής Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους από τις πανγχρωματικές λήψεις

⁷ Στην περίπτωση, το DEM ταυτίζεται με το DSM Digital Surface Model καθώς δεν αφαιρέθηκαν επίγεια αντικείμενα όπως δέντρα, οχήματα κ.α. .



Σχήμα 2.5.1.1.12 DEM από τις πανγχρωματικές λήψεις

Το DEM αξιοποιήθηκε ως βάση για την παραγωγή ορθοφωτομωσαϊκού ,υψηλής ανάλυσης από σύνθεση των αρχικών φωτογραφιών (βλ. σχ. 2.5.1.1.13).

Build Orthomosaic
✕

Projection

Type: Geographic Planar Cylindrical

GGRS87 / Greek Grid (EPSG::2100)

Parameters

Surface: DEM

Blending mode: Mosaic (default)

Refine seamlines

Enable hole filling

Enable ghosting filter

Enable back-face culling

Pixel size (m): 0.0120567 X

Metres... 0.0120567 Y

Max. dimension (pix): 4096

Region

Setup boundaries: 377812.609 - 378596.580 X

Estimate: 4526592.215 - 4527111.977 Y

Total size (pix): 65023 x 43109

OK Cancel

Σχήμα 2.5.1.1.13 Παράμετροι Παραγωγής ορθοφωτομωσαϊκού από τις πανγχρωματικές λήψεις

2.5.1.2. Προϊόντα

Η ροή των διεργασιών στο λογισμικό Agisoft εκτελέστηκε δύο φορές. Στη μία περίπτωση επιλέχθηκε υψηλή ακρίβεια απόδοσης σε κάθε βήμα-προϊόν ενώ στην άλλη μέτρια. Η αιτία εντοπίζεται στα κενά που δημιουργήθηκαν στο αρχικό μοντέλο υψηλής ανάλυσης κατά την παραγωγή του (σχ. 2.5.1.2.1.). Οι υψηλότερης ακρίβειας αποτυπώσεις του μοντέλου υψηλής ανάλυσης προυποθέτουν μεγαλύτερη διάκριση – φιλτράρισμα της πληροφορίας των εικονοστοιχείων έναντι των χαμηλότερης ακριβείας αποτυπώσεων του μοντέλου μέτριας απόδοσης. Στο μοντέλο μέτριας ανάλυσης περισσότερη πληροφορία πέρασε από το χαμηλότερης ακριβείας φιλτράρισμα. Συνεπώς όπου εμφανίζονταν κενά στο DSM υψηλής ανάλυσης αξιοποιήθηκε το, χαμηλότερης ανάλυσης αλλά πληρέστερης κάλυψης, DSM του 2ου μοντέλου.

Υψηλής ανάλυσης dense cloud



Μέτριας ανάλυσης dense cloud

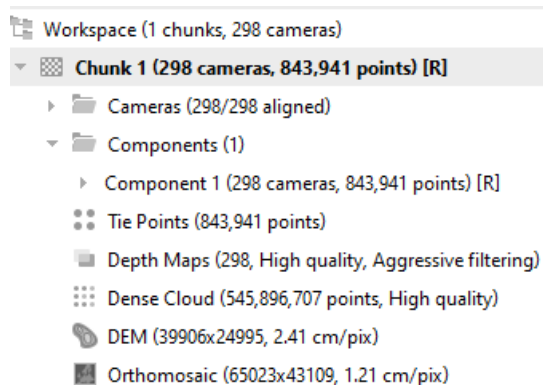


0 — 100μ

Σχήμα 2.5.1.2.1 Σύγκριση dense cloud υψηλής και μέτριας ανάλυσης από τις πανγχρωματικές λήψεις.

2.5.1.2.1. Εικόνες υψηλής ανάλυσης

Στις υψηλής ποιότητας εικόνες εντοπίστηκαν 843.941 κοινά σημεία αεροτριγωνισμού όπως φαίνεται στο στιγμιότυπο «σχήμα 2.5.1.2.1.1». Παράχθηκε dense cloud 545.896.707 σημείων (βλ. σχ. 2.5.1.2.1.2). Στο DEM (βλ. σχ. 2.5.1.2.1.3), σημειώθηκαν διαστάσεις 39,906 x 24,995 και ανάλυση 2,41 εκ./πίξελ. Στο ορθοφωτομωσαϊκό, σημειώθηκαν διαστάσεις 65,023 x 43,109 και ανάλυση 1,21 εκ./πίξελ (βλ. σχ. 2.5.1.2.1.4).



Σχήμα 2.5.1.2.1.1 Παράμετροι Απόδοσης Εικόνας Υψηλής Ανάλυσης



Σχήμα 2.5.1.2.1.2 dense cloud υψηλών προδιαγραφών



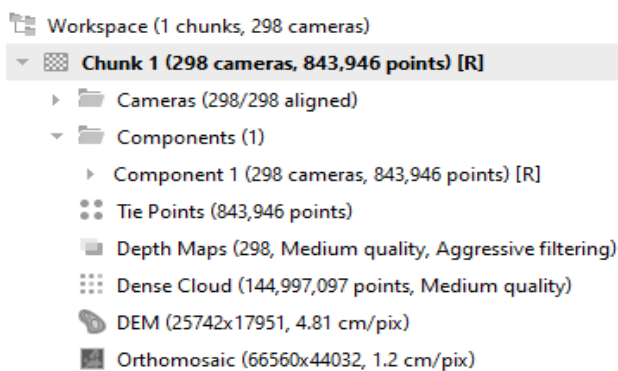
Σχήμα 2.5.1.2.3 DEM μοντέλου υψηλής ανάλυσης



Σχήμα 2.5.1.2.4 Ορθοφωτομωσασικό ψηλών προδιαγραφών

2.5.1.2.2. Εικόνες μέτριας ανάλυσης

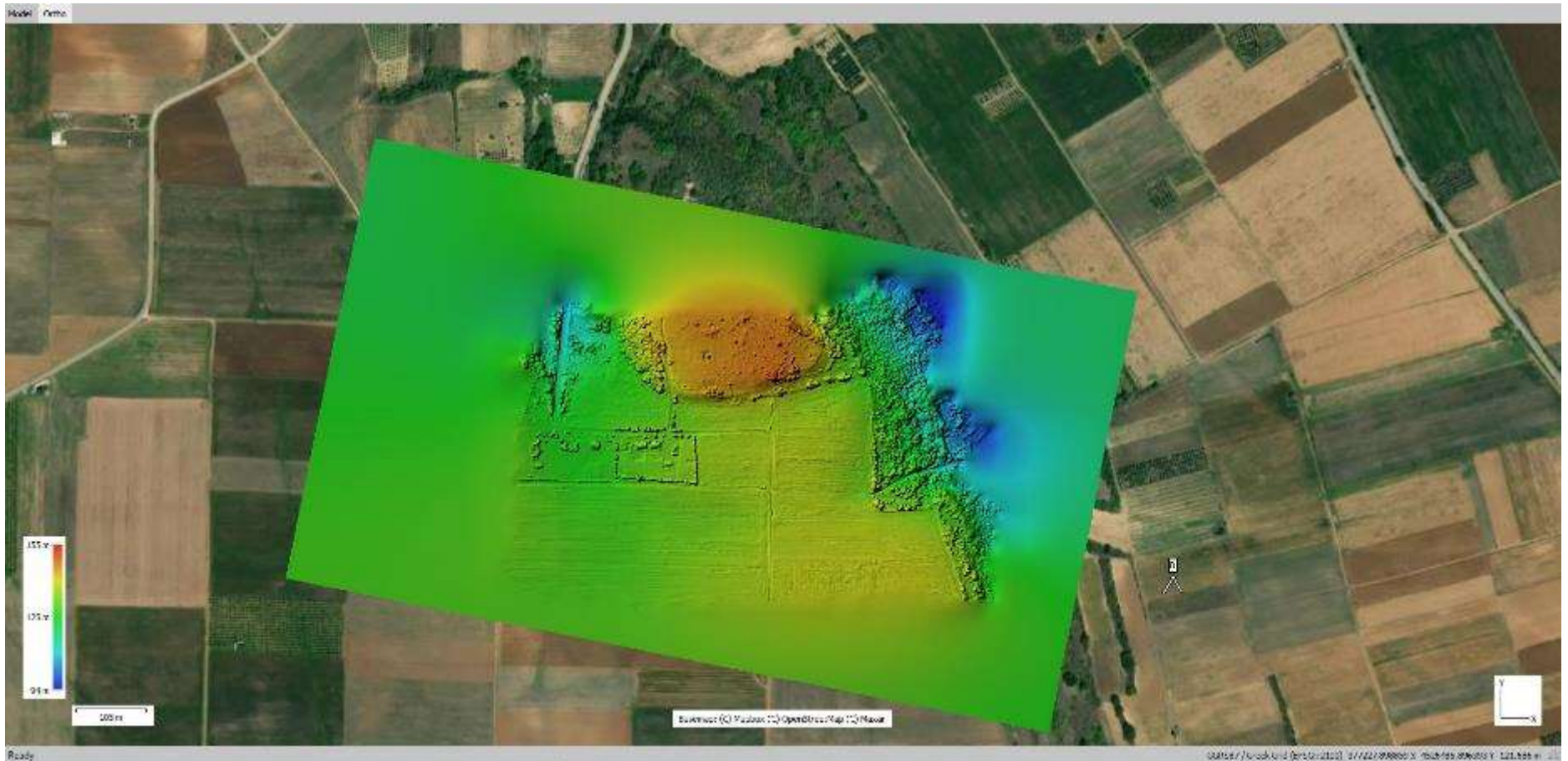
Στις εικόνες μέτριας ποιότητας εντοπίστηκαν 843.946 κοινά σημεία αεροτριγωνισμού όπως φαίνεται στο στιγμιότυπο «σχήμα 2.5.1.2.2.1». Παράχθηκε dense cloud 144.997.097 σημείων (βλ. σχ. 2.5.1.2.2.2). Στο DEM, σημειώθηκαν διαστάσεις 25,742 x 17951 και ανάλυση 4,81 εκ./πίξελ (βλ. σχ. 2.5.1.2.2.3). Στο ορθοφωτομωσαϊκό, σημειώθηκαν διαστάσεις 66,560 x 44,032 και ανάλυση 1,2 εκ./πίξελ (βλ. σχ. 2.5.1.2.4).



Σχήμα 2.5.1.2.2.1 Παράμετροι Απόδοσης Εικόνας Μέτριας Ανάλυσης



Σχήμα 2.5.1.2.2.2 dense cloud μέτρων προδιαγραφών



Σχήμα 2.5.1.2.2.3 DEM μοντέλου μέτριας ανάλυσης



Σχήμα 2.5.1.2.2.4 Ορθοφωτομωσαϊκό μέτρων προδιαγραφών

2.5.2. Πολυφασματικές εικόνες

Μετά την προσγείωση, οι μπαταρίες του UAV αντικαταστάθηκαν με τις πλήρως φορτισμένες εφεδρικές. Από την πλατφόρμα εξάρτησης αφαιρέθηκε η παγχρωματική φωτογραφική μηχανή και την θέση της έλαβε ο πολυφασματικός αισθητήρας. Το ύψος πτήσης ορίστηκε στα 100μ πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και η επικάλυψη στο 70 %. Ελήφθησαν συνολικά 1865 εικόνες από τους 5 διαύλους (373*5) και 20 φωτογραφίες ραδιομετρικής βαθμονόμησης. Το UAV απογειώθηκε περίπου στις 14:10 το μεσημέρι και φωτογράφιζε για 10 λεπτά ενώ η συνολική διάρκεια της πτήσης διήρκεσε 15 λεπτά. Πριν την πτήση, από την εξαρτημένη επάνω στο UAV πολυφασματική κάμερα, ελήφθησαν 4 φωτογραφίες (ταυτόχρονα από κάθε δίαυλο => 4x5= 20 συνολικές φωτογραφίες) του ειδικού πίνακα - στόχου ραδιομετρικής βαθμονόμησης καθώς αξιοποιούνται στο επόμενο στάδιο της επεξεργασίας και ειδικότερα στη διόρθωση της ραδιομετρίας των συγκεκριμένων αεροφωτογραφιών (βλ. σχ. 2.5.2.1).

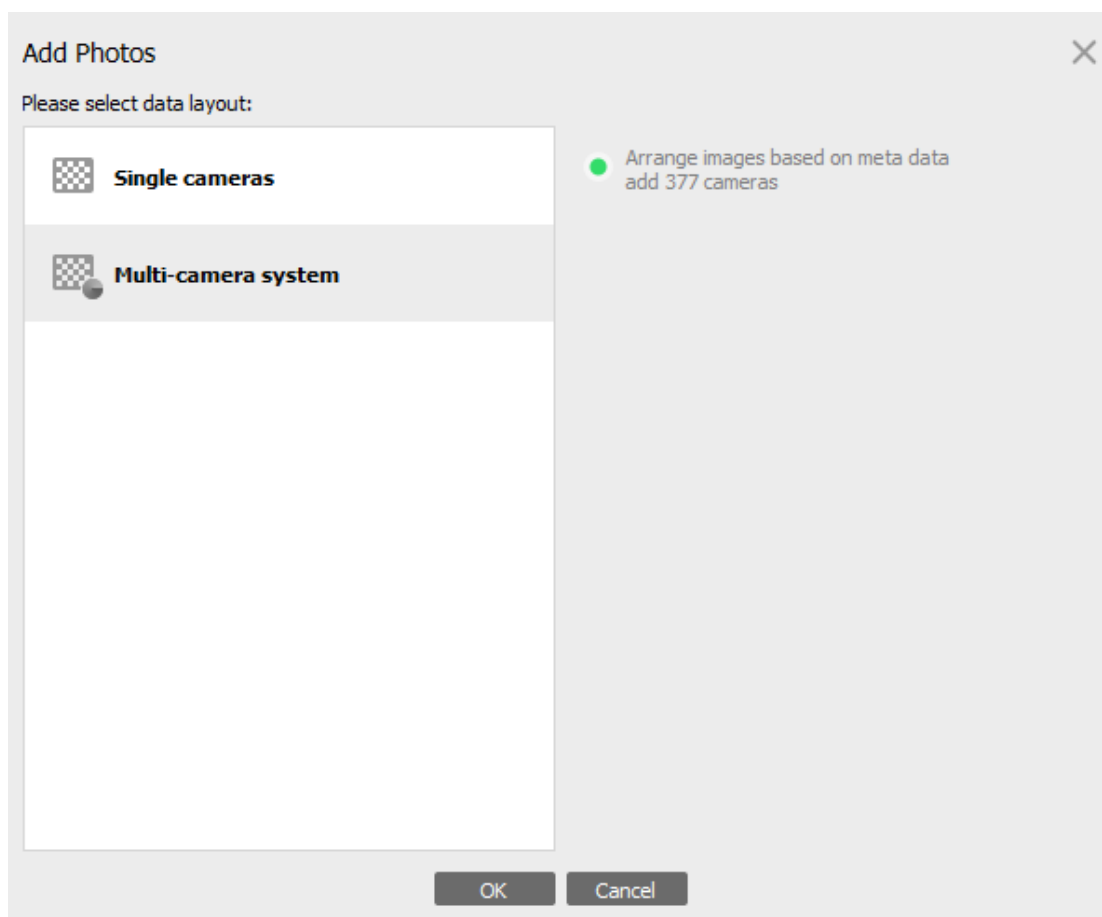


Σχήμα 2.5.2.1. Φωτογράφιση της πλακέτας βαθμονόμησης

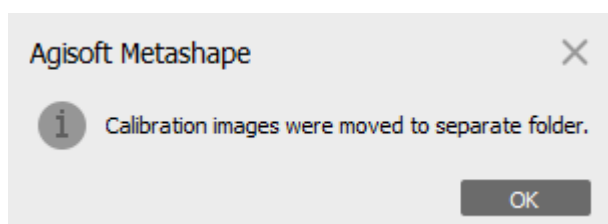
2.5.2.1. Ροή Διεργασιών

Με την εντολή Add photos 1885 φωτογραφίες εισήχθησαν στο λογισμικό Agisoft Metashape.

Στο αναδυόμενο παράθυρο (βλ σχ.2.5.2.1.1) το λογισμικό δίνει την δυνατότητα εισαγωγής των φωτογραφιών ξεχωριστά (single camera system) ή συγκέντρωσης των καναλιών καταγραφής σε κάθε φωτογραφία (Multi camera system). Ακολουθήθηκε η δεύτερη επιλογή και στο πρόγραμμα διακρίνονται $1885 / 5 = 377$ φωτογραφίες. Οι λήψεις της πλακέτας βαθμονόμησης αναγνωρίστηκαν από το λογισμικό το οποίο τις μετέφερε σε διαφορετικό φάκελο (βλ. σχ. 2.5.2.1.2).

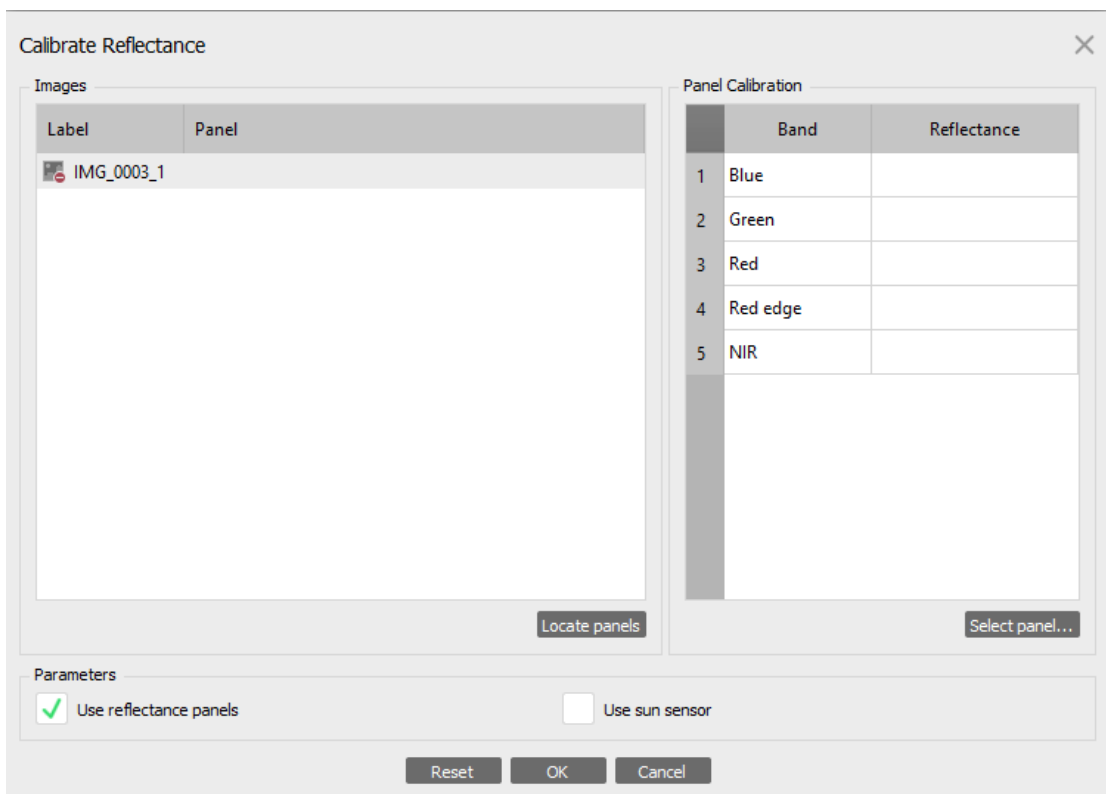


Σχήμα 2.5.2.1.1 Προσθήκη πολυφασματικών εικόνων στο Agisoft Metashape



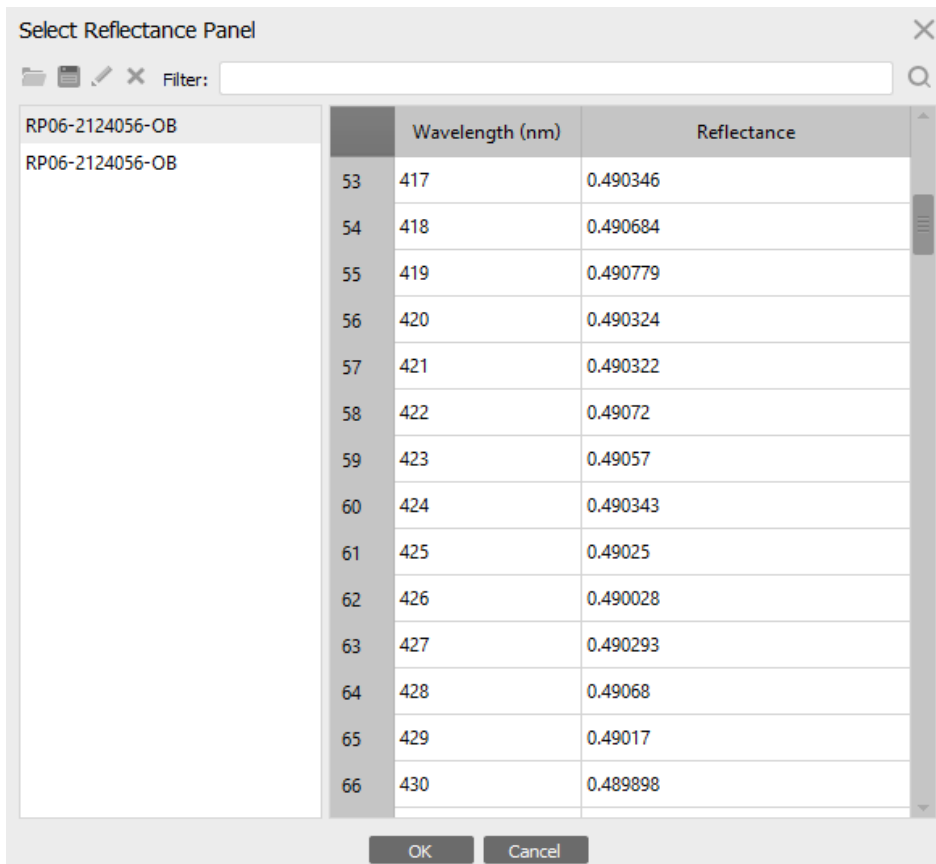
Σχήμα 2.5.2.1.2 Το λογισμικό μεταφέρει τις φωτογραφίες του πίνακα βαθμονόμησης σε διαφορετικό φάκελο

Από την εργαλειοθήκη tools με την εντολή calibrate reflectance ανοίγει το παράθυρο στο σχ2.5.2.1.3. Το λογισμικό αναγνωρίζει πως η εικόνα IMG_0003_1 εμπεριέχει πίνακα βαθμονόμησης αντανάκλασης αλλά δεν έχει αναγνωρίσει ακόμη τον ίδιο τον πίνακα , ούτε έχει εντοπίσει όλες τις φωτογραφίες του πίνακα βαθμονόμησης. Επίλεγοντας την εντολή locate panels, το λογισμικό εντόπισε τρεις επιπλέον φωτογραφίες με τον πίνακα (τις IMG_0000_1, IMG_0001_1 και IMG_0002_1), τις σάρωσε όλες και ανίχνευσε τον ηλεκτρονικό ραβδοκώδικα που φέρει ο πίνακας. Σε αναδυόμενο παράθυρο, το metashashape ζητάει την εισαγωγή με τις τιμές βαθμονόμησης του πίνακα και επιλέγοντας το πεδίο select panel και στο νέο παράθυρο το πλήκτρο load, εισάγεται στο λογισμικό το αρχείο .csv με την πληροφορία βαθμονόμησης για διάφορες φασματικές ζώνες, μεταξύ αυτών και των 5 αξιοποιημένων .

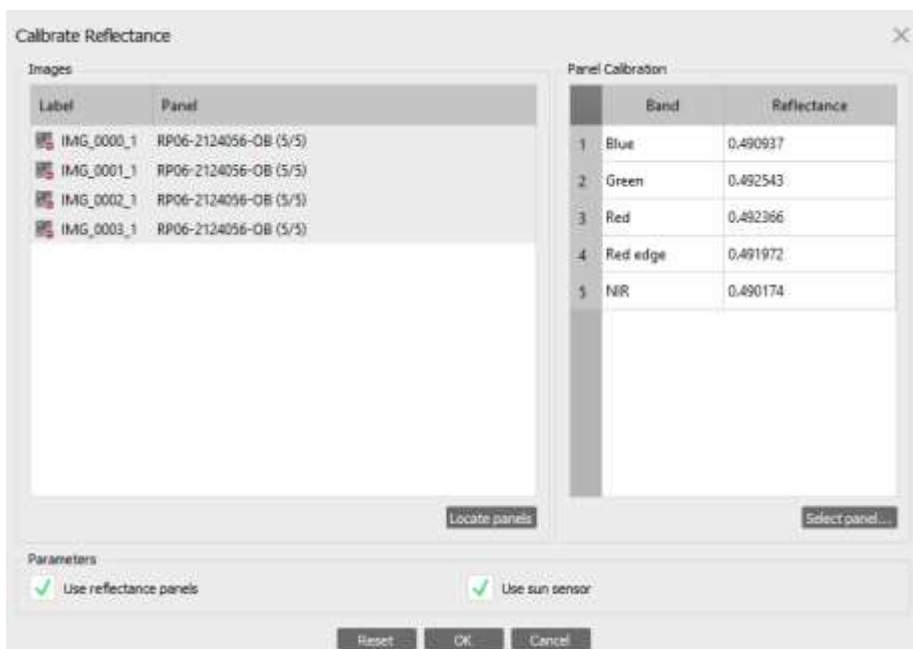


Σχήμα 2.5.2.1.3 Το παράθυρο της εντολής <<calibrate reflectance>>

Πριν την τελική βαθμονόμηση της αντανάκλασης επιλέγονται τα Use reflectance panels και Use sun sensor εντός του πλαισίου parameters για να χρησιμοποιηθούν οι πληροφορίες από τις φωτογραφίες του πίνακα και από τον ηλιακό αισθητήρα DLS 2. Η χρήση του τελευταίου συνιστάται σε περιπτώσεις έρευνας με άμεση και κάθετη έκθεση στον ήλιο όπως η παρούσα. Με την επιλογή OK, ακολούθησε η βαθμονόμηση (σχ. 2.5.2.1.5).

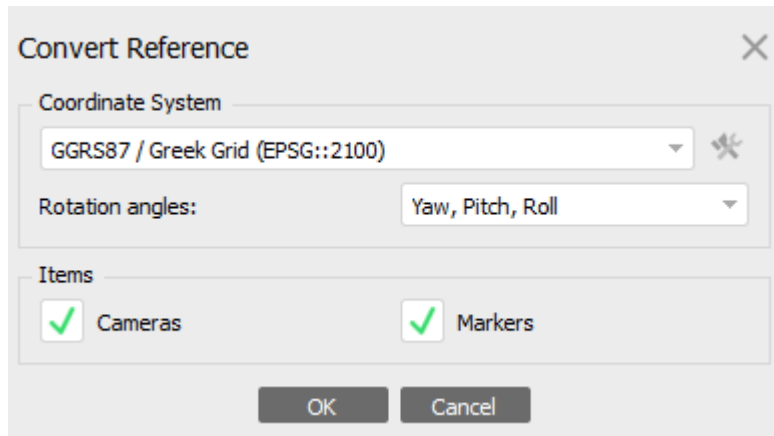


Σχήμα 2.5.2.1.4 Τιμές Βαθμονόμησης ανάκλασης



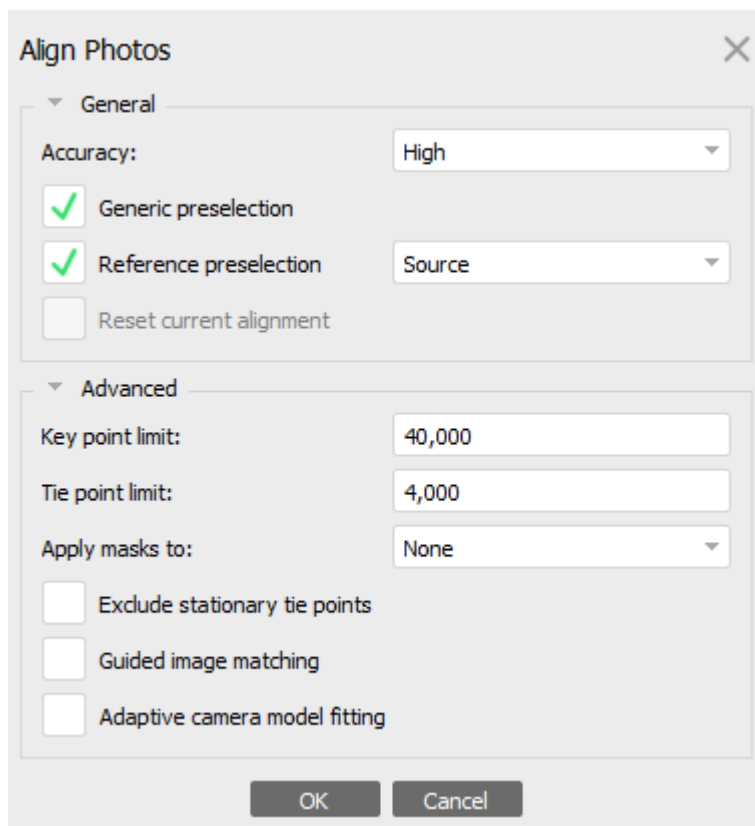
Σχήμα 2.5.2.1.5 Το παράθυρο της εντολής <<calibrate reflectance>> μετά την εισαγωγή των δεδομένων

Από την εργαλειοθήκη Reference και το πλήκτρο convert ,στο παράθυρο convert reference το προβολικό σύστημα μετατράπηκε από WGS84 σε ΕΓΣΑ87 (βλ. σχ. 2.5.2.6).



Σχήμα 2.5.2.1.6 Παράθυρο ρύθμισης παραμέτρων μετατροπής προβολικού συστήματος

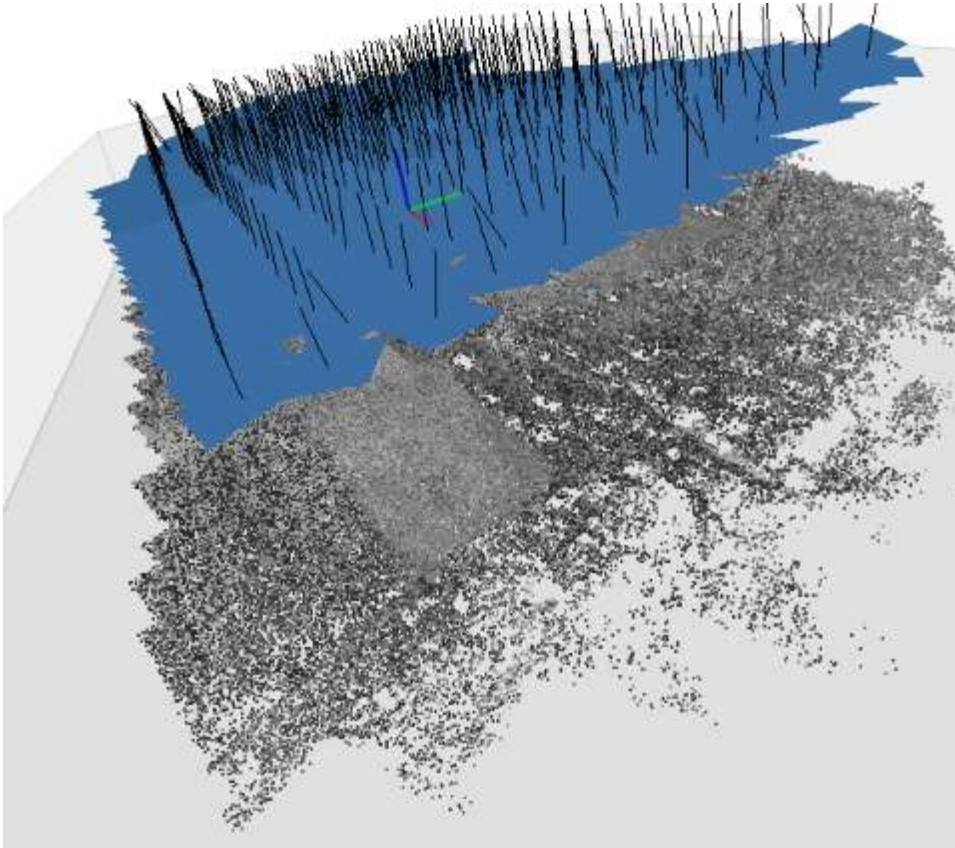
Με την εντολή align photos ξεκίνησε ο αεροτριγωνισμός των φωτογραφιών. Επιλέχθηκαν οι παράμετροι : Accuracy (ακρίβεια): υψηλή, key point limit: 40.000 και tie point limits: 4.000 όπως διακρίνονται στο σχήμα 2.5.2.1.7.



Σχήμα 2.5.2.1.7 Παράθυρο ρύθισης παραμέτρων εντολής Allign Photos

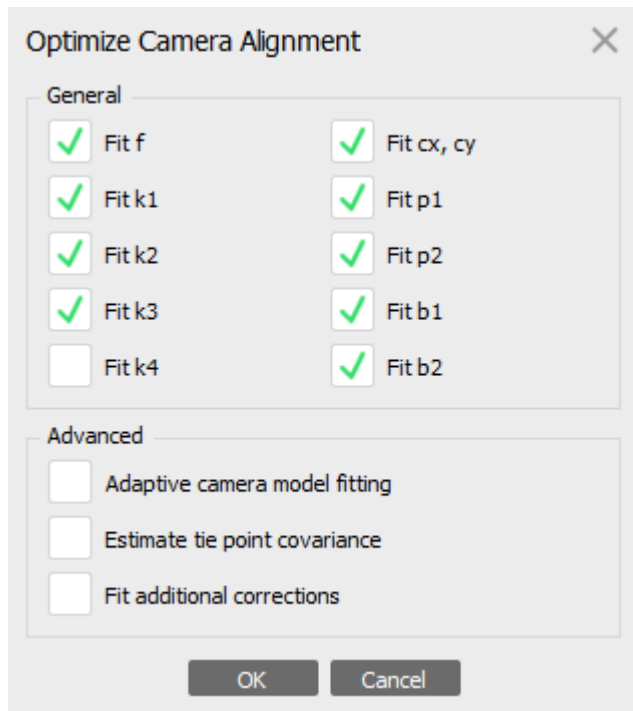
Η διαδικασία αεροτριγωνισμού ολοκληρώνεται με την εκτίμηση των θέσεων των φωτογραφιών (μπλε επιφάνειες στο σχ.2.5.2.1.8) και την εμφάνιση ενός νέφους σημείων

(tie points cloud). Πρόκειται για συγκεντρώσεις σημείων που αναγνωριστήκαν από το λογισμικό ως προβολές του ίδιου αντικειμένου μεταξύ τουλάχιστον 2 φωτογραφιών.



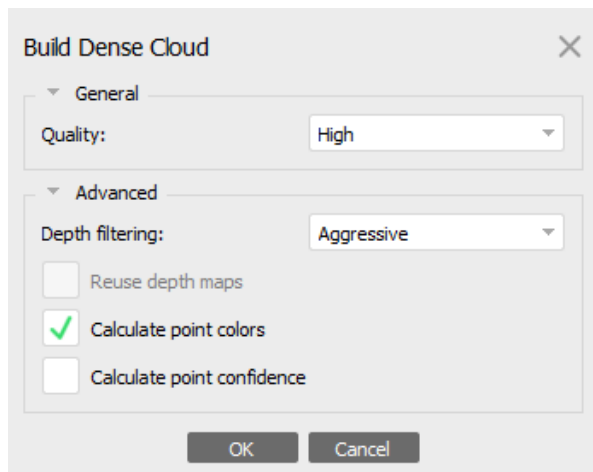
Σχήμα 2.5.2.1.8 Αποψη νέφους σημείων έπειτα από τον αεροτριγωνισμό των πολυφασματικών λήψεων. Ως μπλε παραλληλόγραμμες επιφάνειες εμφανίζονται οι λήψεις

Η ακρίβεια της στοίχισης των εικόνων βελτιώθηκε με το εργαλείο Optimize Camera Alignment από το μενού Tools και τις ακόλουθες ,προτεινόμενες από σχετικό οδηγό της Agisoft (2022), ρυθμίσεις (σχ.2.5.2.1.9).



Σχήμα 2.5.2.1.9 Παράμετροι διαδικασίας Βελτιστοποίησης της διάταξης των φωτογραφιών

Για την παραγωγή του dense cloud, αξιοποιήθηκε το εργαλείο build dense cloud από την εργαλειοθήκη workflow (βλ. σχ. 2.5.2.10). Ακολούθησε η παραγωγή 373 χαρτών βάθους και του dense cloud (βλ. σχ. 2.5.2.12) υψηλών προδιαγραφών και 16.300.582 σημείων με επιθετικό φιλτράρισμα.



Σχήμα 2.5.2.1.10 Παράμετροι Παραγωγής Dense Cloud

Από την ίδια εργαλειοθήκη, με το εργαλείο build DEM, παράχθηκε το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (βλ. σχ. 2.5.2.11, σχ. 2.5.2.1.13). Στο αναδυόμενο παράθυρο επιλέχθηκε το προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87 και το dense cloud ως πηγή για την κατασκευή του DSM. Στο πεδίο interpolation, με την προκαθορισμένη επιλογή (default) θα εμφανίζονταν μόνο οι έγγυρες υψομετρικές τιμές για περιοχές που εμφανίζονται τουλάχιστον σε μία στοιχισμένη φωτογραφία. Συνεπώς, για να μην δημιουργηθούν κενά στην εικόνα σε αντίθετη περίπτωση, επιλέχθηκε η επιλογή προέκτασης (extrapolated) .

Build DEM [X]

Projection

Type: Geographic Planar Cylindrical

GGRS87 / Greek Grid (EPSG::2100) [X]

Parameters

Source data: Dense cloud [v]

Quality: [v]

Interpolation: Extrapolated [v]

Point classes: All [Select...]

Advanced

Region

Setup boundaries: 377733.770 - 378625.432 X

[Reset] 4526495.270 - 4527164.466 Y

Resolution (m): 0.140146

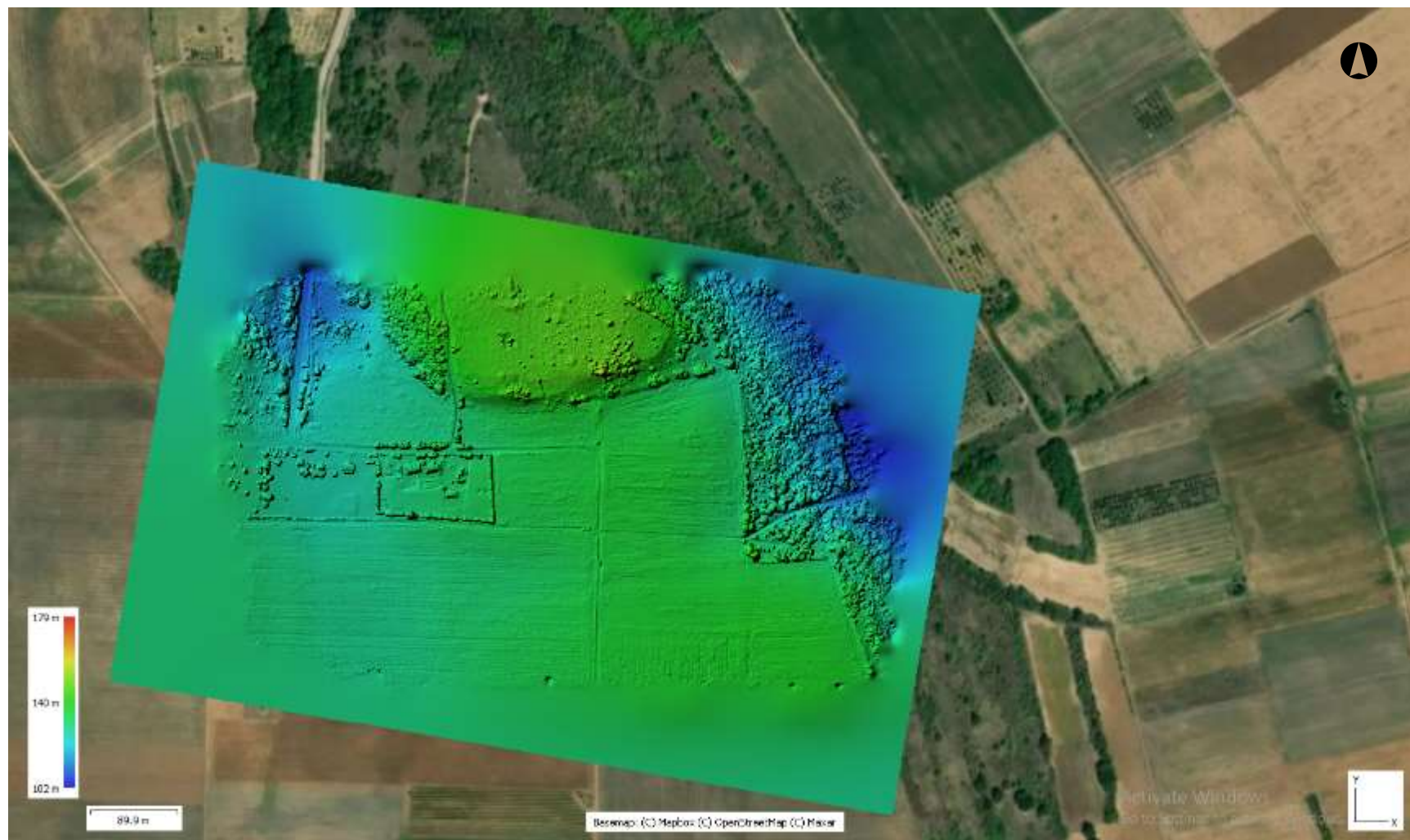
Total size (pix): 6363 x 4776

[OK] [Cancel]

Σχήμα 2.5.2.1.11 Παράμετροι Παραγωγής Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους



Σχήμα 2.5.2.1.12 Άποψη του Dense Cloud των πολυφασματικών λήψεων πάνω στην δορυφορική απεικόνιση της περιοχής. Στιγμιότυπο οθόνης από το Agisoft Metashape



Σχήμα 2.5.2.1.13 DSM από τις πολυφασματικές λήψεις

Από την ίδια εργαλειοθήκη και την εντολή build orthomosaic, άνοιξε το παράθυρο προγραμματισμού των παραμέτρων παραγωγής ορθοφωτομωσαικού (βλ. σχ. 2.5.2.14). Ως βάση επιλέχθηκε το DSM. Στο πεδίο blending mode επιλέχθηκε η επιλογή mosaic για ένα αποτέλεσμα πιο αναγνώσιμο από εκείνο της επιλογής disabled αλλά και πιο αληθοφάνες από εκείνο της επιλογής average. Με το πλήκτρο estimate, υπολογίστηκε το εκτιμώμενο μέγεθος ψηφίδας. Δημιουργήθηκε ορθοφωτομωσαικό με μέγεθος ψηφίδας 7,01 εκ/πίξελ (βλ. σχ. 2.5.2.16). Στην εικόνα του σχήματος 2.5.2.1.15 έχει απομονωθεί και εμφανίζεται η καταγραφή της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας για κάθε εικονοστοιχείο

Build Orthomosaic

Projection

Type: Geographic Planar Cylindrical

GGRS87 / Greek Grid (EPSG::2100)

Parameters

Surface: DEM

Blending mode: Mosaic (default)

Refine seamlines

Enable hole filling

Enable ghosting filter

Enable back-face culling

Pixel size (m): 0.0700578 X

Metres... 0.0700578 Y

Max. dimension (pix): 4096

Region

Setup boundaries: 377787.994 - 378594.640 X

Estimate 4526590.549 - 4527128.592 Y

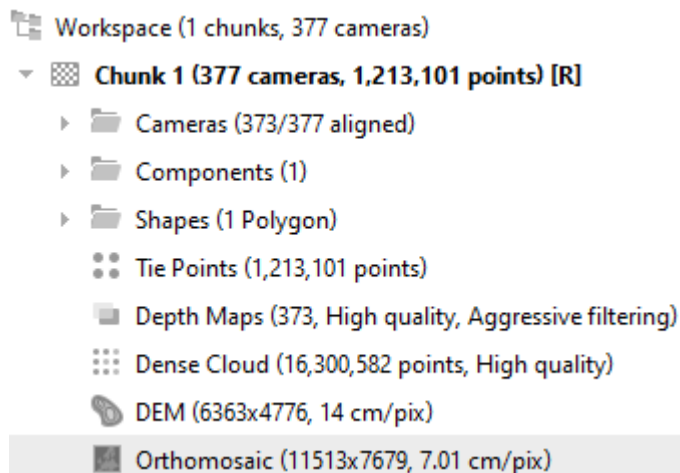
Total size (pix): 11514 x 7679

OK Cancel

Σχήμα 2.5.2.1.14 Παράμετροι Παραγωγής ορθοφωτομωσαικού MS

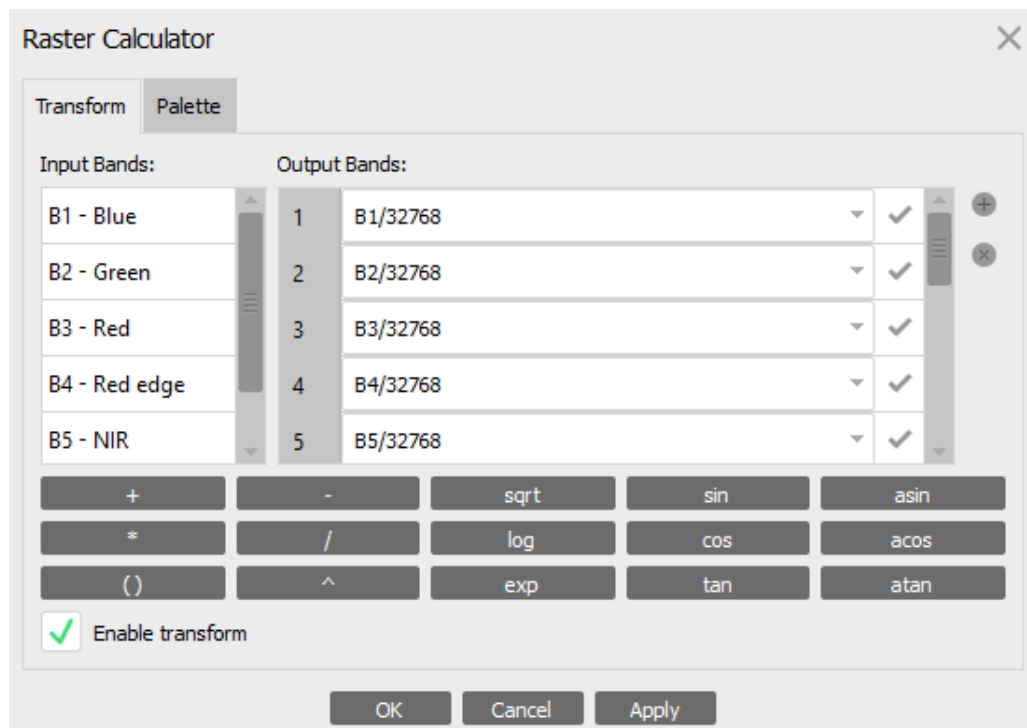


Σχήμα 2.5.2.1.15 Ορθοφωτομωσαϊκό εγγύς υπέρυθρης (NIR) καταγραφής πολυφασματικών λήψεων



Σχήμα 2.5.2.1.16 Ποιότητες προϊόντων επεξεργασίας πολυφασματικών λήψεων

Για τον μετασχηματισμό της εικόνας μεταξύ των διαύλων καταγραφής, επιλέχθηκε το πλήκτρο set raster transform από την εργαλειοθήκη tools και άνοιξε το παράθυρο Raster Calculator (βλ. σχ. 2.5.2.17). Στο υποπαράθυρο input bands εμφανίζονται οι 5 δίαυλοι καταγραφής ενώ στο διπλανο υποπαράθυρο output bands παρέχεται η δυνατότητα επίλυσης σχέσεων για παραγωγή νέων σύνθετων απεικονίσεων όπως τα ορθοφωτομωσαϊκά δεικτών βλάστησης. Για την εξαγωγή χαρτών με τις καταγραφές αποκλειστικά κάθε ενός από τα 5 κανάλια (BLUE, GREEN, RED, RedEdge, Near- Infrared) οι τιμές κανονικοποιούνται έτσι ώστε να κυμαίνονται στο εύρος από 0 έως 1. Αυτό γίνεται με διαίρεση της τιμής των καταγραφών κάθε καναλιού με τον αριθμό 32768, ο οποίος αντιστοιχεί σε ανακλασιμότητα 100% (βλ. σχ.2.5.2.1.17).



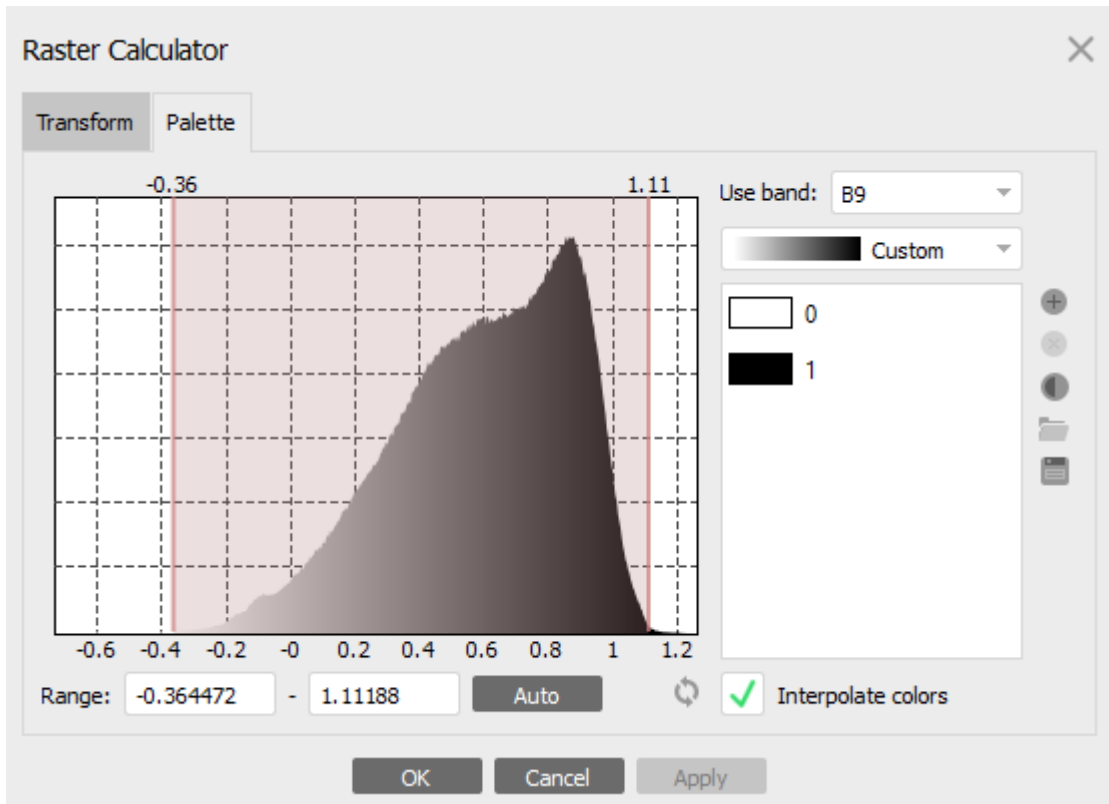
Σχήμα 2.5.2.1.17 Ποιότητες προϊόντων επεξεργασίας πολυφασματικών λήψεων

Για την παραγωγή εικόνων από δείκτες βλάστησης, στο πεδίο output bands εισήχθηκε ο μαθηματικός τύπος του κάθε δείκτη (βλ. σχ. 2.5.2.18). Εγγράφησαν 13 τύποι δεικτών βλάστησης και το πράσινο σύμβολο ν στα δεξιά δηλώνει την έγκριση των από το λογισμικό ως έγκυρους.

Output Bands:		
6	$(B5-B3) / (B5+B3)$	✓
7	$(B5 - B2) / (B5 + B2)$	✓
8	$(B4-B3) / (B4+B3)$	✓
9	$1.5 * (B5 - B3) / (B5 + B3 + 0.5)$	✓
10	$1.5 * (B5 - B2) / (B5 + B2 + 0.5)$	✓
11	$B5 / B3$	✓
12	$((B5 / B3) - 1) / \text{sqrt}((B5 / B3) - 1)$	✓
13	$(B5 / B2) - 1$	✓
14	$B5/B2$	✓
15	$(B5-B4) / (B5+B4)$	✓
16	$(B2-B3)/(B2+B3)$	✓
17	$(B5 * B5 - B3) / (B5 * B5 + B3)$	✓
18	$(B5-B3)/(B5+B3+0.16)$	✓

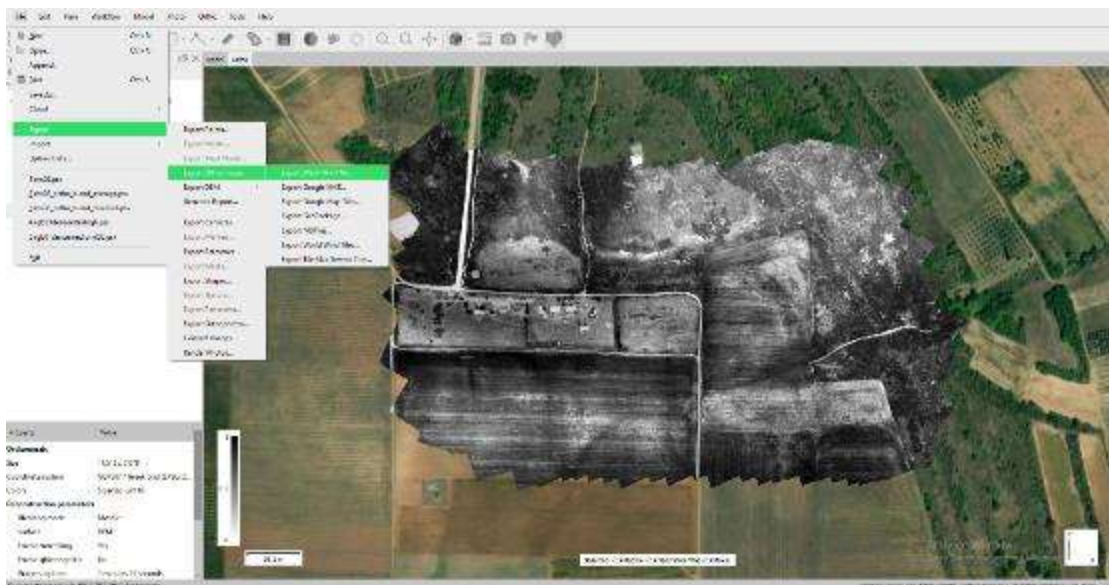
Σχήμα 2.5.2.1.18 Οι μαθηματικοί τύποι των δεικτών βλάστησης που αξιοποιήθηκαν εντός του πεδίου Output Bands

Στο υποπαράθυρο palette, επιλέχθηκε ο επιθυμητός τύπος εξόδου για την παραγωγή της αντίστοιχης εικόνας (βλ. σχ. 2.5.2.19). Επίσης επιλέχθηκε η επιθυμητή χρωματική παλέτα. Οι τιμές στον οριζόντιο άξονα του ιστογράμματος δηλώνουν τις απόλυτες τιμές για τον επιλεγμένο τύπο εξόδου. Οι επιλεγμένες στην παλέτα τιμές χρωμάτων κυμαίνονται με αποχρώσεις στο επιλεγμένο εύρος από το ελάχιστο με τιμή 0, αντίστοιχο χρώμα έως το μέγιστο με την τιμή 1, αντίστοιχο χρώμα.



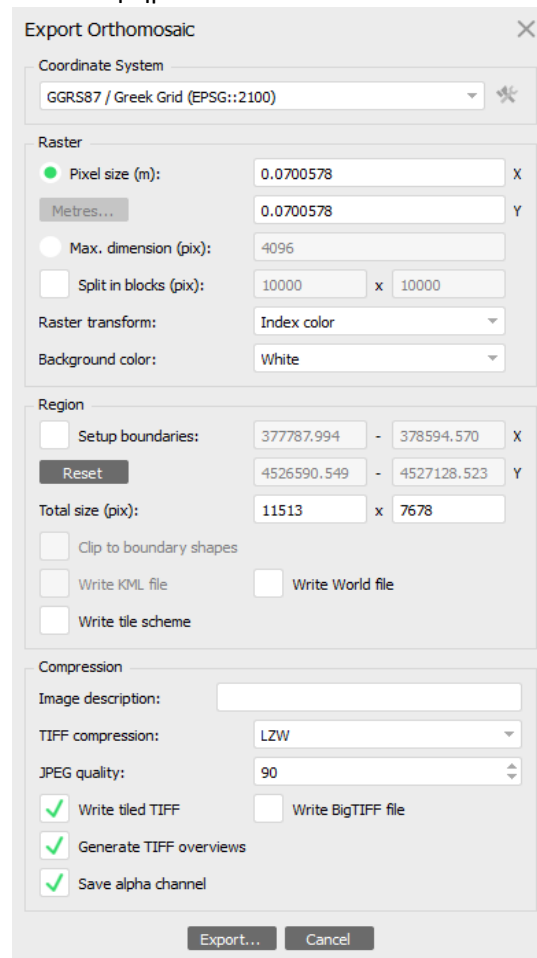
Σχήμα 2.5.2.1.19 Επιλογή μαθηματικού τύπου εξόδου και παλέτας χρωματικής κατανομής τιμών ιστογράμματος στο υποπαράθυρο palette εντός του raster calculator

Για την εξαγωγή τέλος των 5 χαρτών από τις καθαυτές καταγραφές κάθε φασματικής ζώνης και των 13 απεικονίσεων των δεικτών βλάστησης, επιλέχθηκε η εργαλειοθήκη file και ακολούθως οι επιλογές: Export, Export Orthomosaic, Export JPEG/TIFF/PNG... (βλ. σχ. 2.5.2.20).

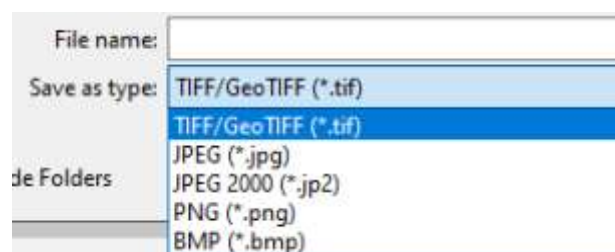


Σχήμα 2.5.2.1.20 Ακολουθία εντολών για την εξαγωγή του ορθομωσαϊκού

Στο αναδυόμενο παράθυρο επιλέχθηκε ως προβολικό σύστημα το ΕΓΣΑ'87 (βλ. σχ. 2.5.2.21). Για την εξαγωγή της μορφής της εικόνας σύμφωνα με τις επιλεγμένες στο παράθυρο raster calculator, μαθηματική σχέση και χρωματική παλέτα, εντός του πεδίου raster transform επιλέχθηκε το Index Color. Επιλέγοντας το πλήκτρο export, στον επόμενο διάλογο επιλέχθηκε ο τόπος αποθήκευσης και η μορφή του αρχείου ως αρχείο TIFF που παρέχει υψηλή ανάλυση (βλ. σχ. 2.5.2.22). Η διαδικασία εξαγωγής επαναλήφθηκε, για κάθε επιπλέον δείκτη και ζώνη καταγραφής, παρέχοντας εν τέλει 13 ορθοφωτομωσικά δεικτών βλάστησης και ένα ορθοφωτομωσικό για κάθε ζώνη καταγραφής του πολυφασματικού αισθητήρα.



Σχήμα 2.5.2.1.21 Επιλογή παραμέτρων εξαγωγής ορθοφωτομωσικού MS



Σχήμα 2.5.2.1.22 Επιλογή τόπου αποθήκευσης και τύπου αρχείου εξαγωγής προϊόντων MS

2.5.2.2. Ακρίβειες τελικών προϊόντων

Προϊόν	Διαστάσεις	Ανάλυση	Κατηγορία Ποιότητας Παραγωγής
Κοινά Σημεία – Tie Points		1.213.101 Σημεία	Υψηλή (high)
Dense Cloud		16.300.582 Σημεία	Υψηλή (high)
DSM	6.363 x 4.776	14 εκ / πίξελ	Υψηλή (high)
Ορθομωσαϊκό	11.513 x 7.679	7.01 εκ / πίξελ	Υψηλή (high)

Πίνακας 2.5.2.2.1 Πίνακας ακριβειών τελικών προϊόντων πολυφασματικών εικόνων

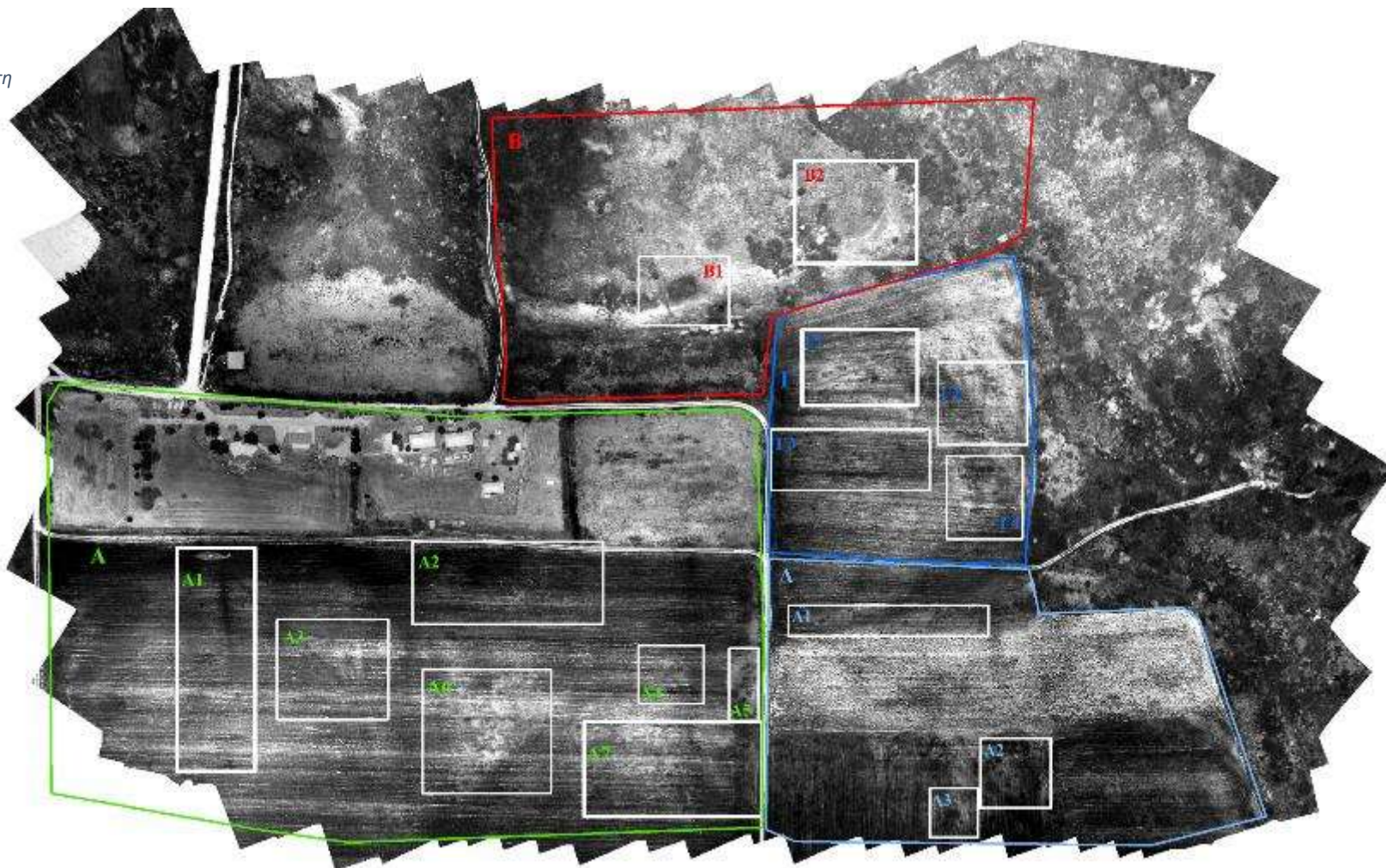
Οι τελικές ακρίβειες των προϊόντων με το πέρας των διεργασιών εμφανίζονται στον πίνακα 2.5.2.2.1.

3. Αποτελέσματα

3.1. Ίχνη πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος

Για την οργάνωση της έρευνας ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, διακρίθηκαν 4 τοπογραφικοί τομείς στο ορθοφωτομωσαϊκό όπως φαίνονται στο σχήμα 3.1.1. Τομέας Α, θεωρήθηκε το ενιαίο αγροτεμάχιο νοτίως του επισκέψιμου αρχαιολογικού χώρου και του χωματόδρομου. Τομέας Β θεωρήθηκε η τοπογραφική τράπεζα – ακρόπολη και το αγροτεμάχιο νοτίως αυτής και ανατολικά του αρχαιολογικού χώρου ως τομέας Γ. Τομέας Δ ονομάστηκε η διακρινόμενη από χωματοδρόμους περιοχή γωνιακή μεταξύ των Α και Γ.

Σχήμα 3.1.1
Ορθοφωτομωσαϊκό δείκτη
NDVI με διακρίσεις
τομέων & περιοχών



3.2. Αξιολόγηση εικόνων δεικτών

Κάθε περιοχή αξιολογήθηκε στο πόσο ευδιάκριτα εμφανίζονται τα ίχνη οι, ανά δείκτη βλάστησης, διάφορες εκδοχές του ορθοφωτομωσικού. Ζητούμενα κατά την διάκριση ήταν το αν εμφανίζονται ίχνη, αν διακρίνονται εύκολα τα όρια αυτών ιχνών με τον περιβάλλοντα χώρο, κατά πόσο οξείες εμφανίζονται οι απολήξεις, η απουσία θορύβου σε σημεία ενδιαφέροντος κ.α.

3.2.1. Τομέας Α

3.2.1.1. Περιοχή Α1

Στα ορθοφωτομωσικά της περιοχής εντοπίζονται ανωμαλίες που οφείλονται σε υγιή βλάστηση. Πρόκειται για ένα γραμμικό ίχνος και δύο συστάδες σημειακών ανωμαλιών σχημάτων που ομοιάζουν σε παραλληλόγραμμα (βλ. σχ. 3.2.1.1.1). Οι διαστάσεις της γραμμικής ανωμαλίας είναι ~ 57μ μήκος και 1-3 μ πλάτος. Στα σημειακά ίχνη οι διαστάσεις ποικίλουν και εμφανίζονται στους πίνακες 3.2.1.1.2 και 3.2.1.1.3.

Στην εικόνα με τον δείκτη SR, η γραμμική ανωμαλία εμφανίζεται ευδιάκριτα σε μεγάλο μήκος καθώς και τα πλευρικά της όρια. Η εικόνα του δείκτη MSR εισάγει θόρυβο αλλά στην εμφάνιση ιχνών ομοιάζει πολύ σε εκείνη του SR σε αυτήν και στις υπόλοιπες επιλεγμένες περιοχές όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.1.1.2. Στον δείκτη NDRE, ο δρόμος φαίνεται αρκετά έντονα με οξείες απολήξεις στα πλευρικά γραμμικά όρια. Οι δείκτες SAVI, OSAVI και NDVI σε αυτήν και τις υπόλοιπες περιοχές εμφανίζουν σχεδόν πανομοιότυπες το περιβάλλον και τις ανωμαλίες.

	πλάτος	μήκος
A	0.98	2.54
B	2.08	2.3
Γ	1.62	1.85
Δ	2.3	2.64
E	2.92	4.17
Z	2	2.69
Μ.Ο.	1.983333	2.698333

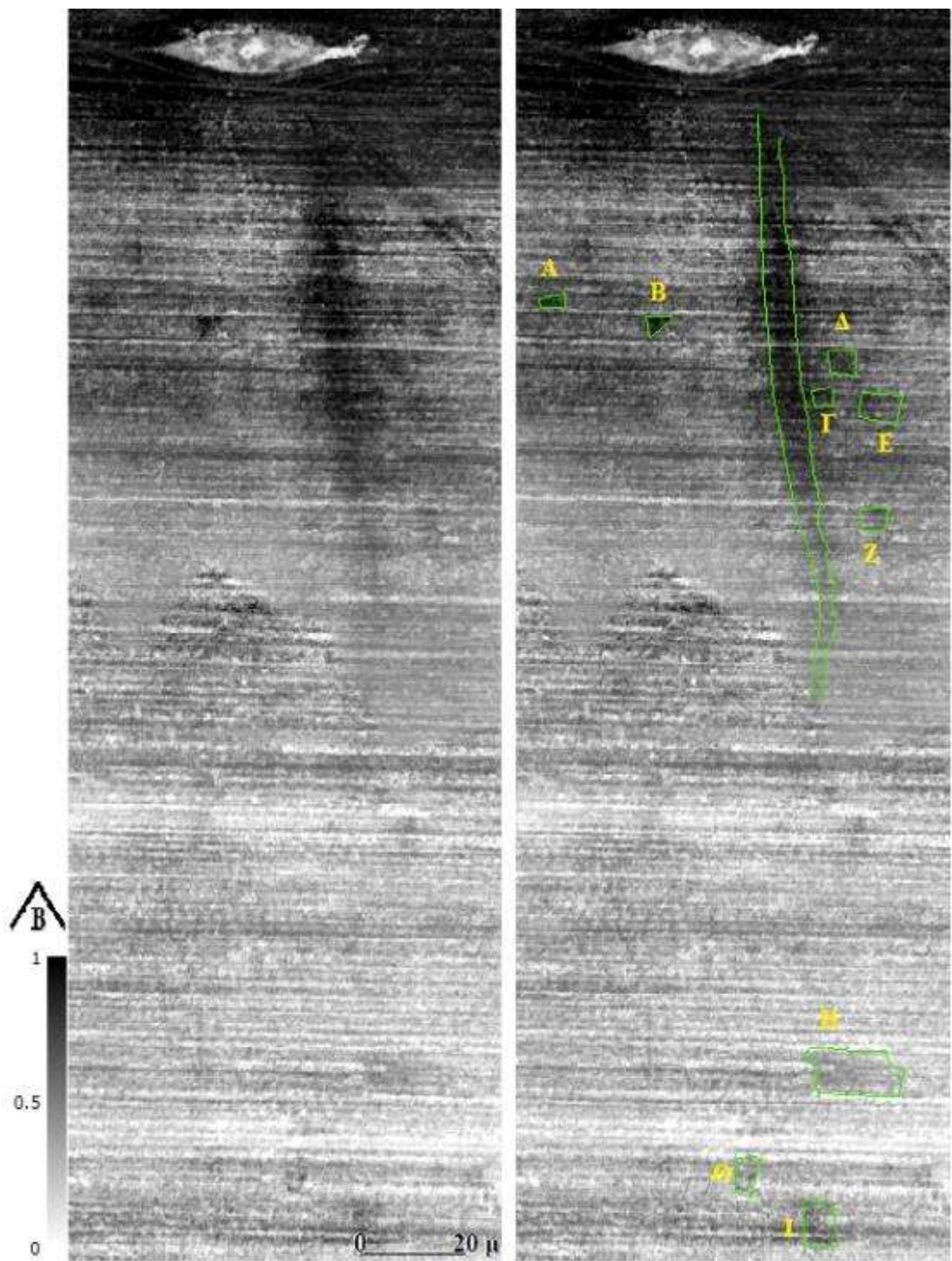
Πίνακας Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο.3.2.1.1.1 Προσεγγιστικές

	πλάτος	μήκος
H	8	4.45
Θ	3.24	2.18
I	4.36	2.87

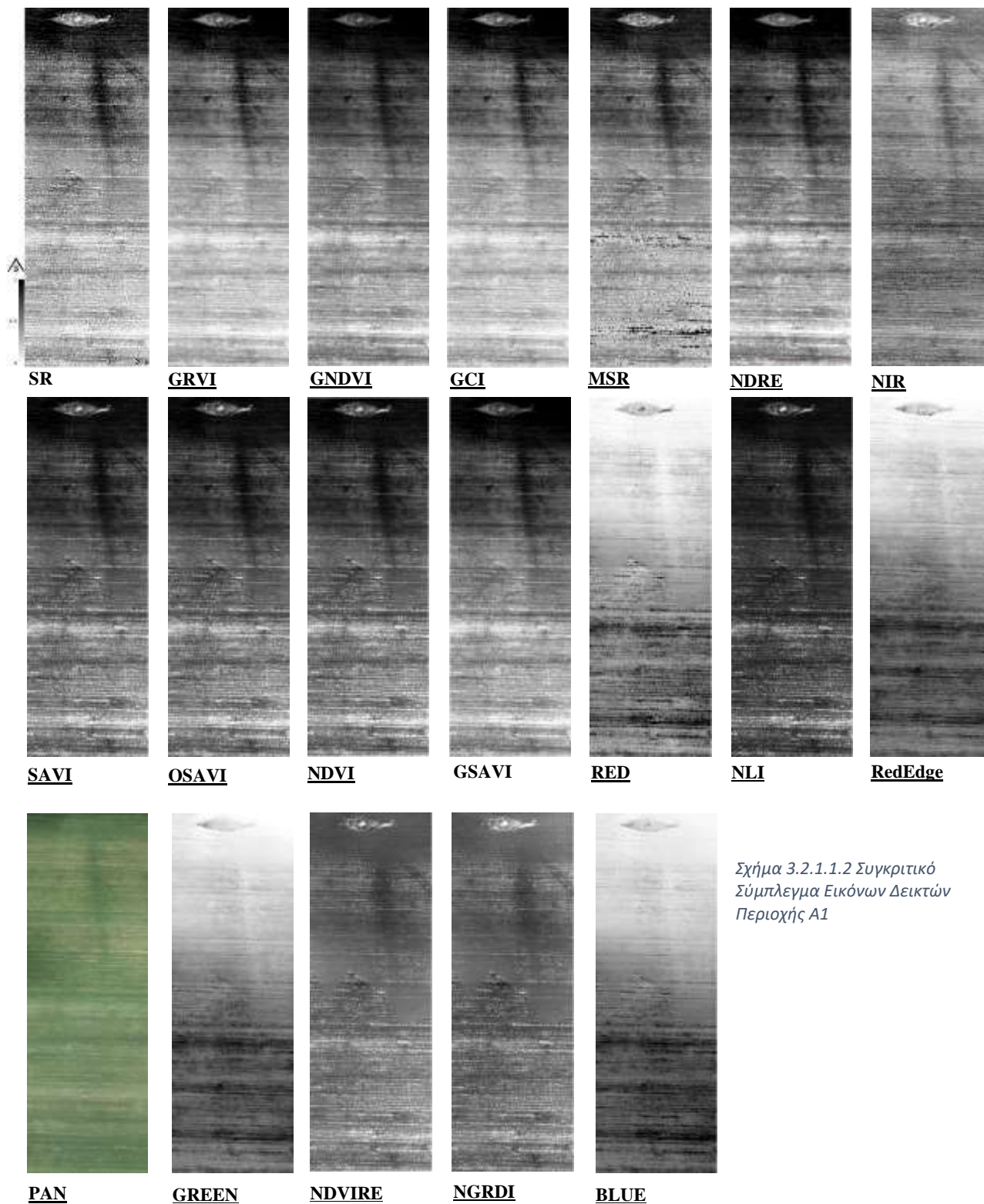
Πίνακας 3.2.1.1.2 Προσεγγιστικές διαστάσεις σημειακών ιχνών περιοχής Α1

Περιοχή Α1	
Ορθοφωτομωσικό	Βαθμολογία
SR, GNDVI	5
MSR, NDVI, SAVI OSAVI, GSAVI, NDRE	4
GRVI, GCI	3
NGRDI, NIR, NLI, NDVIRE	2
RED, RedEdge, PAN	1
GREEN, BLUE	0

Πίνακας 3.2.1.1.3 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσικού στην απόδοση ιχνών της περιοχής Α1

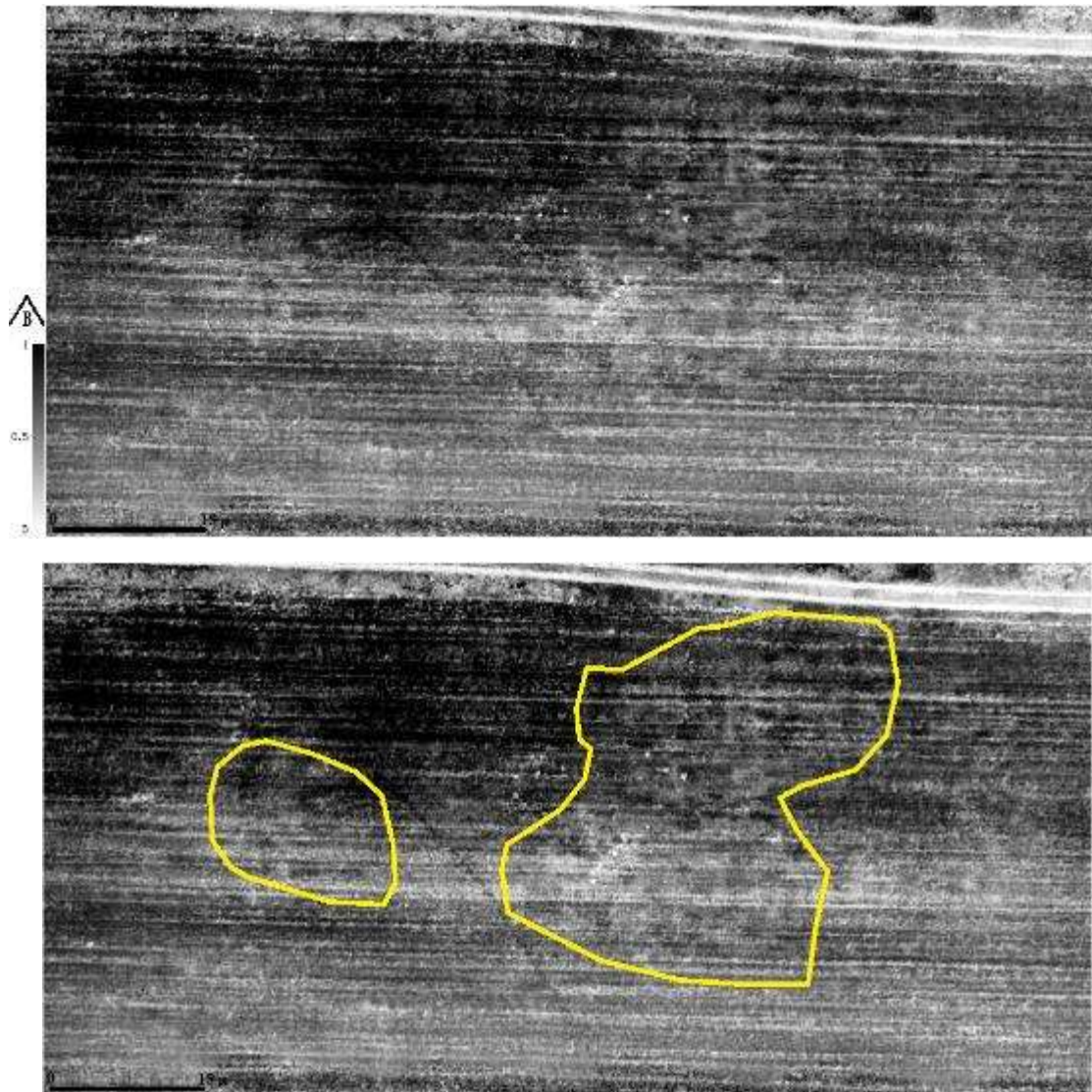


Σχήμα 3.2.1.1.1 Αποτύπωση περιγραμμάτων ιχνών περιοχής A1 με τον δείκτη SR



Σχήμα 3.2.1.1.2 Συγκριτικό Σύμπλεγμα Εικόνων Δεικτών Περιοχής Α1

3.2.1.2. Περιοχή A2



Σχήμα 3.2.1.2.1 Εικόνα δείκτη SR περιοχής A2 (πάνω) και ανωμαλίες στην ίδια εικόνα (κάτω)

Στην περιοχή A2, διακρίνονται σημειακές ανωμαλίες αλλά με ασθενές σήμα. Καλύτερη στην απόδοση των συγκεκριμένων ανωμαλιών κρίθηκε η εικόνα του δείκτη SR (σχ. 3.2.1.2.1). Οι υπόλοιπες εκδοχές δεν παρατίθενται λόγω ασθενούς καταγραφής των ανωμαλιών.

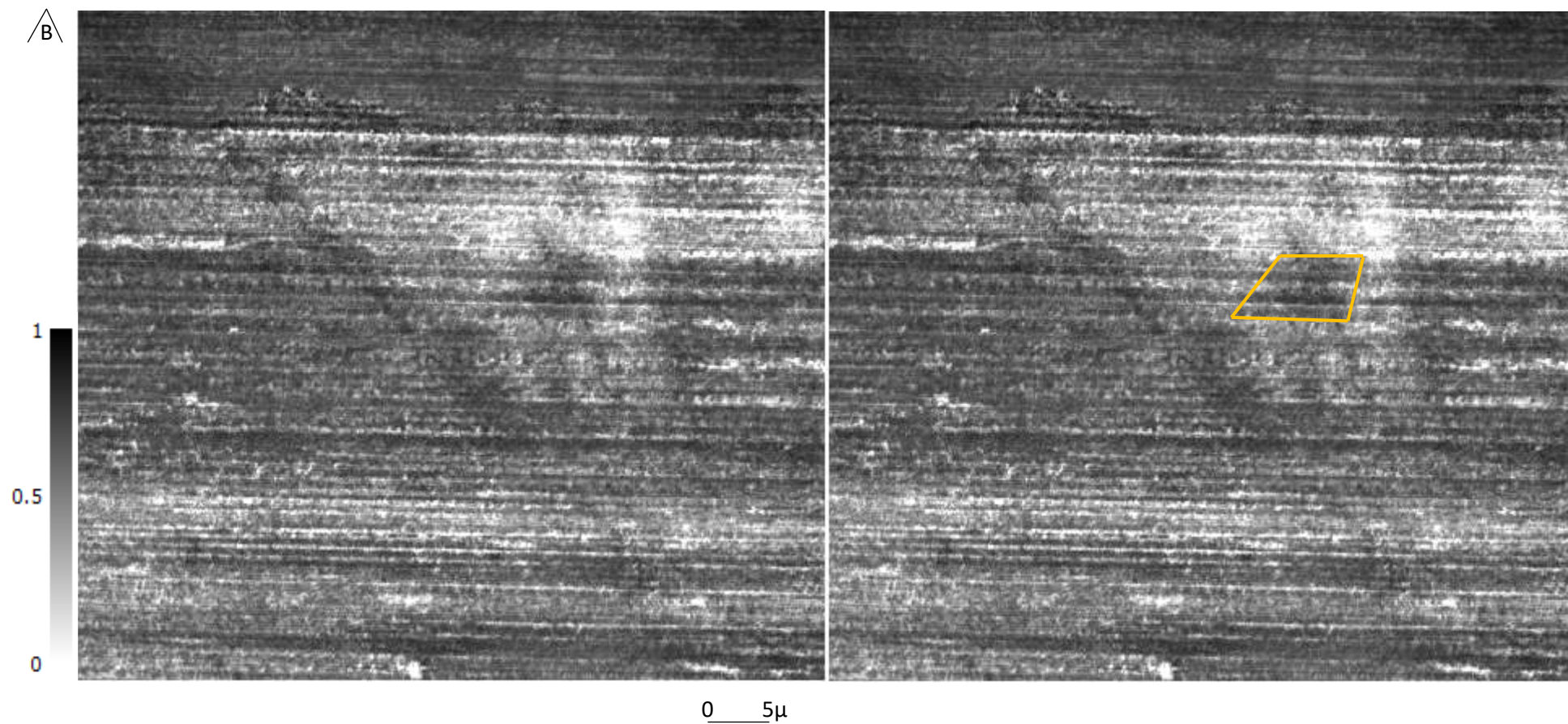
3.2.1.3. Περιοχή A3

Στην περιοχή παρατηρείται σημειακή ανωμαλία τραπεζοειδούς σχήματος σε απόσταση 5 μέτρων από τον αγωγό υδροδότησης (βλ. σχ. 3.2.1.3.1). Πρόκειται για θετικό ίχνος βλάστησης διαστάσεων περίπου 5,3 x 8 μ.

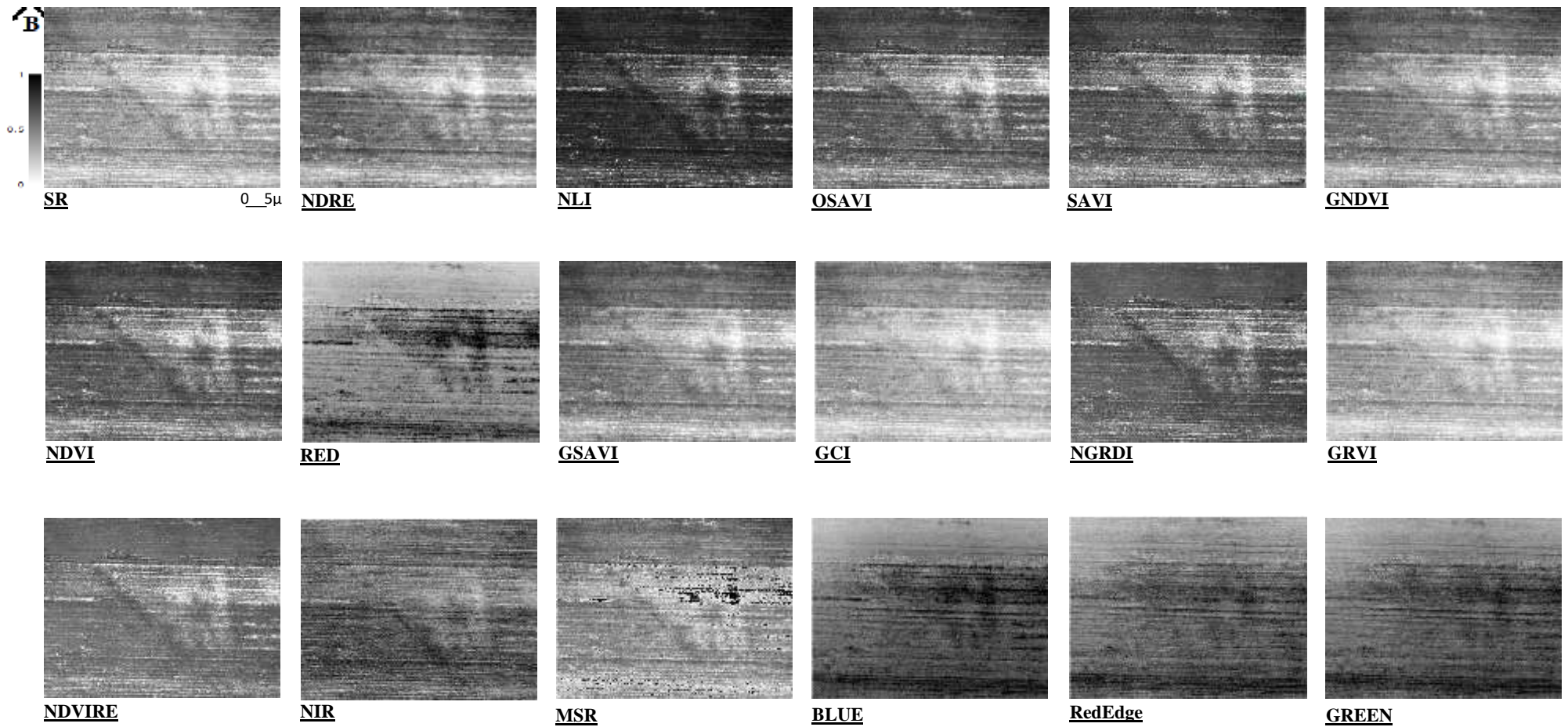
Έπειτα από οπτική αξιολόγηση των τελικών εικόνων στο σχήμα 3.2.1.3.2, οι δείκτες NDRE, NDVI, OSAVI και SAVI θεωρήθηκαν οι αποδοτικότεροι στην εμφάνιση των ιχνών βλάστησης όπως φαίνεται στον πίνακα 3.2.1.3.1.

Περιοχή A3	
Ορθοφωτομωσαϊκό	Βαθμολογία
NDRE, NDVI, OSAVI, SAVI	4
GNDVI, GSAVI, SR, GRVI, GCI, NDVIRE, NGRDI, NLI	3
RED, BLUE, NIR, MSR	2
RedEdge, GREEN	1
PAN	0

Πίνακας 3.2.1.3.1 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση ιχνών της περιοχής A3



Σχήμα 3.2.1.3.1: Αριστερά: η εικόνα του δείκτη NDVI στην περιοχή A3, Δεξιά :τα περιγράμματα ιχών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σχεδιασμένα στην ίδια εικόνα



Σχήμα 3.2.1.3.2. Συγκριτικό Σύμπλεγμα Εικόνων Δεικτών Περιοχής A3



PAN

3.2.1.4. Περιοχή A4

Πρόκειται για συστάδα 7 σημειακών παραλληλογράμμων ιχνών, υγιέστερης συγκριτικά με την πέριξ, βλάστησης. Σημειώνουν μέσο όρο διαστάσεων 1,76 x 2,245 μ (βλ. πιν. 3.2.1.4.1). Χαμηλά στην εικόνα διακρίνονται δύο ακαθόριστης έκτασης περιοχές ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος (βλ. σχ. 3.2.4.1).

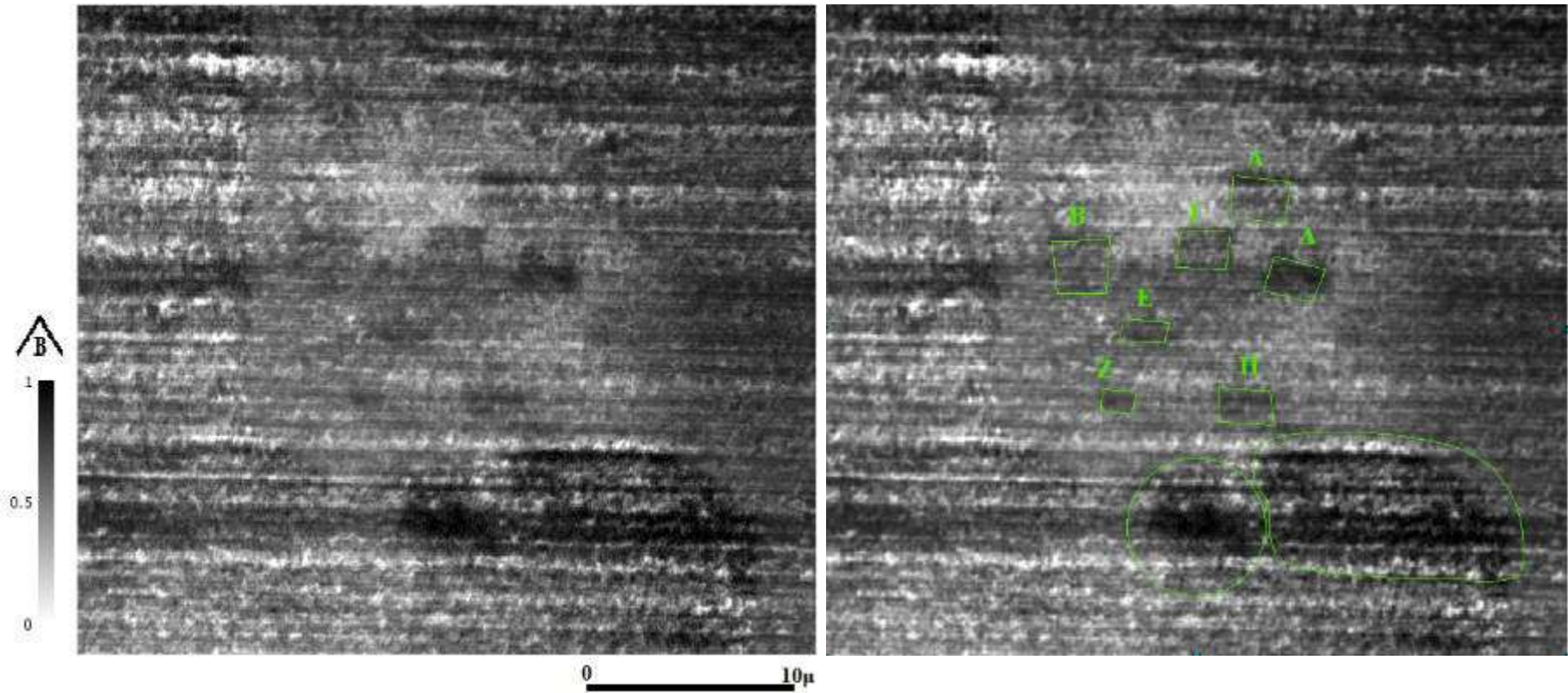
Έπειτα από οπτική αξιολόγηση του συμπλέγματος των τελικών εικόνων στο σχήμα 3.2.1.4.2, οι εικόνες των δεικτών GNDVI, SR, GCI και MSR θεωρήθηκαν αποδοτικότεροι στην εμφάνιση των ιχνών βλάστησης όπως φαίνεται στην κατάταξη του πίνακα 3.2.1.4.2. Στην εικόνα της απομονωμένης καταγραφής ακτινοβολίας της φασματικής ζώνης ερυθρής ακμής τα ίχνη θεωρήθηκαν ως μη διακρινόμενα.

	πλάτος	μήκος
A	2	2,65
B	2,4	2,5
Γ	2,5	1,8
Δ	2,43	1,7
E	2,23	1
Z	1,65	1
H	2,5	1,65
M.O.	2.245	1.76

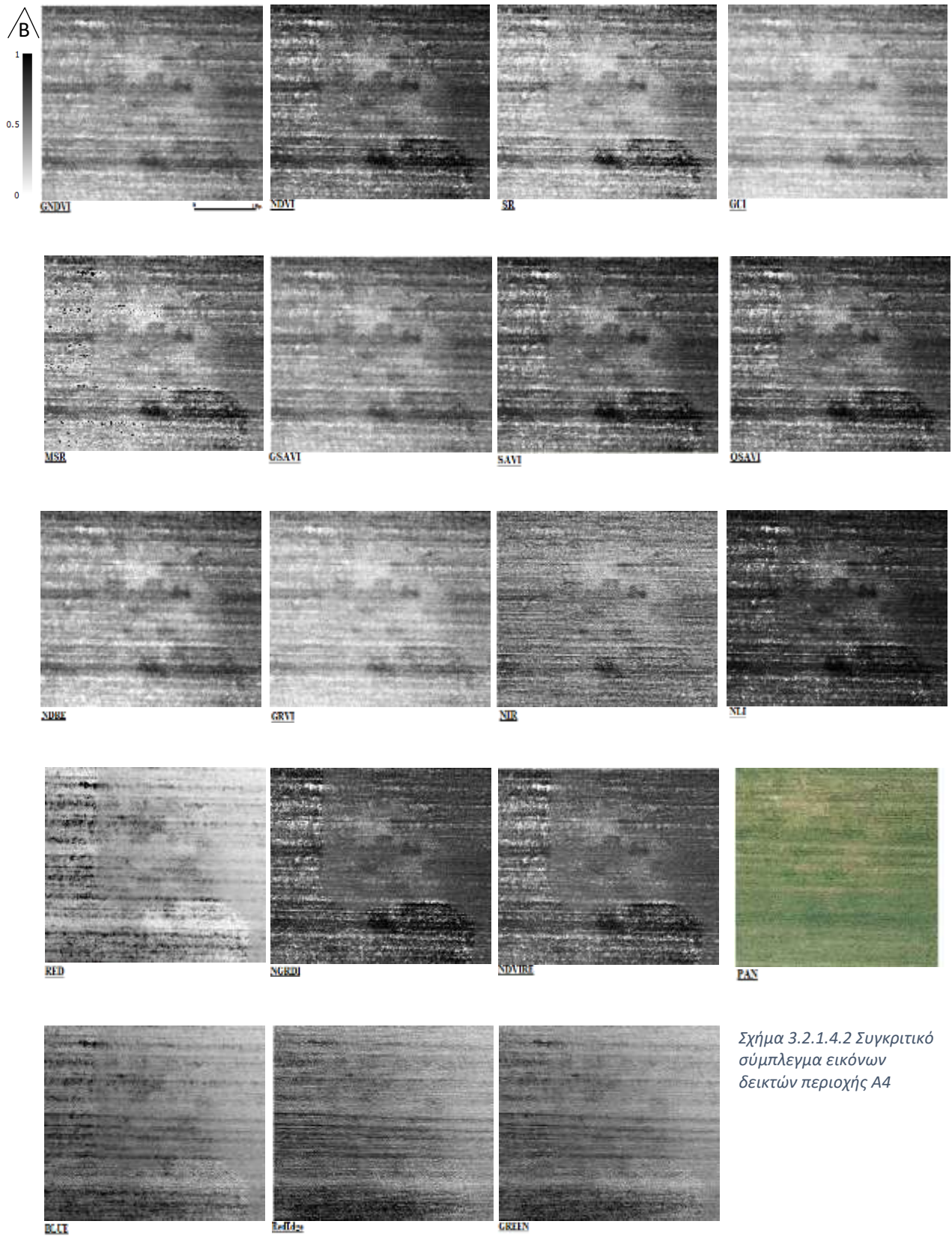
Πίνακας 3.2.1.4.1 Προσεγγιστικές διαστάσεις σημειακών ιχνών περιοχής A4

Περιοχή A4	
Ορθοφωτομωσαϊκό	Βαθμολογία
GNDVI, SR, GCI, MSR	5
GSAVI, NDVI, SAVI, OSAVI	4
NDRE, GRVI, NIR	3
NLI, RED	2
NGRDI, NDVIRE, PAN	1
BLUE, RedEdge, GREEN	0

Πίνακας 3.2.1.4.2 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση ιχνών της περιοχής A4



Σχήμα 3.2.1.4.1: Αριστερά: η εικόνα του δείκτη NDV στην περιοχή A4, Δεξιά :τα περιγράμματα ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σχεδιασμένα στην ίδια εικόνα



Σχήμα 3.2.1.4.2 Συγκριτικό
 σύμπλεγμα εικόνων
 δεικτών περιοχής A4

3.2.1.5. Περιοχή A5

Στην περιοχή παρατηρούνται ευδιάκριτα 9 σημειακά, ίχνη διαστάσεων μέσου όρου διαστάσεων 1,78 x 2,35 μέτρων (βλ. πιν. 3.2.1.5.1) παρά της ανατολικής πλευράς του B-N χωματοδρομού. Επτά εξ αυτών, δημιουργούν ομόκεντρο σχηματισμό σε απόσταση 1-2 μέτρων μεταξύ των. Πέριξ του σχηματισμού παρατηρείται αλλοιωμένο χώμα και βλάστηση σε ακτίνα 6μ.

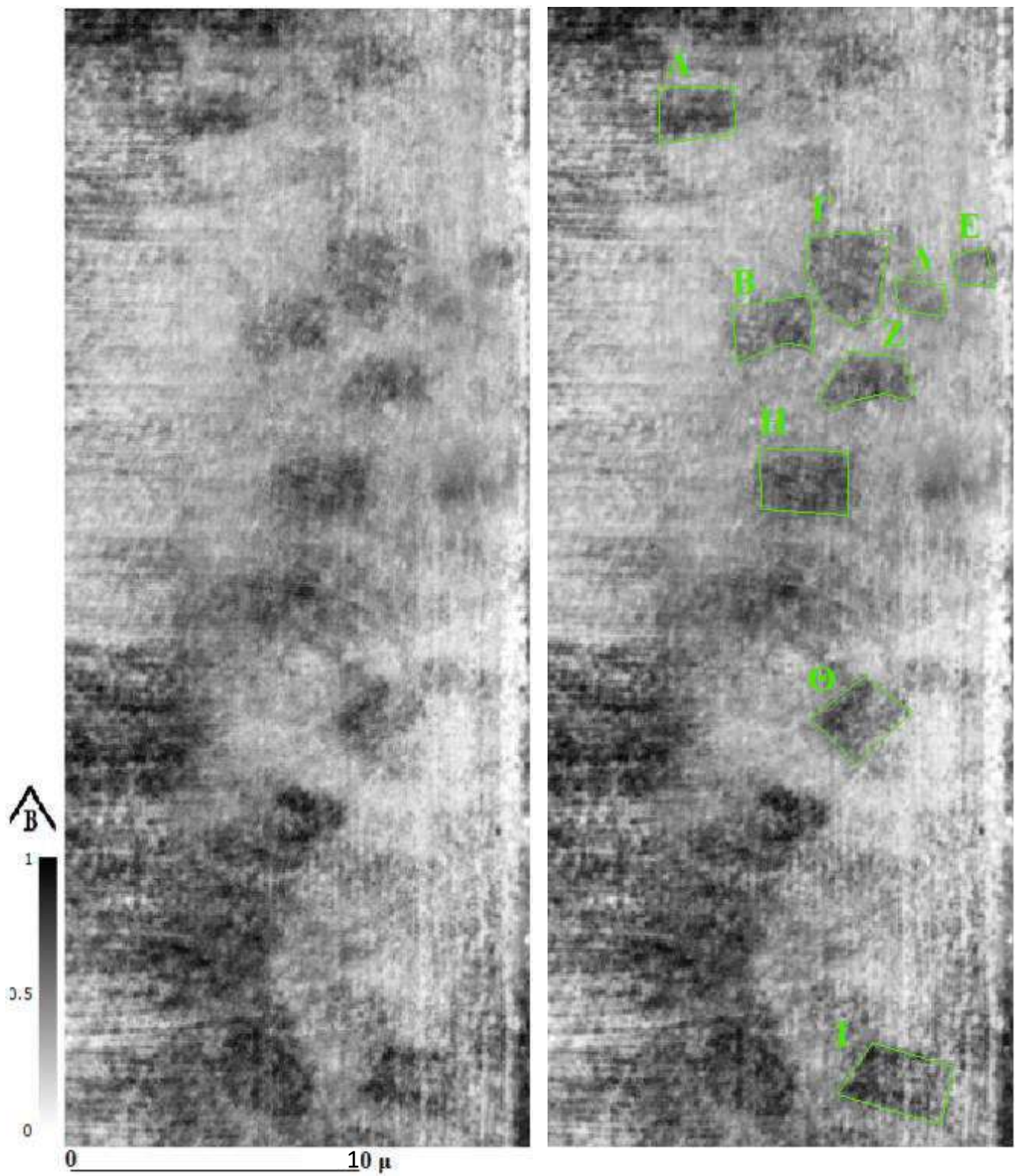
Κάποια ίχνη διακρίνονται καλλίτερα με ορισμένους δείκτες ενώ άλλα διακρίνονται ευκολότερα με διαφορετικούς (βλ. πιν. 3.2.1.5.2, σχ. 3.2.1.5.2).

Περιοχή A5	
Ορθοφωτομωσαϊκό	Βαθμολογία
NDVI, SAVI, OSAVI	5
SR, MSR, GSAVI, NDVIRE, GCI, GRVI	4
GNDVI, NDRE, NGRDI, NLI	3
RED, NIR, GREEN	2
BLUE, PAN	1
RedEdge	0

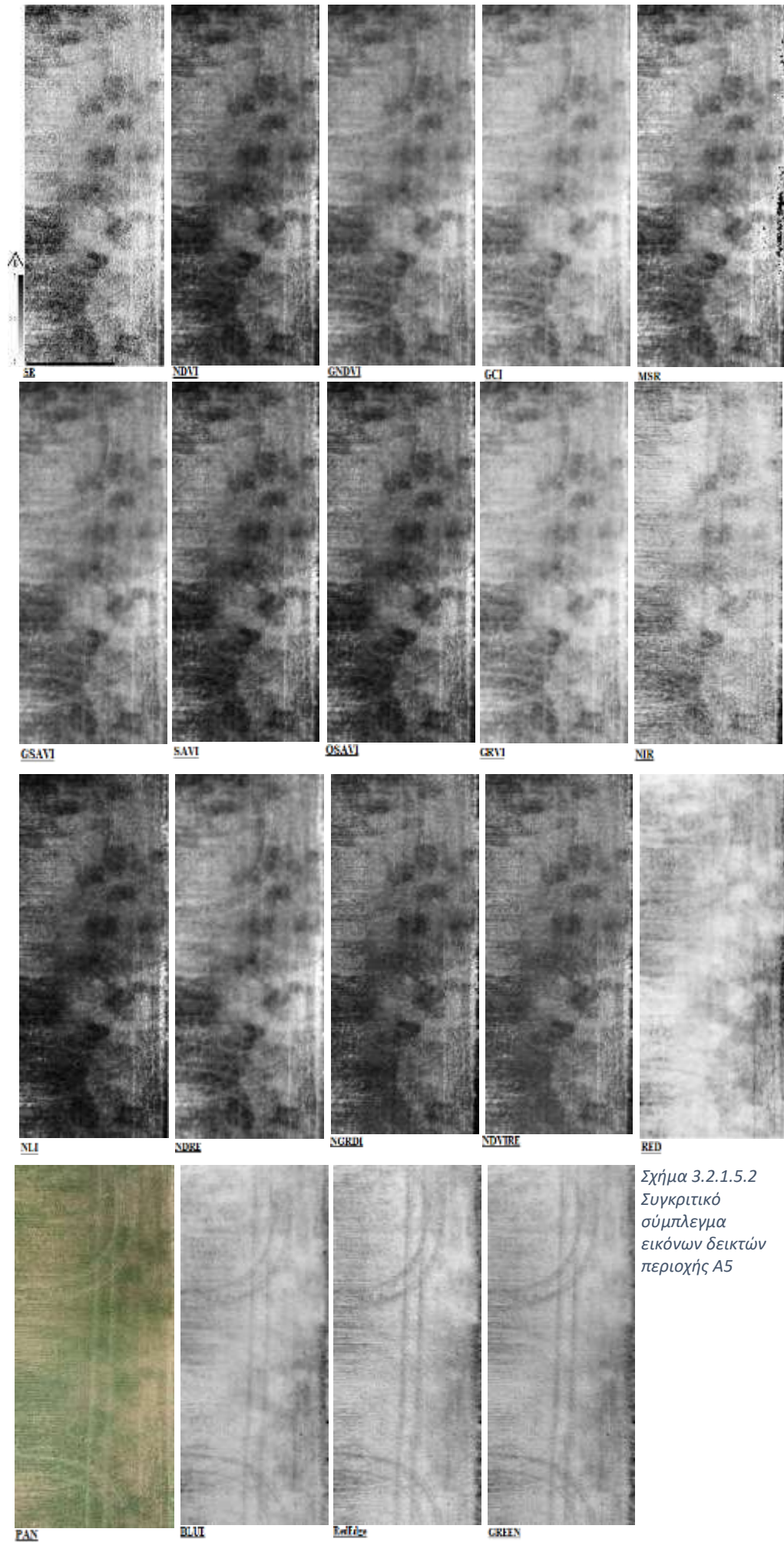
Πίνακας 3.2.1.5.2 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση ιχνών της περιοχής A5

	πλάτος	μήκος
A	2	2,54
B	2	2,8
Γ	2,4	2,7
Δ	1	1,45
Ε	1	1,3
Z	1,5	2
H	2,2	3
Θ	2	2,4
I	2	3
M.O.	1,78	2.35

Πίνακας 3.2.1.5.1 Προσεγγιστικές διαστάσεις σημειακών ιχνών περιοχής A5



Σχήμα 3.2.1.5.1: Αριστερά: η εικόνα του δείκτη SR στην περιοχή A5, Δεξιά : τα περιγράμματα ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σχεδιασμένα στην ίδια εικόνα



Σχήμα 3.2.1.5.2
 Συγκριτικό
 σύμπλεγμα
 εικόνων δεικτών
 περιοχής A5

3.2.1.6. Περιοχή Α6

Το μέγεθος της 6^η περιοχής γίνεται αντιληπτό από το πλαίσιο λήψης της εικόνας στο σχήμα 3.2.1.6.1. το οποίο αντιστοιχεί σε διαστάσεις εδάφους 70 μ x 68,5 μ. Εντός αυτής, παρατηρείται πλήθος σημειακών ίχνών θετικής βλάστησης. Είναι παραλληλογράμμοι σχημάτων και διαστάσεων παρόμοιων με των σημειωμένων στον πίνακα 3.2.1.6.1. Τα ίχνη που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2.1.6.1 εμφανίζονται με οξύτερες απολήξεις από ό,τι τα υπόλοιπα με αποτέλεσμα να είναι πιο εύκολες οι μετρήσεις των διαστάσεών τους.

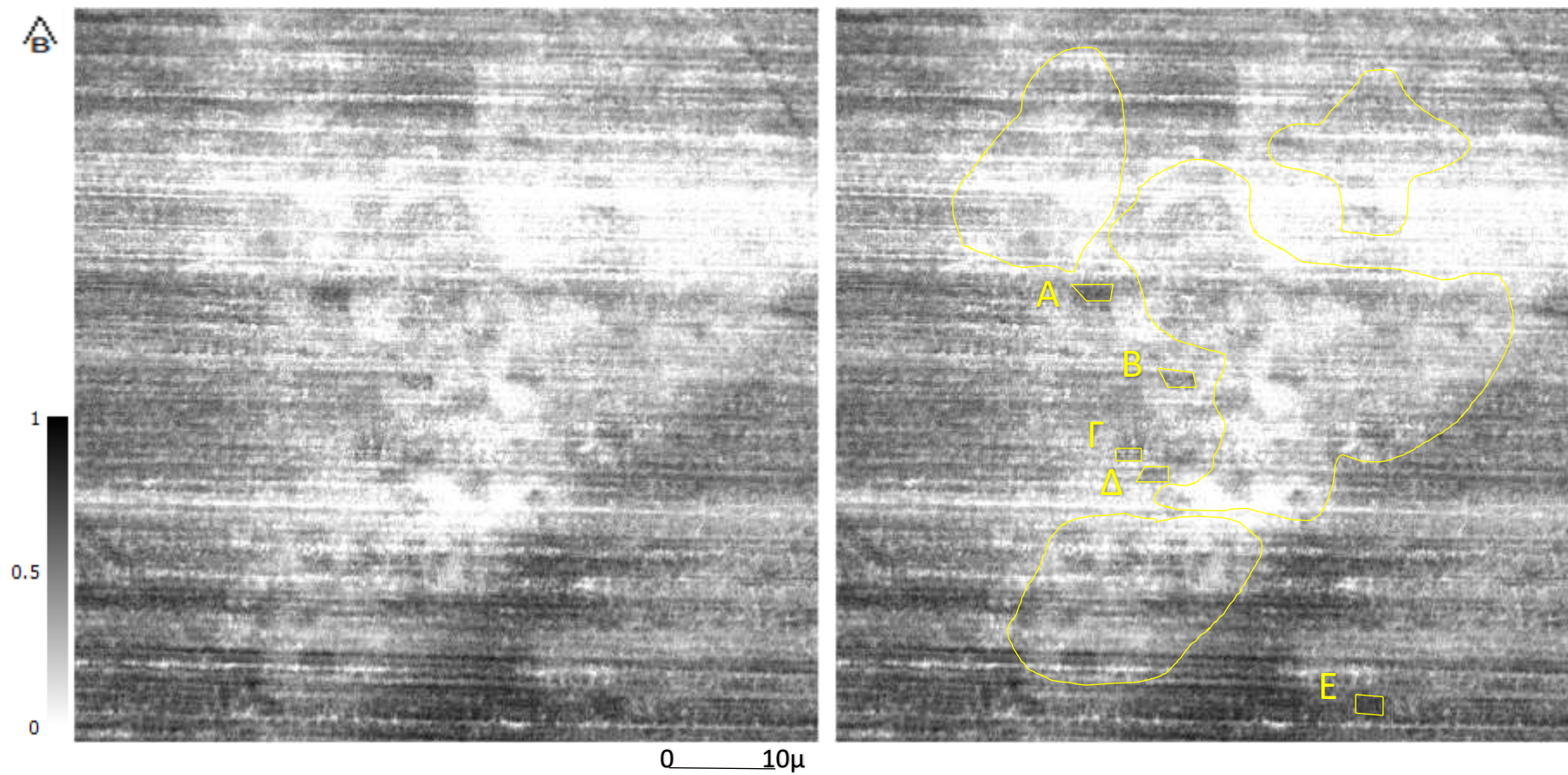
Τα ίχνη εμφανίζονται αρκετά ευδιάκριτα στις εικόνες των δεικτών NDRE, GNDVI, GSAVI, SR, GRVI, GCI, NDVI, SAVI, OSAVI, NIR, NGRDI, NDVIRE (βλ. σχ. 3.2.1.6.2, πιν. 3.2.1.6.2). Στο Ορθοφωτομωσαϊκό του δείκτη NLI, στα ορθοφωτομωσαϊκά των ζωνών RED, BLUE και στο παγχρωματικό ορθοφωτομωσαϊκό τα ίχνη διακρίνονται μέτρια.

Σημειακό ίχνος περιοχής Α6	Πλάτος (μ)	Μήκος (μ)
A	2	1,3
B	2,5	1,3
Γ	2,5	1,3
Δ	2,2	1,5
E	3	2,3

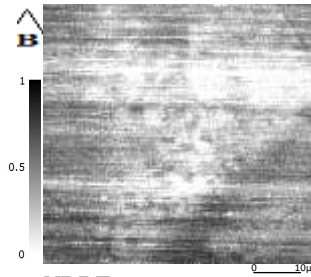
Πίνακας 3.2.1.6.1 Προσεγγιστικές διαστάσεις σημειακών ίχνων περιοχής Α6

Περιοχή Α6	
Ορθοφωτομωσαϊκό	Βαθμολογία
NDRE,	5
GNDVI, GSAVI, SR	4
GRVI, GCI, NDVI, SAVI, OSAVI, NIR, NGRDI, NDVIRE	3
RED, NLI	2
BLUE, PAN	1
GREEN, RedEdge, MSR	0

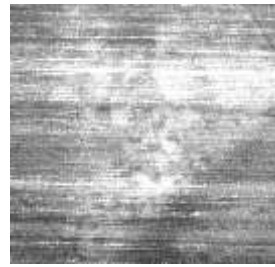
Πίνακας 3.2.1.6.2 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση ίχνων της περιοχής Α6



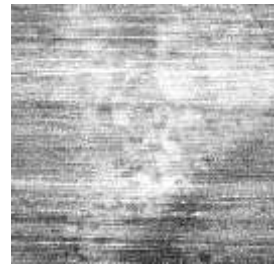
Σχήμα 3.2.1.6.1 : Δεξιά: η εικόνα του δείκτη NDRE στην περιοχή Α6, Αριστερά: περιγράμματα και περιοχές ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, σχεδιασμένα στην ίδια εικόνα



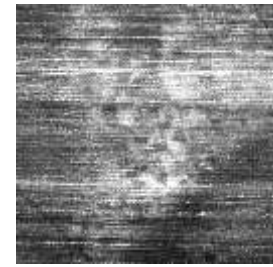
NDRE



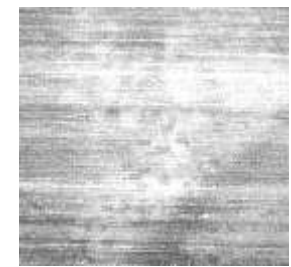
GNDVI



SR



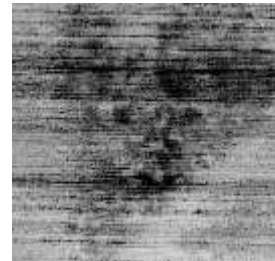
NDVI



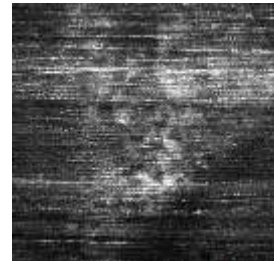
GRVI



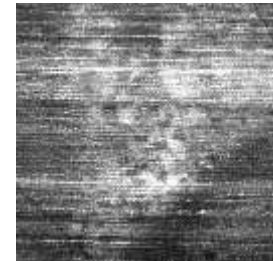
GCI



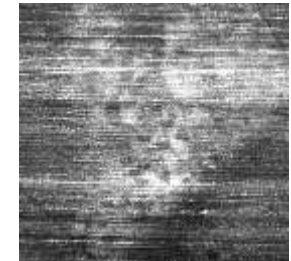
RED



NLI



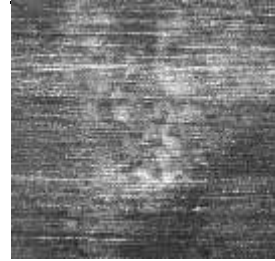
SAVI



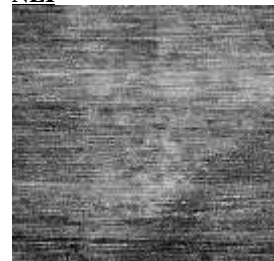
OSAVI



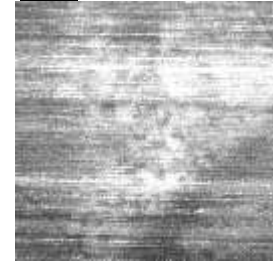
NGRDI



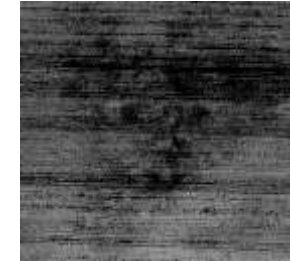
NDVIRE



NIR



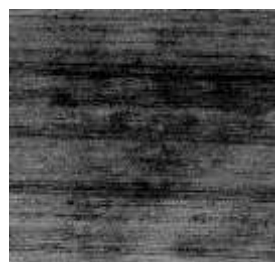
GSAVI



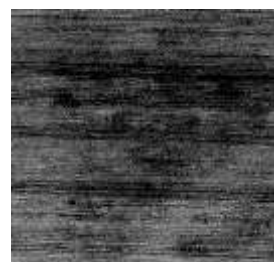
BLUE



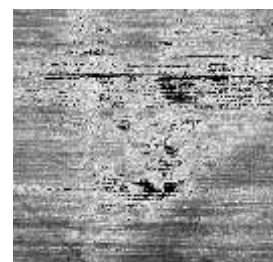
PAN



GREEN



RedEdge



MSR

Σχήμα 3.2.1.6.2
Συγκριτικό σύμπλεγμα
εικόνων δεικτών
περιοχής Α6

3.2.1.7. Περιοχή A7

Παρατηρούνται ευδιάκριτα 5 αναγνωρίσιμα σημειακά παραλληλόγραμμα ίχνη (βλ. σχ. 3.2.1.7.1) μέσου όρου διαστάσεων ~ 2,362 x 3,46 μέτρων (βλ. πιν. 3.2.1.7.1), καθώς και τρεις υποπεριοχές συγκέντρωσης παρόμοιων σημειακών ίχνων, αλλά με δυσδιάκριτα όρια.

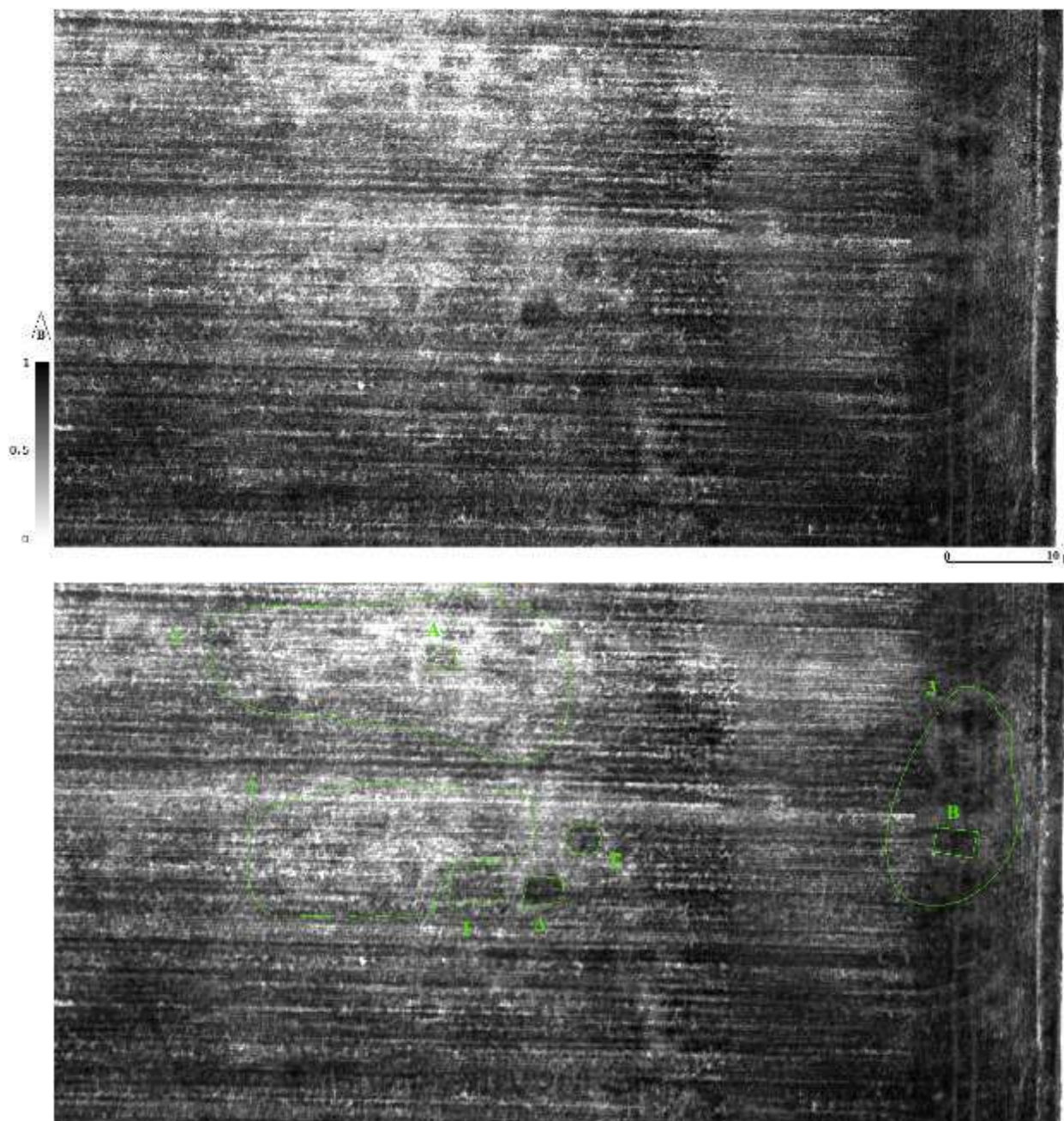
Στην απόδοση των συγκεκριμένων ίχνων, κορυφαίες θεωρήθηκαν οι εικόνες των δεικτών SAVI, OSAVI, NDVI, GSAVI, NDRE (βλ πιν. 3.2.1.7.1). Στην εικόνα του δείκτη MSR εμφανίζεται θόρυβος στα βόρεια ίχνη (βλ. σχ. 3.2.1.7.2). ..

	πλάτος	μήκος
A	1,6	2,5
B	2	3,5
Γ	3,5	4,5
Δ	2,5	3,5
Ε	2,21	3,3
Μ.Ο.	2,362	3,46

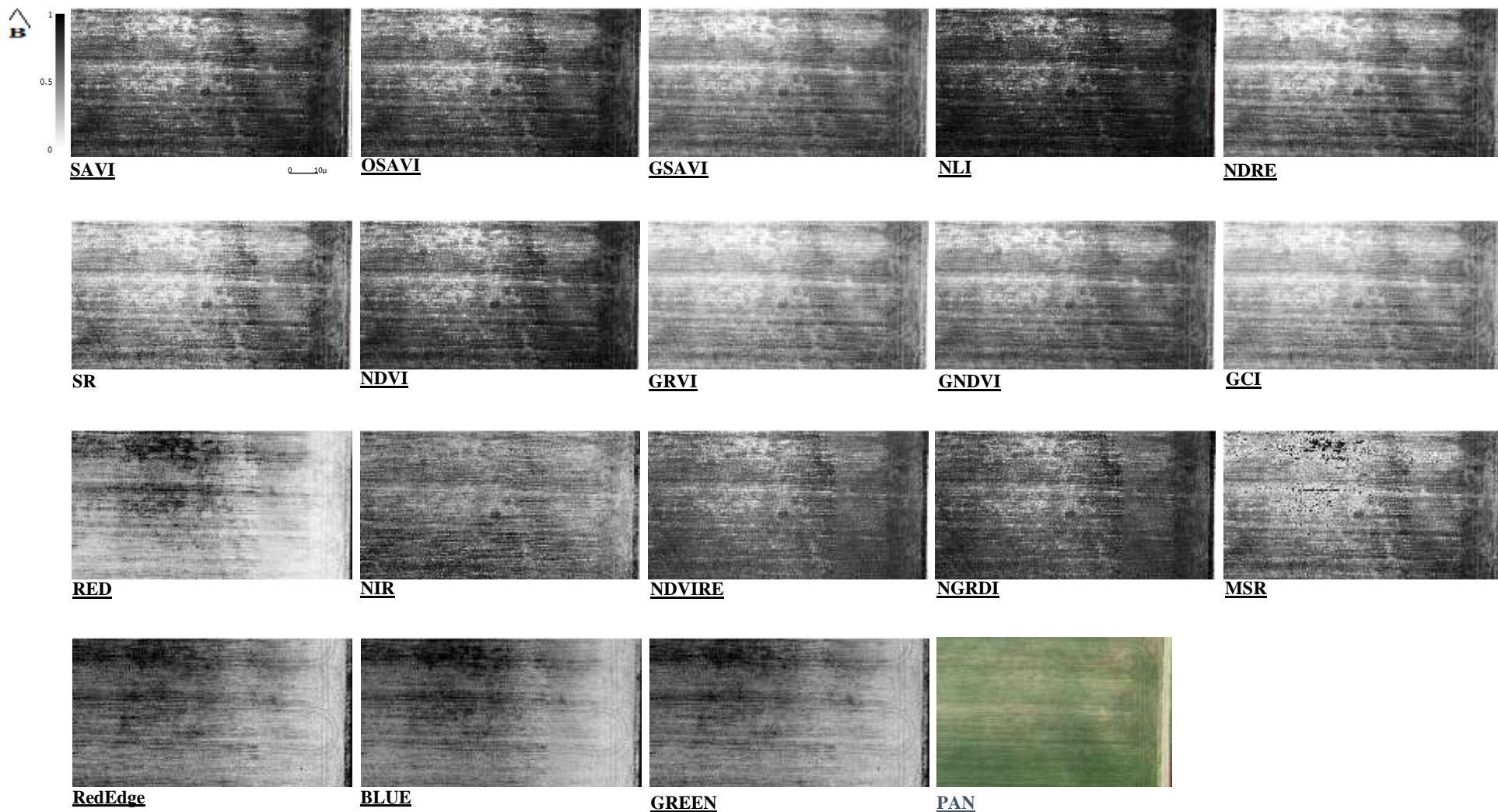
Πίνακας 3.2.1.7.1 Προσεγγιστικές διαστάσεις σημειακών ίχνων περιοχής A7

Περιοχή A7	
Ορθοφωτομωσαϊκό	Βαθμολογία
SAVI, OSAVI, NDVI, GSAVI, NDRE	4
SR, NLI	3
GRVI, GCI, GNDVI, NIR	2
RED, NDVIRE, NGRDI, MSR	1
RedEdge, BLUE, GREEN, PAN	0

Πίνακας 3.2.1.7.2 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση ίχνων της περιοχής A7



Σχήμα 3.2.1.7.1 Πάνω: η εικόνα του δείκτη SAVI στην περιοχή A7, Κάτω: τα περιγράμματα ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σχεδιασμένα στην ίδια εικόνα



Σχήμα 3.2.1.7.2 Συγκριτικό σύμπλεγμα εικόνων δεικτών περιοχής A7

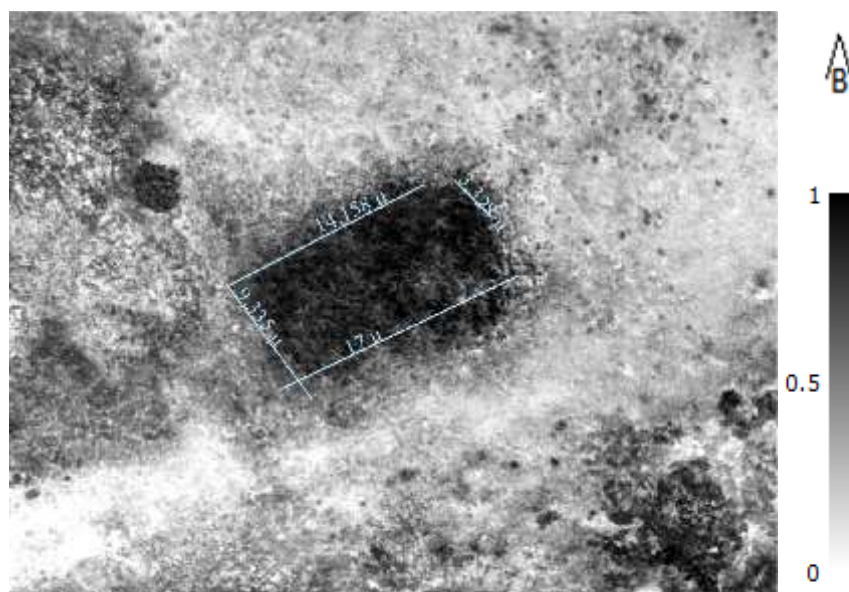
3.2.2. Τομέας Β

3.2.2.1. Περιοχή Β1

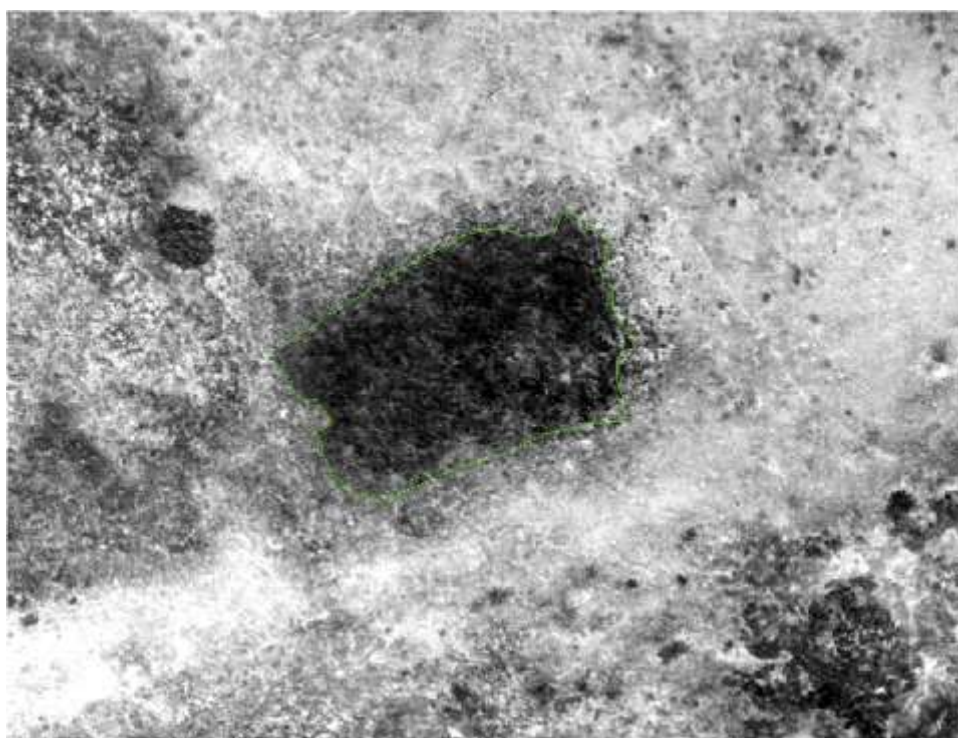
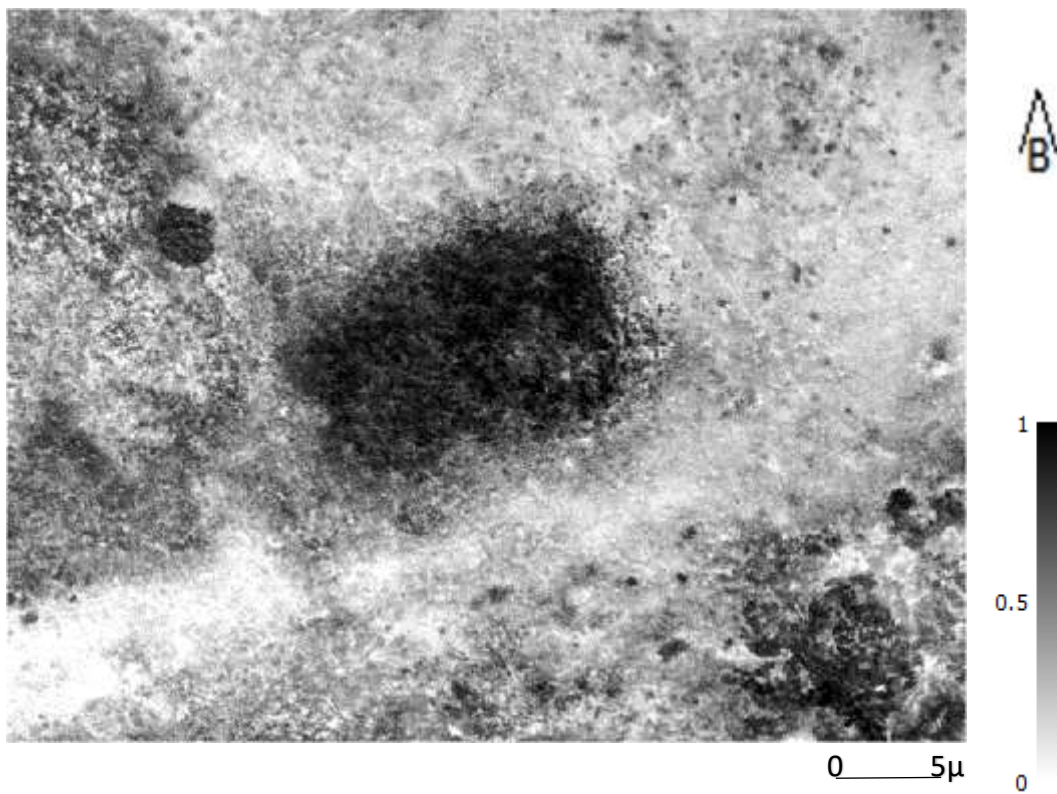
Στις νότιες παρυφές της τοπογραφικής τράπεζας και σε κάθετη απόσταση 55-60 μέτρων από την αγροτική οδό που περνάει από τα βόρεια σύνορα του οργανωμένου αρχαιολογικού χώρου εντοπίζεται παραλληλόγραμμο ίχνος υγιέστερης βλάστησης. Οι διαστάσεις του ίχνους σημειώνονται στο σχήμα 3.2.2.1.1. Καθώς πρόκειται για πιο υγιή βλάστηση από την πέριξ, ανακλά μεγαλύτερη ποσότητα της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας και λαμβάνει τιμή κοντά στην μονάδα (σκούρο χρώμα). Παρουσιάζεται ιδιαιτέρως ευδιάκριτα και με αρκετά οξίες απολήξεις στην αποτύπωση της NIR ακτινοβολίας (βλ. σχ. 3.2.2.1.2). Περιμετρικά από αυτό διακρίνεται αχνή διαφοροποίηση (άσπρου χρώματος) χαμηλής τιμής η οποία αντιστοιχεί σε καχεκτική βλάστηση με δυσκολία στην ανάπτυξη. Μεταξύ των εικόνων από τους δείκτες, το ίχνος εκτιμήθηκε πως αποτυπώνεται καλύτερα σε εκείνη του μη γραμμικού δείκτη – NLI (βλ. σχ. 3.2.2.1.3). Αξιόλογα αποτυπώνεται επίσης στις εικόνες των δεικτών NDVI, SAVI, OSAVI και NDVIRE όπως υποδεικνύει και η βαθμολόγηση στον πίνακα 3.2.2.1.1.

Περιοχή Β1	
Ορθοφωτομωσαϊκό	Βαθμολογία
NIR, NLI	5
NDVI, SAVI, OSAVI, NDVIRE	4
SR, NDRE, GSAVI, GNDVI	3
GCI, GRVI	2
NGRDI, RedEdge, RED, MSR	1
PAN, GREEN, BLUE	0

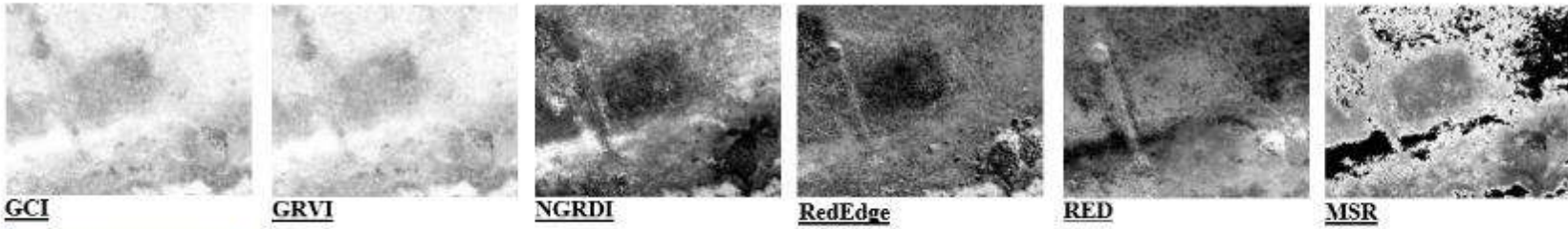
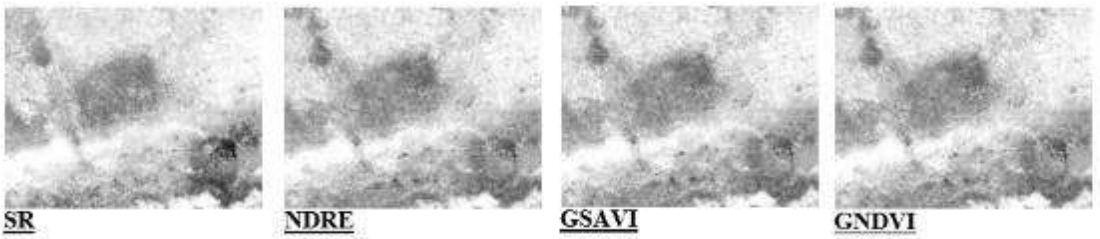
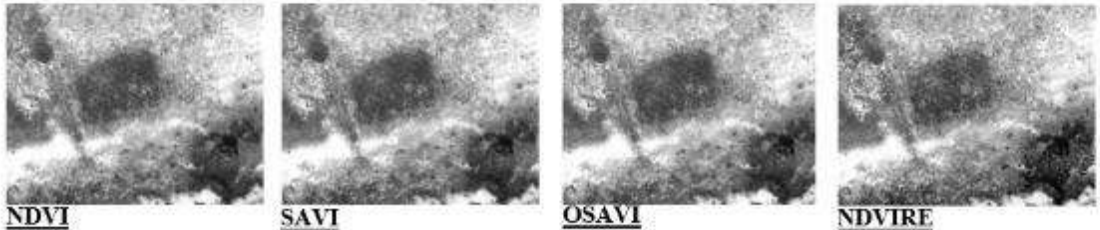
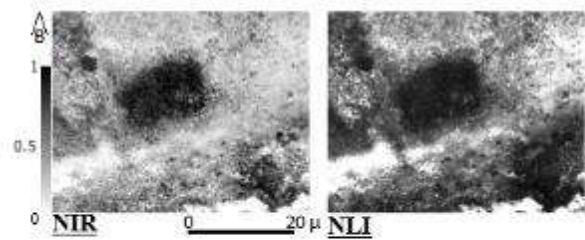
Πίνακας 3.2.2.1.1 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση ιχνών της περιοχής Β1



Σχήμα 3.2.2.1.1 Διαστάσεις ίχνους περιοχής Β1 στην απεικόνιση NIR ακτινοβολίας



Σχήμα 3.2.2.1.2: Πάνω: η εικόνα του δείκτη NIR στην περιοχή B1, Κάτω :περίγραμμα ίχνους πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σχεδιασμένο στην ίδια εικόνα



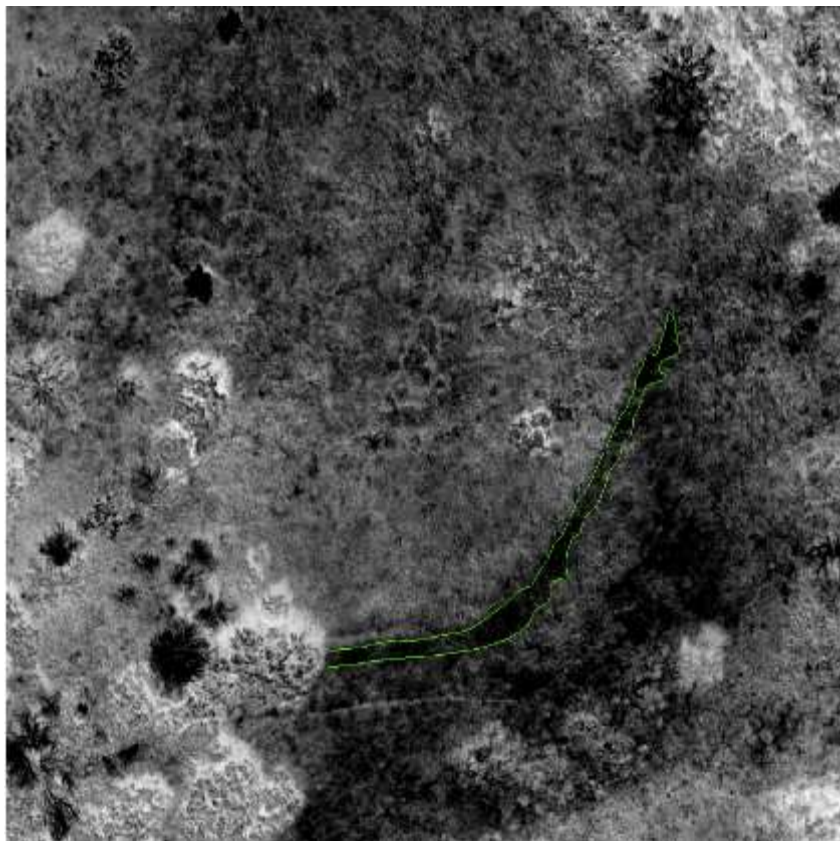
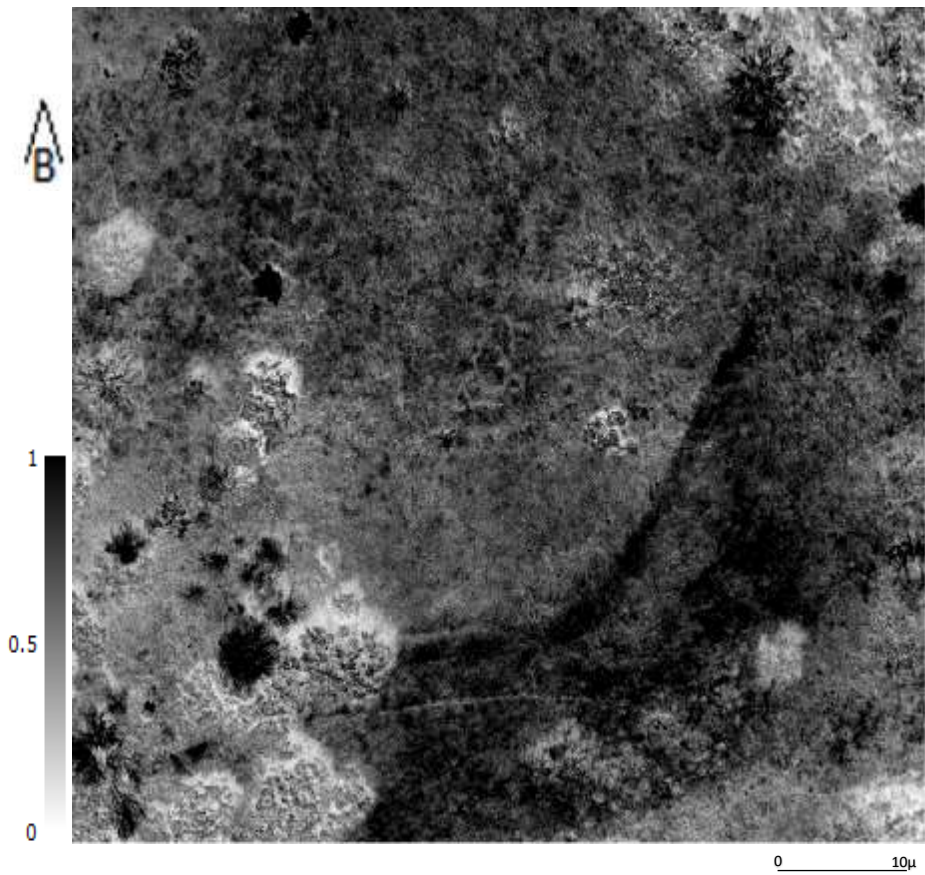
Σχήμα 3.2.2.1.3 Συγκριτικό
 σύμπλεγμα εικόνων δεικτών
 περιοχής B1

3.2.2.2. Περιοχή B2

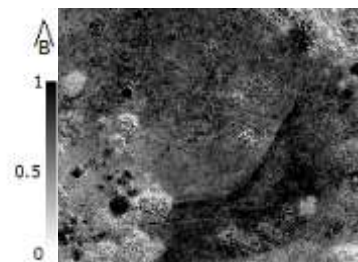
Στις νοτιοανατολικές παρυφές της τοπογραφικής τράπεζας παρατηρείται γραμμική ανωμαλία ασθενέστερης βλάστησης μήκους 40 μέτρων και πλάτους 1-2 μέτρων (βλ. σχ. 3.2.2.2.1). Ούσα ανωμαλία ασθενέστερης βλάστησης αποτυπώνεται με αδύναμο σήμα και ανοιχτό χρώμα στα ορθοφωτομωσαϊκά δεικτών καθώς και στην αποτύπωση της NIR ακτινοβολίας, ενώ στην αποτύπωση της RED και GREEN ακτινοβολίας με σκούρο. Είναι ορατή ευδιάκριτα στο παγχρωματικό ορθοφωτομωσαϊκό αλλά ιδιαιτέρως στην εικόνα της απομονωμένης κόκκινης ακτινοβολίας – RED (βλ. σχ. 3.2.2.2.2). Αξιολόγηση είναι και η απόδοσή του ίχνους στους δείκτες NDVI, SAVI, OSAVI, NGRDI και NDVIRE ενώ στους δείκτες SR, GNDVI, GSAVI, GRVI, GCI εμφανίζεται με ελαφρώς χαμηλότερη αντίθεση (βλ. πιν. 3.2.2.2.1).

Περιοχή A5	
Ορθοφωτομωσαϊκό	Βαθμολογία
RED	5
NDVI, OSAVI, SAVI, NGRDI, NDVIRE	4
NDRE, BLUE, GREEN, SR, GNDVI, GSAVI, GRVI, GCI	3
PAN, NLI	2
RedEdge, NIR	1
MSR	0

Πίνακας 3.2.2.2.1 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση ιχνών της περιοχής B2

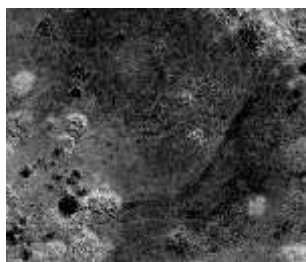


Σχήμα 3.2.2.2.1: Πάνω: η εικόνα του δείκτη RED στην περιοχή A4, Κάτω :τα περιγράμματα πιθανών ιχνών σχεδιασμένα στην ίδια εικόνα

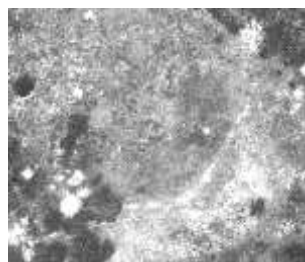


RED

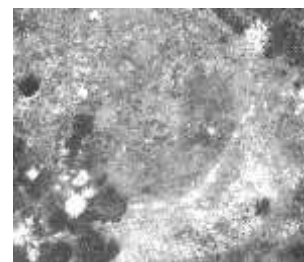
0 10μ



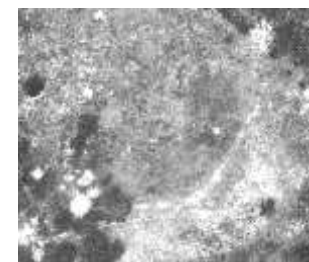
BLUE



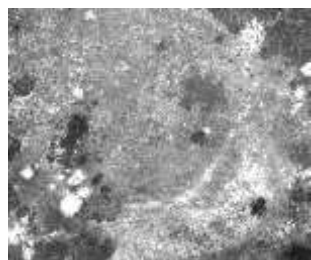
NDVI



SAVI



OSAVI



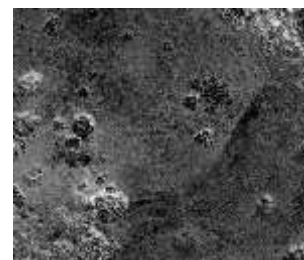
NGRDI



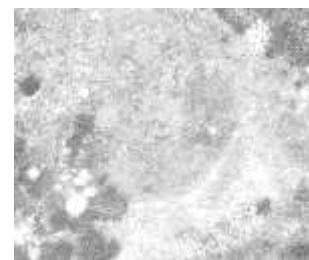
NDVIRE



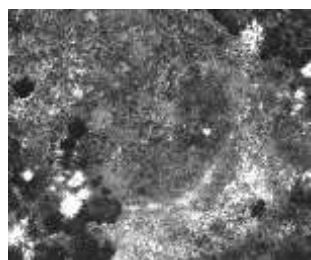
NDRE



GREEN



SR



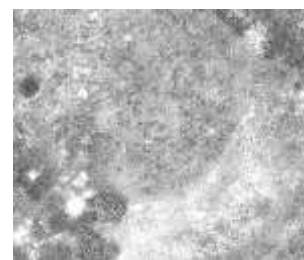
NLI



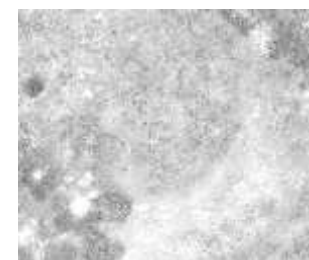
GNDVI



PAN



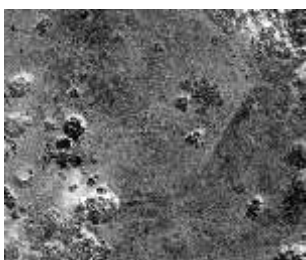
GSAVI



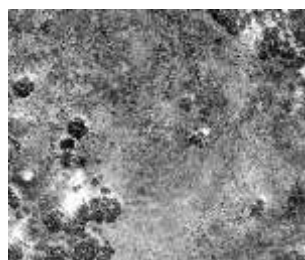
GRVI



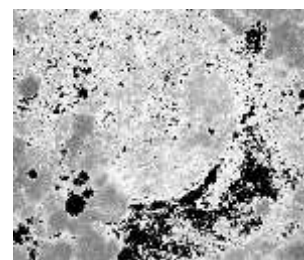
GCI



RedEdge



NIR



MSR

Σχήμα 3.2.2.2 Συγκριτικό σύμπλεγμα εικόνων δεικτών περιοχής B2

3.2.3. Τομέας Γ

3.2.3.1. Περιοχή Γ1

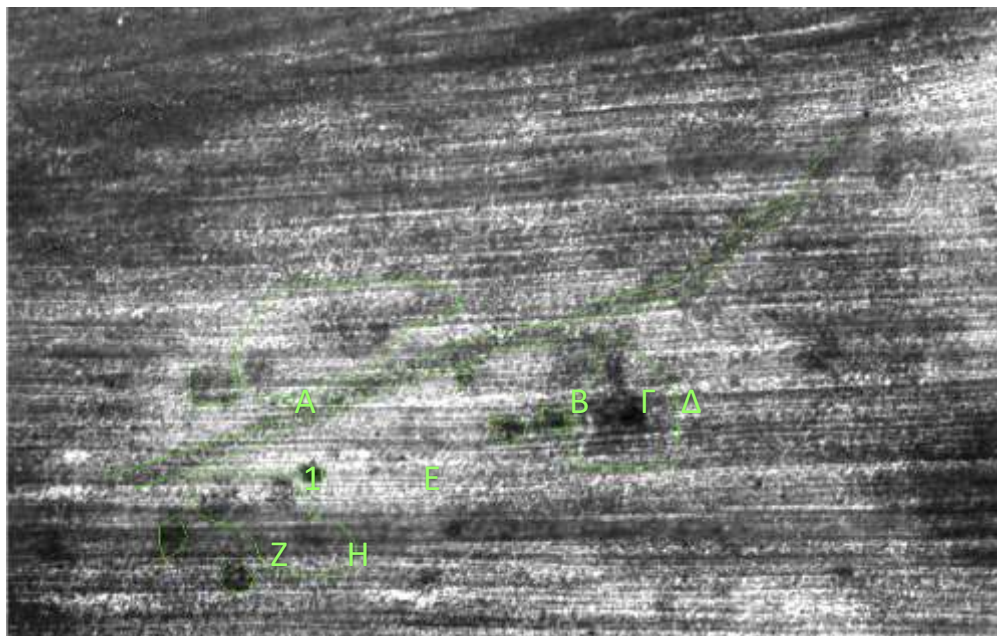
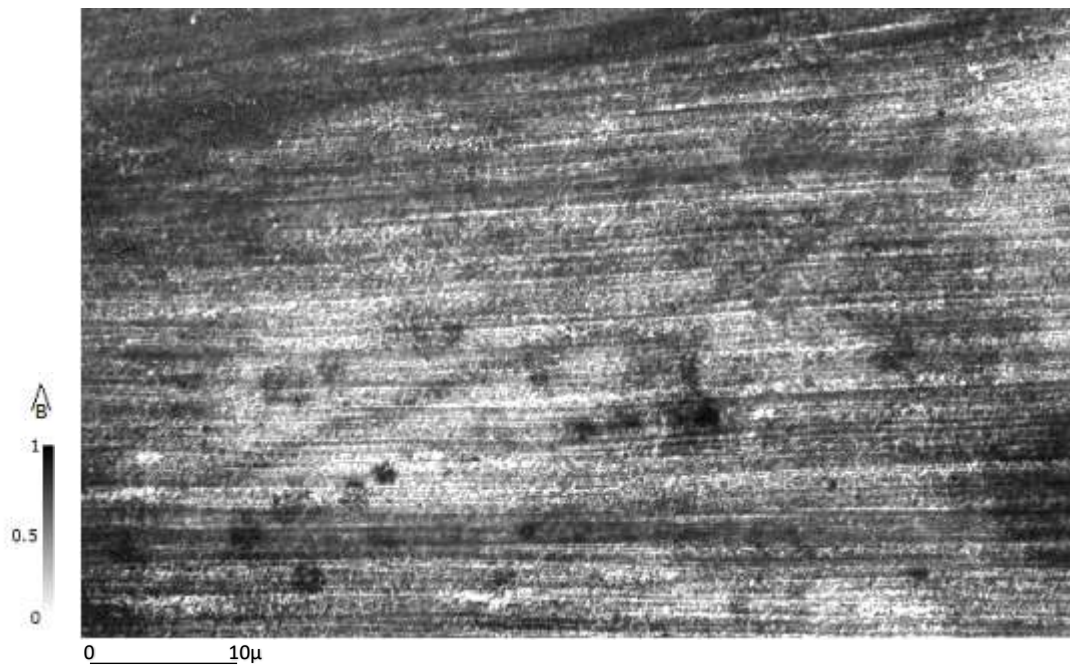
Σε απόσταση 60 μέτρων από τις νοτιοανατολικές παρυφές της τοπογραφικής τράπεζας εμφανίζονται θετικά ίχνη βλάστησης. Πρόκειται για σημειακά ίχνη παραλληλογράμμου σχήματος και για ένα γραμμικό ίχνος (βλ. σχ. 3.2.3.1.1). Το τελευταίο έχει μήκος 52 μ. και πλάτος 0,8 – 1,2μ. Προσεγγιστικές διαστάσεις των σημειακών ιχνών σημειώνονται στον πίνακα 3.2.3.1.1. Εγγύς αυτών, εμφανίζονται 3 συστάδες σημειακών ιχνών παρόμοιων διαστάσεων και ακαθόριστων σχημάτων. Οι δύο κατηγορίες ιχνών εμφανίζονται με διαφορετική απόδοση ανά τις διάφορες ορθοεικόνες όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.3.1.2 και σημειώνεται στον πίνακα 3.2.3.1.2. με εκτιμούμενη κορυφαία απόδοση στην εικόνα του δείκτη NDRE.

	πλάτος	μήκος
A	2,8	2,4
B	0,8	1,4
Γ	1,4	1,8
Δ	1,5	1,5
E	1,2	1
Z	0,8	1,8
H	2	2

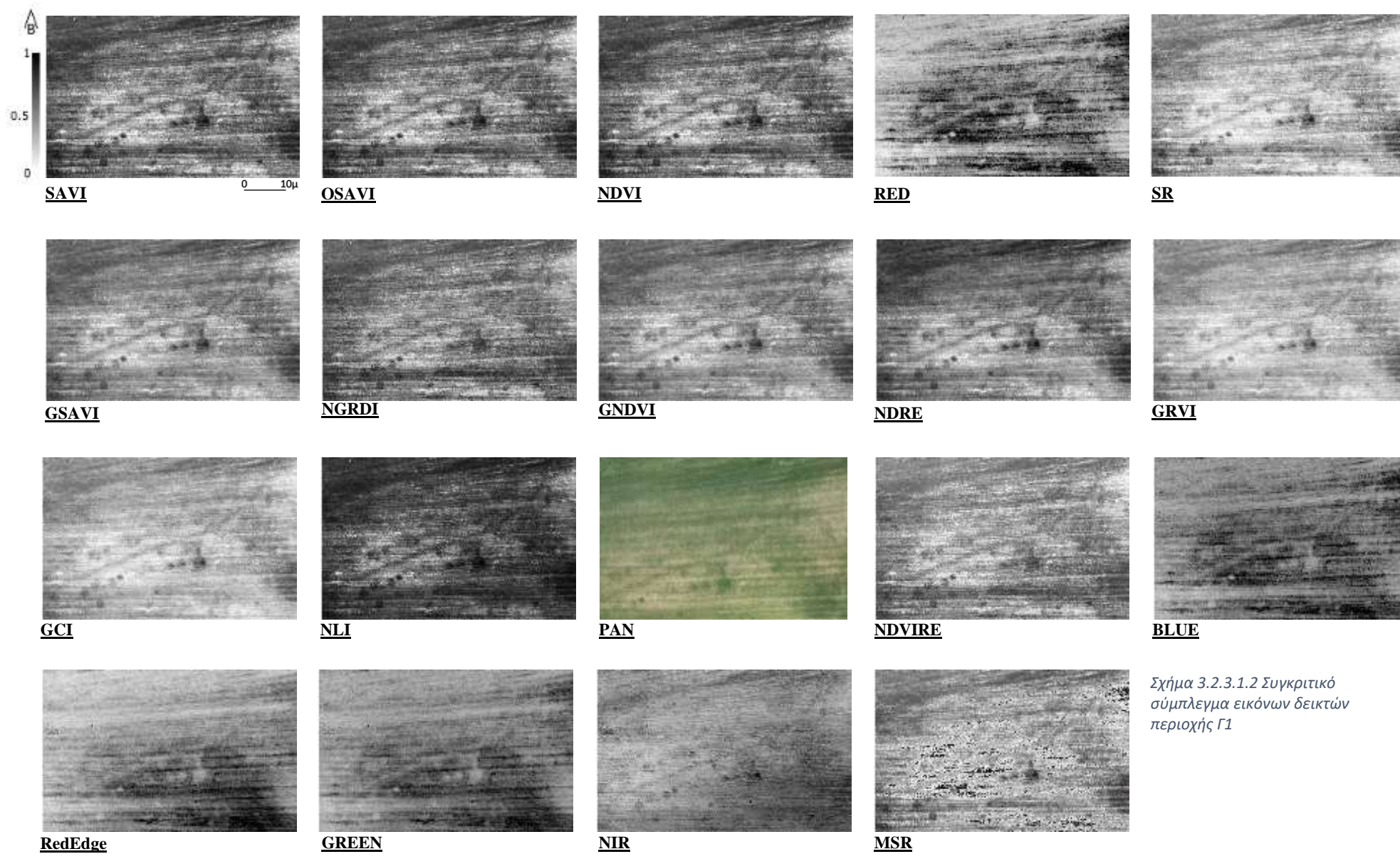
Πίνακας 3.2.3.1.1 Προσεγγιστικές διαστάσεις σημειακών ιχνών περιοχής Γ1

Περιοχή Γ1	
Ορθοφωτομωσαϊκό	Βαθμολογία
NDRE	5
SR, GNDVI, GRVI, GCI, GSAVI, NDVI, SAVI, OSAVI	4
NDVIRE, NGRDI, NLI	3
RED, NIR	2
BLUE,PAN, RedEdge, GREEN	1
MSR	0

Πίνακας 3.2.3.1.2 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση ιχνών της περιοχής Γ1



Σχήμα 3.2.3.2.1 : Πάνω: η εικόνα του δείκτη SAVI στην περιοχή Γ1, Κάτω : τα περιγράμματα ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σχεδιασμένα στην ίδια εικόνα



Σχήμα 3.2.3.1.2 Συγκριτικό σύμπλεγμα εικόνων δεικτών περιοχής Γ1

3.2.3.2. Περιοχή Γ2

Στην περιοχή εμφανίζεται πλήθος σημειακών, θετικών ιχνών βλάστησης. Στο σχ. 3.2.3.2.1 σημειώνονται τα περιγράμματα 6 ιχνών παραλληλογράμου σχήματος και μ.ο. διαστάσεων 1,06 x 1,4 (βλ. πιν. 3.2.3.2.1). Στο ίδιο σχήμα επίσης, σημειώνονται 5 περιοχές με συγκεντρωμένα σημειακά ίχνη όπου το σήμα εμφανίζεται ασθενέστερο.

Στο παγχρωματικό ορθοφωτομωσαικό, οι ανωμαλίες εμφανίζονται καλώς εν αντιθέσει με τις περισσότερες από τις υπόλοιπες περιοχές ιχνών (βλ. σχ. 3.2.3.2.2). Ιδιαίτερως ευδιάκριτα αποτυπώνονται στις εικόνες από δείκτες που αποτελούν παραλλαγές του NDVI όπως οι GSAVI, SAVI, OSAVI, NDRE, GNDVI (βλ. πιν. 3.2.3.2.2).

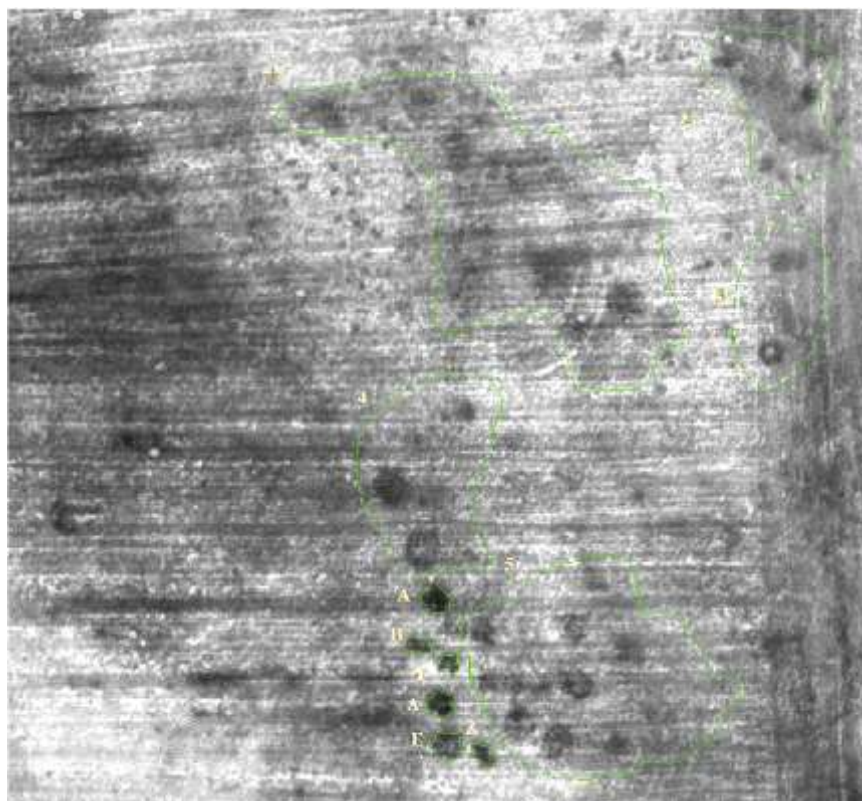
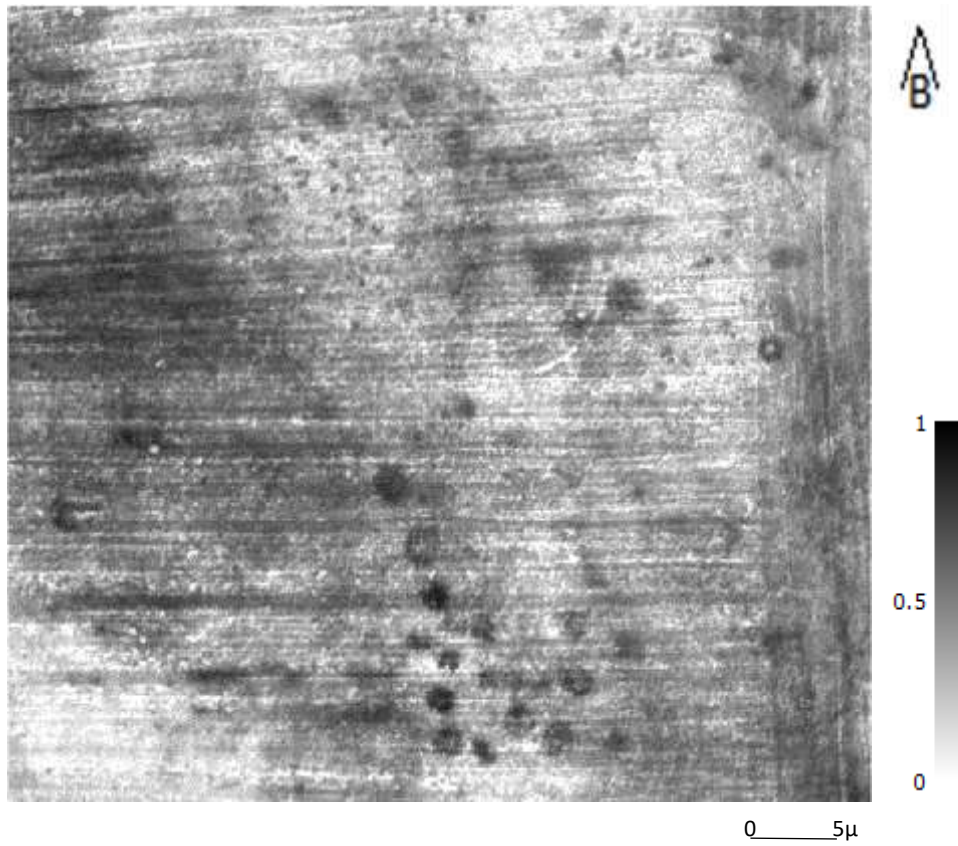
Στο ορθοφωτομωσαικό της ακτινοβολίας NIR, τα νοτιοδυτικά ίχνη εμφανίζονται με αρκετά οξείες απολήξεις ενώ τα υπόλοιπα ίχνη της εικόνας, όχι.

Σημειακό ίχνος περιοχής Γ2	ύψος	μήκος
A	1,5	1,5
B	0,7	1,35
Γ	0,9	1
Δ	1,1	1,35
E	1,5	1,5
Z	0,7	1,7
Μ.Ο.	1,06	1.4

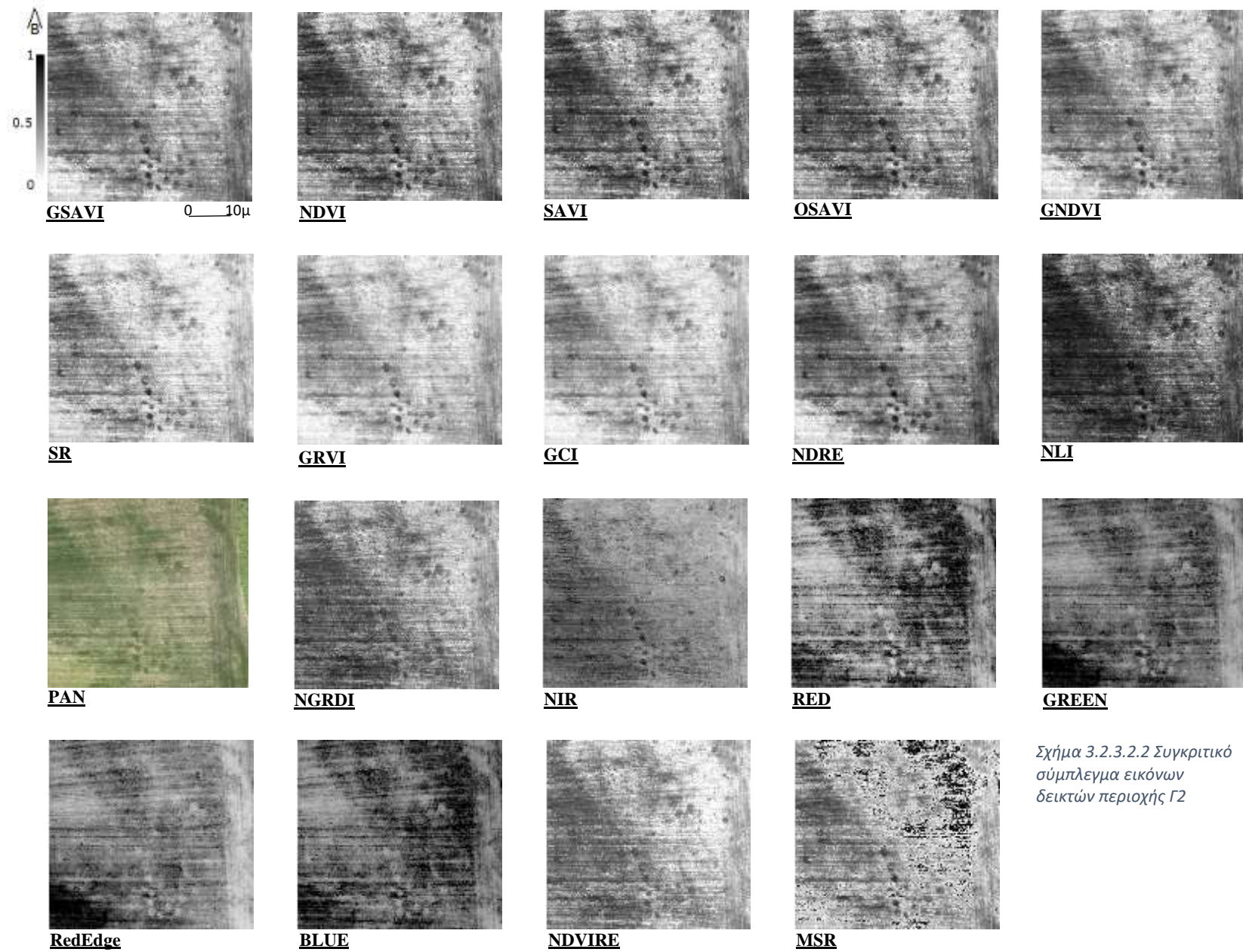
Πίνακας 3.2.3.2.1 Προσεγγιστικές διαστάσεις σημειακών ιχνών περιοχής Γ2

Περιοχή Γ2 ορθοφωτομωσαικό	Βαθμολογία
GSAVI, NDVI, SAVI, OSAVI, NDRE, GNDVI	5
GRVI, GCI, SR, PAN	4
NLI, NIR	3
RED, GREEN, RedEdge, BLUE	2
NDVIRE,NGRDI, MSR	1

Πίνακας 3.2.3.2.2 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαικού στην απόδοση ιχνών της περιοχής Γ2



Σχήμα 3.2.3.2.1 : Πάνω: η εικόνα του δείκτη GSAVI στην περιοχή Γ2, Κάτω: περιγράμματα και περιοχές ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, σχεδιασμένα στην ίδια εικόνα



Σχήμα 3.2.3.2.2 Συγκριτικό σύμπλεγμα εικόνων δεικτών περιοχής Γ2

3.2.3.3. Περιοχή Γ3

Η περιοχή Γ3 στα ανατολικά της, εφάπτεται στην αγροτική οδό που κυκλώνει τον επισκέψιμο αρχαιολογικό χώρο και στα βόρεια της απέχει περί τα 13 μέτρα από την περιοχή Γ1. Το πλαίσιο της εικόνας στο σχήμα 3.2.3.3.1 αντιστοιχεί σε διαστάσεις εδάφους 87,7 x 33,7 μέτρων. Εντοπίζονται 4 σημειακά ίχνη παραλληλογράμμου σχήματος και διαστάσεων όπως αναγράφονται στον πίνακα 3.2.3.3.1. Επίσης σημειώνονται τέσσερις υποπεριοχές με σημειακά ίχνη ασθενέστερου σήματος και δυσδιάκριτων ορίων. Στην πρώτη περιοχή η οποία εφάπτεται στον δρόμο οι ασθενούς σήματος ανωμαλίες εμφανίζουν παρόμοιο σχήμα με πολλά από τα ίχνη που έχουν σημειωθεί σε όλη την εργασία.

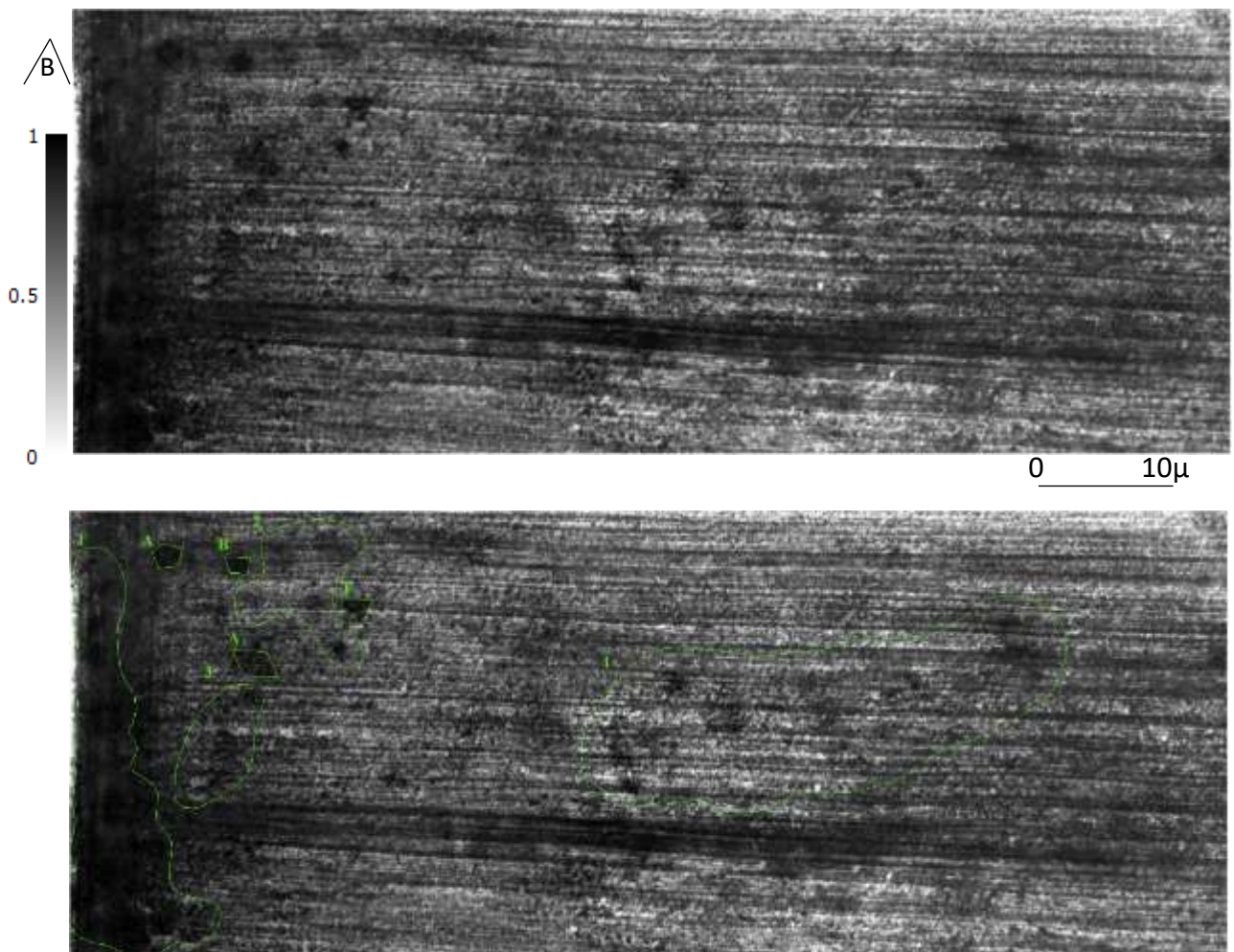
Στην απόδοση των ιχνών βλάστησης (βλ. σχ. 3.2.3.3.2), θεωρήθηκαν πως ξεχωρίζουν οι εικόνες των δεικτών: SR, MSR, GRVI και ακολούθως εκείνες των δεικτών: SAVI, OSAVI, NDVI όπως σημειώνεται στον πίνακα 3.2.3.3.2 .

Σημειακό ίχνος περιοχής Γ3	Πλάτος (μ)	Μήκος (μ)
A	2	1.5
B	1,5	1.2
Γ	2	1
Δ	3	2

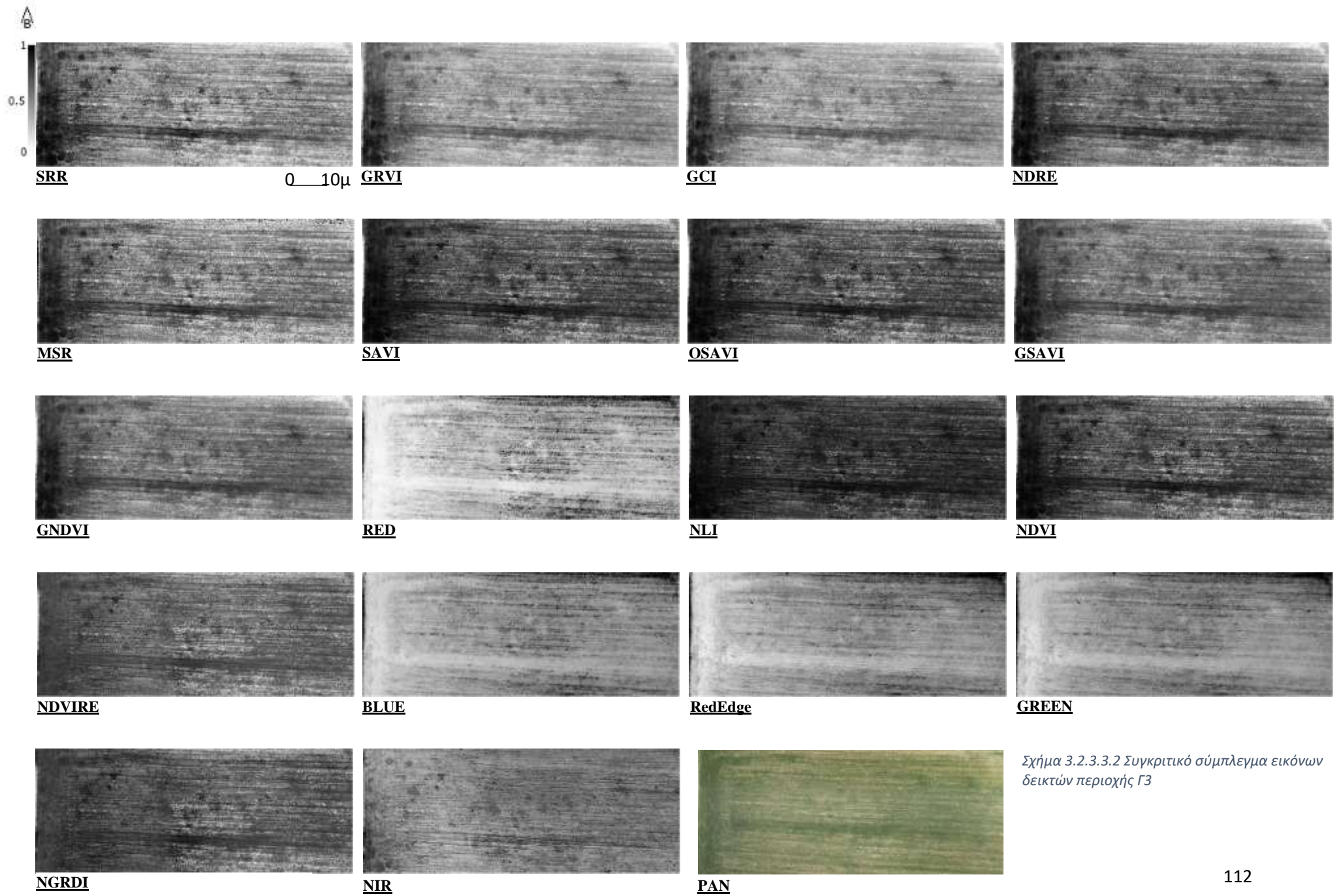
Πίνακας 3.2.3.3.1 Προσεγγιστικές διαστάσεις σημειακών ιχνών περιοχής Γ3

Περιοχή Γ3	
Ορθοφωτομωσαικό	Βαθμολογία
SR, MSR, GRVI,	5
SAVI, OSAVI, NDVI	4
GCI, GSAVI, GNDVI, NLI, NDVIRE	3
NIR, NDRE	2
BLUE, RedEdge, GREEN, NGRDI, RED	1
PAN	0

Πίνακας 3.2.3.3.2 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαικού στην απόδοση ιχνών της περιοχής Γ3



Σχήμα 3.2.3.3.1 Εικόνα δείκτη NDVI περιοχής Γ3 (πάνω) και ανωμαλίες στην ίδια εικόνα (κάτω)



Σχήμα 3.2.3.3.2 Συγκριτικό σύμπλεγμα εικόνων δεικτών περιοχής Γ3

3.2.3.4. Περιοχή Γ4

Η περιοχή Γ4 βρίσκεται περί τα 5 μέτρα νότια της περιοχής Γ2. Το πλαίσιο της εικόνας στο σχήμα 3.2.3.4.1 αντιστοιχεί σε διαστάσεις εδάφους 41,8 x 45,9 μέτρων.

Εντοπίζονται 5 σημειακά ίχνη θετικής βλάστησης παραλληλογράμμου σχήματος. Αυτά, παρουσιάζουν τις διαστάσεις που αναγράφονται στον πίνακα 3.2.3.4.1.. Επίσης εντοπίζονται δύο υποπεριοχές συγκέντρωσης σημειακών ανωμαλιών ασθενέστερου σχήματος και δυσδιάκριτων ορίων (σημειώνονται με νούμερα στο σχήμα 3.2.3.4.1).

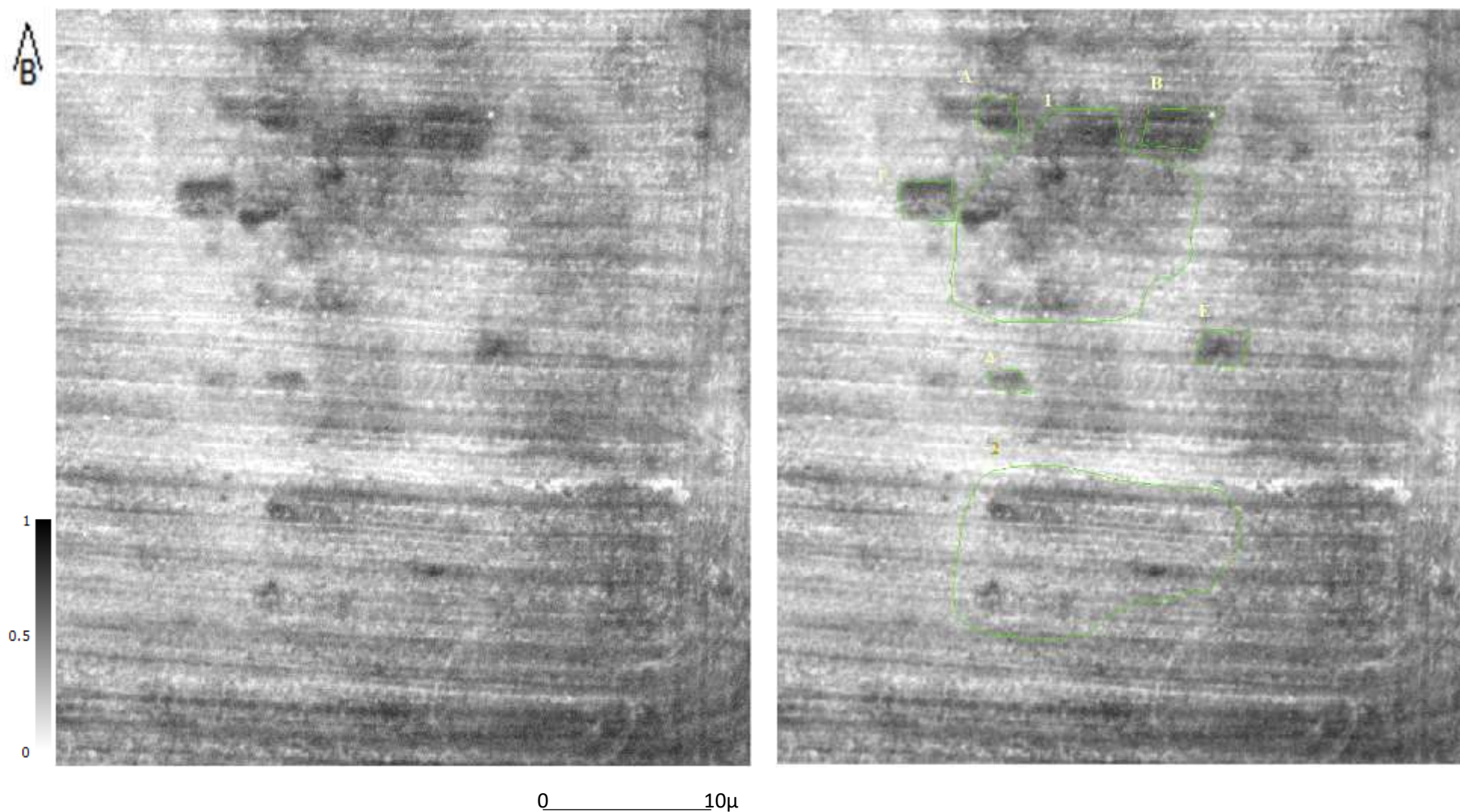
Έπειτα από οπτική αξιολόγηση του συμπλέγματος των τελικών εικόνων στο σχήμα 3.2.3.4.2, οι δείκτες GRVI και GCI θεωρήθηκαν οι αποδοτικότεροι στην εμφάνιση των ίχνων βλάστησης όπως φαίνεται στον πίνακα 3.2.3.4.2

Σημειακό ίχνος περιοχής Γ4	Πλάτος (μ)	Μήκος (μ)
A	2,5	1,8
B	3,75	2,5
Γ	3	2,3
Δ	2,3	1
E	3	2

Πίνακας 3.2.3.4.1 Προσεγγιστικές διαστάσεις σημειακών ίχνων περιοχής Γ4

Περιοχή Γ4	Βαθμολογία
Ορθοφωτομωσαϊκό	
GRVI,GCI	5
GSAVI, NDRE, GNDVI,	4
SR, NDVI, SAVI, OSAVI	3
PAN, NLI	2
RedEdge, GREEN, RED, BLUE, NIR, MSR, NDVIRE, NGRDI	1

Πίνακας 3.2.3.4.2 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση ίχνων της περιοχής Γ4



Σχήμα 3.2.3.4.1 : Δεξιά: η εικόνα του δείκτη GCI στην περιοχή Γ4, Αριστερά: περιγράμματα και περιοχές ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, σχεδιασμένα στην ίδια εικόνα



GRVI



GSAVI



NDRE



NDVI



SAVI



OSAVI



GNDVI



SR



GCI



RedEdge



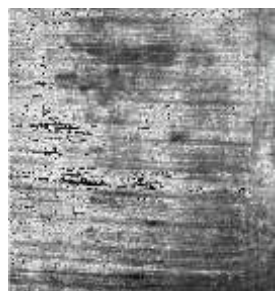
GREEN



BLUE



RED



MSR



NLI



NDVIRE



NGRDI



NIR

*Σχήμα 3.2.3.4.2
Συγκριτικό σύμπλεγμα
εικόνων δεικτών
περιοχής Γ4*



PAN

3.2.4. Τομέας Δ

3.2.4.1. Περιοχή Δ1

Στην περιοχή εντοπίζονται 4 ευδιάκριτα, σημειακά, παραλληλογράμμου σχήματος και παρομοίου μεγέθους ίχνη θετικής βλάστησης. Οι διαστάσεις τους με μ.ο. 2,575 x 1,425 – 1,55 αναγράφονται στον πίνακα 3.2.4.1.1. Στο απόκομμα του ορθοφωτομωσαϊκού του δείκτη SR στην περιοχή εμφανίζονται 3 κυκλωμένες περιοχές όπου εντοπίζονται ασθενούς σήματος ανωμαλίες(βλ. σχ. 3.2.4.1.1).

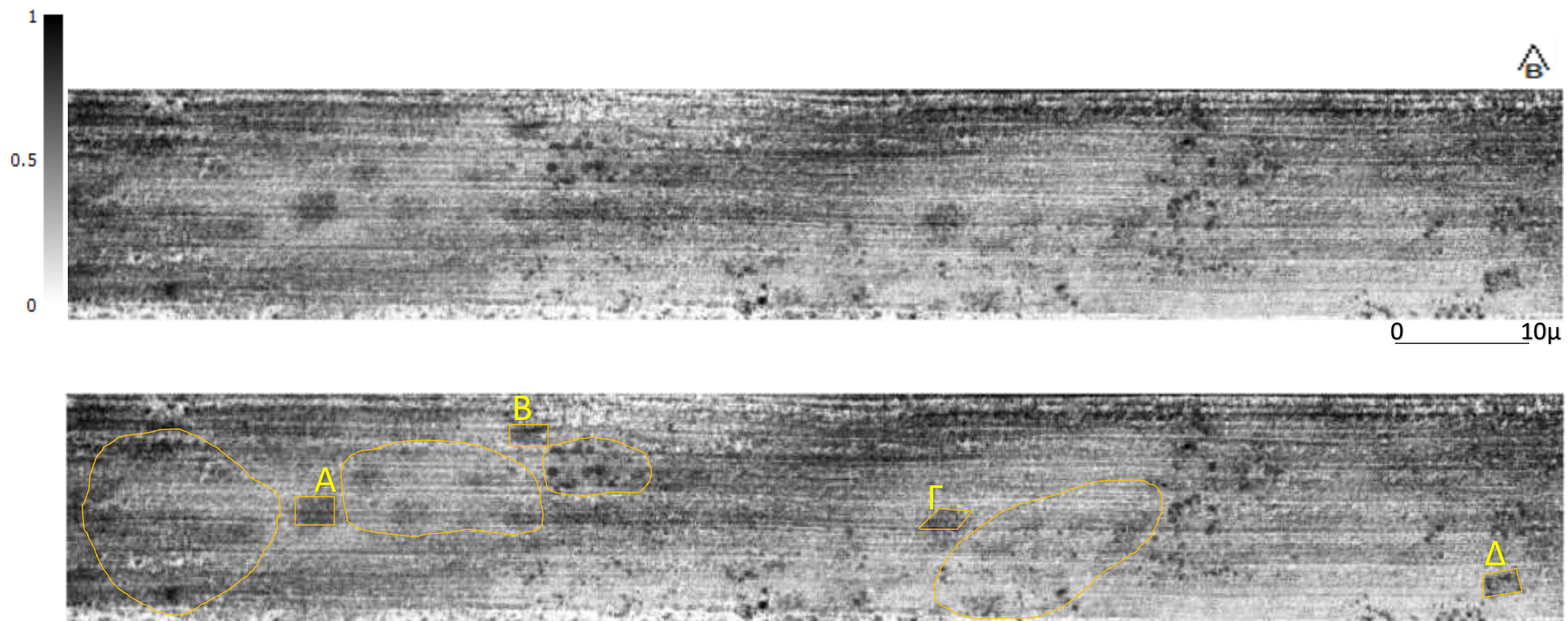
Με την εφαρμογή αρκετών δεικτών που αποτελούν παραλλαγές του δείκτη NDVI και βαθμολογήθηκαν με 5 ή 4, όπως σημειώνεται στον πίνακα 3.2.4.1.2, παρήχθησαν εικόνες όπου τα ίχνη εμφανίζονται με ιδιαίτερα οξείες απολήξεις (βλ. σχ. 3.2.4.1.2).

Σημειακό ίχνος περιοχής Δ1	Πλάτος (μ)	Μήκος (μ)
A	2,8	2
B	2,3	1,2
Γ	2,5	1- 1,5
Δ	2,7	1,5
Μ.Ο.	2,575	1,425 - 1,55

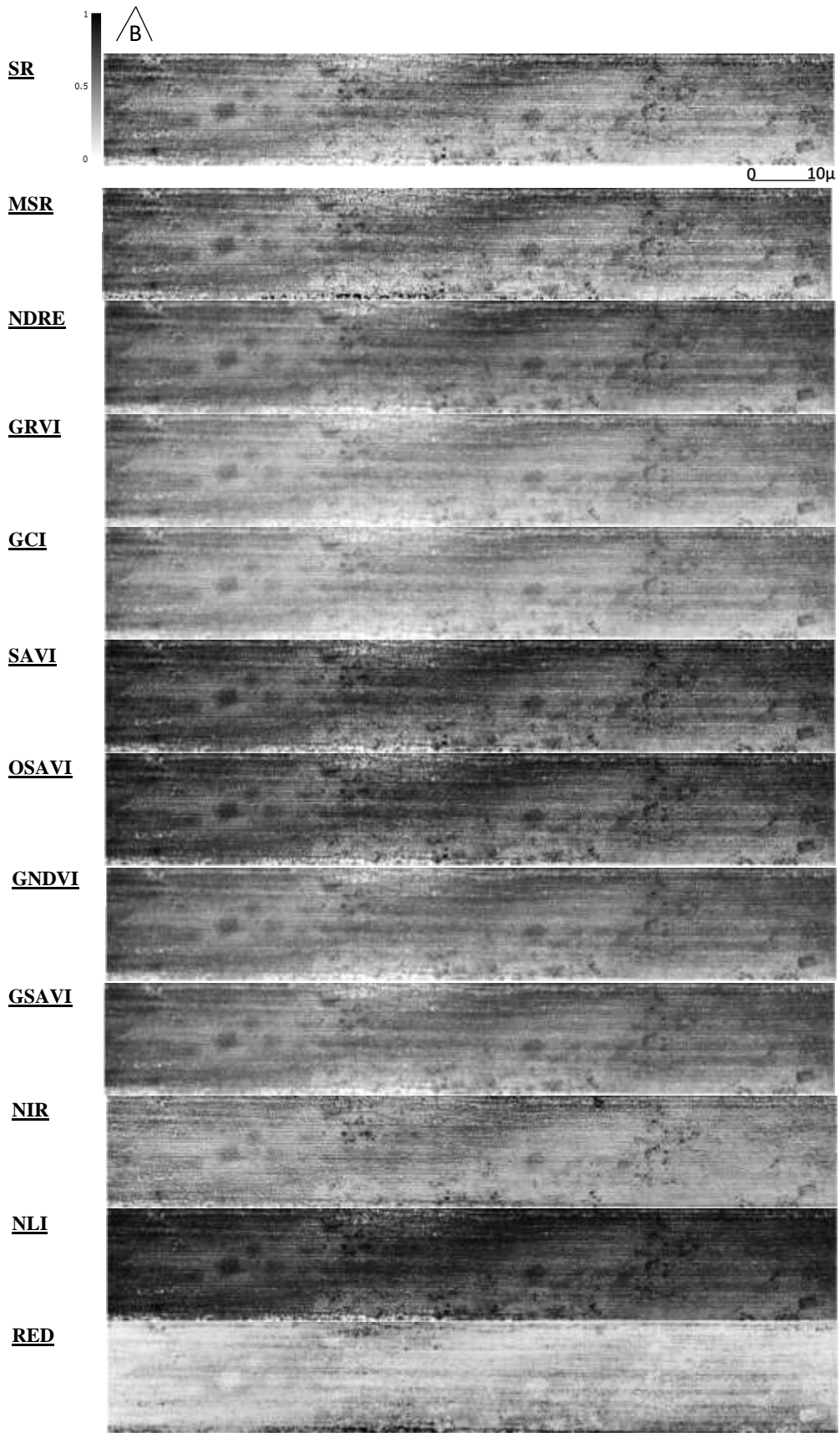
Πίνακας 3.2.4.1.1 Προσεγγιστικές διαστάσεις σημειακών ιχνών περιοχής Δ1

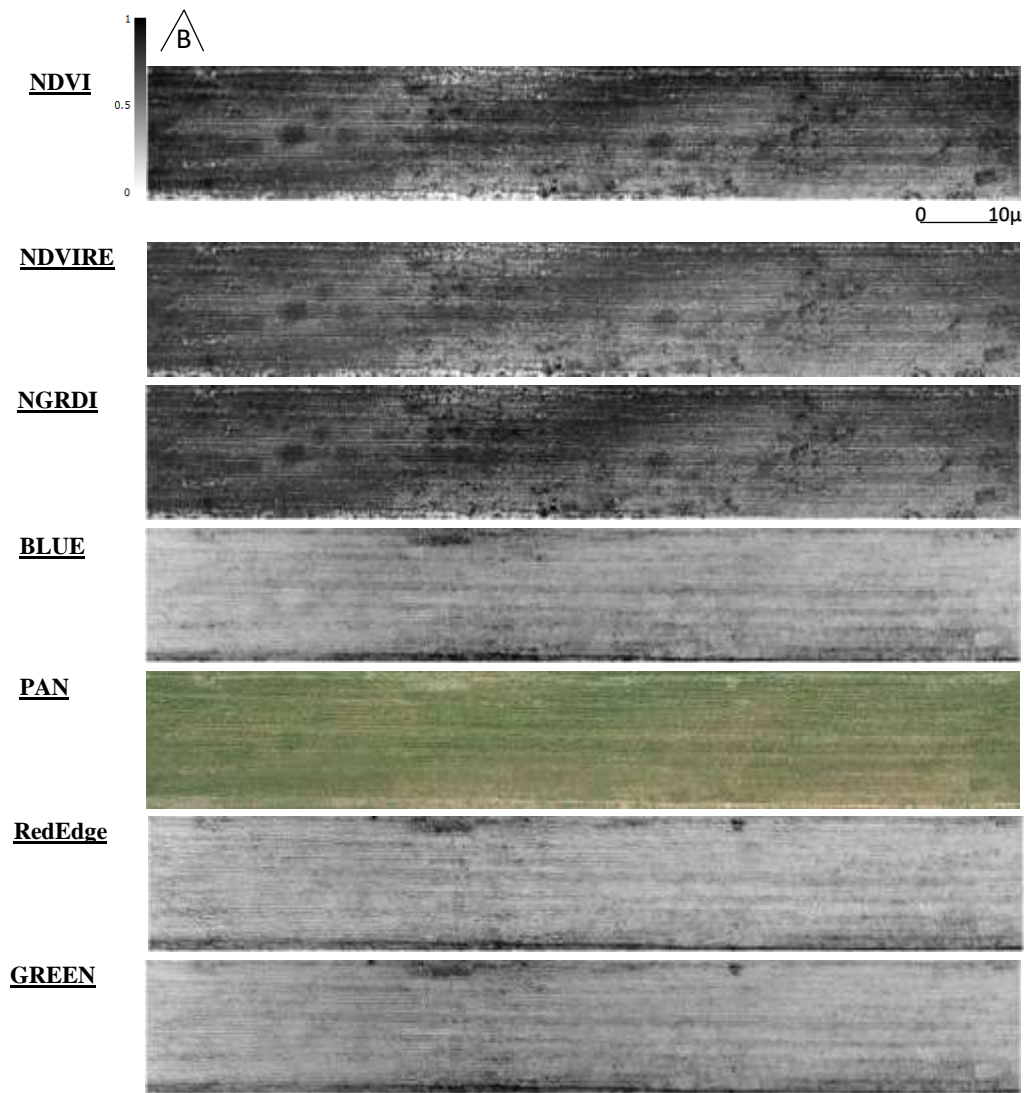
Περιοχή Δ1	Βαθμολογία
Ορθοφωτομωσαϊκό	
SR, MSR, NDRE, NDVI, SAVI, OSAVI	5
GNDVI, GSAVI,	4
NDVIRE, NGRDI GRVI, GCI	3
NIR, RED, NLI	2
BLUE, PAN	1
RedEdge, GREEN	0

Πίνακας 3.2.4.1.2 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση ιχνών της περιοχής Δ1



Σχήμα 3.2.4.1.1: Πάνω: η εικόνα του δείκτη SR στην περιοχή Δ1, Κάτω :περίγραμμα ίχνος πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σχεδιασμένο στην ίδια εικόνα





Σχήμα 3.2.4.1.2 Συγκριτικό σύμπλεγμα εικόνων δεικτών περιοχής Δ1

3.2.4.2. Περιοχή Δ2

80 μέτρα νοτιοανατολικά της περιοχής Δ2 και 130 μ ανατολικά του χωματοδρόμου εντοπίζεται ομάδα σημειακών ιχνών σχημάτων που ομοιάζουν σε παραλληλόγραμμα. Στο σχήμα 3.2.4.2.1, με γράμματα σημειώνονται τα περιγράμματα 4 ιχνών παρόμοιων διαστάσεων και με μ.ο. 2,925 μ x 2,05 μ (βλ. πιν. 3.2.4.2.1). Στην ίδια εικόνα, με αριθμούς είναι σημειωμένες 3 υποπεριοχές όπου εμφανίζονται σημειακές ανωμαλίες ασθενέστερου σήματος.

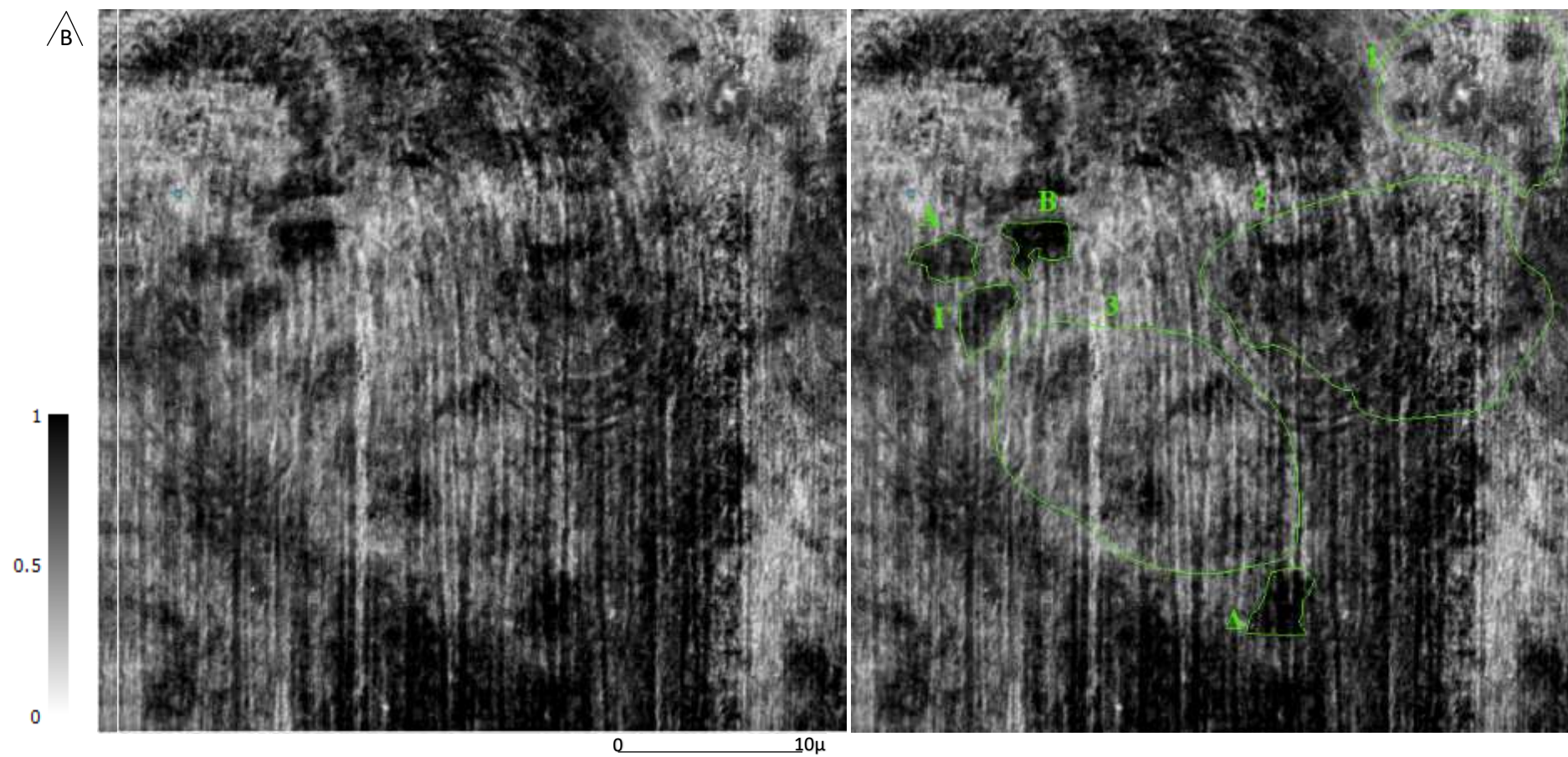
Στο ορθοφωτομωσαϊκό του δείκτη SR αποδίδονται αρκετά ικανοποιητικά τα περιγράμματα των ανωμαλιών. Παρομοίως, στην εικόνα από τον δείκτη MSR, η οποία εν γένει εμφανίζεται θορυβώδης, αλλά στην συγκεκριμένη περιοχή δεν εισάγει θόρυβο αλλά εμφανίζει με έντονη αντίθεση τα όρια των σημειακών ιχνών. Στο σχήμα 3.2.4.2.2 εμφανίζονται εμφανίζονται οι εκδοχές των εικόνων και στον πίνακα 3.2.4.2.2 οι εκτιμώμενες βαθμολογήσεις τους όσον αφορά την απόδοση των ιχνών.

Σημειακό ίχνος περιοχής Δ2	Πλάτος (μ)	Μήκος (μ)
A	3	2
B	2,5	2
Γ	3	2
Δ	3,2	2,2
Μ.Ο.	2,925	2,05

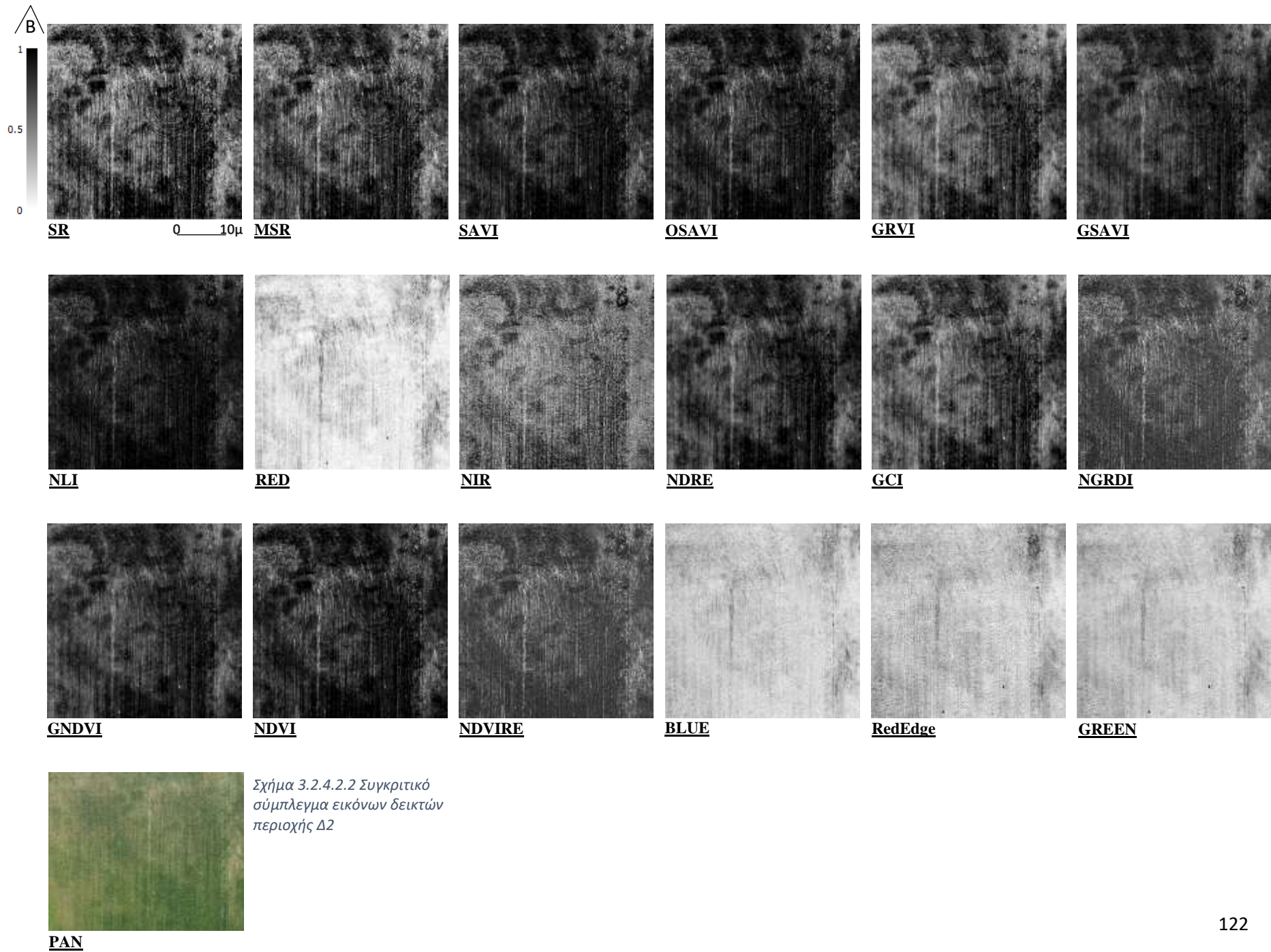
Πίνακας 3.2.4.2.1 Προσεγγιστικές διαστάσεις σημειακών ιχνών περιοχής Δ2

Περιοχή Δ3	
Ορθοφωτομωσαϊκό	Βαθμολογία
SR, MSR,	4
NDVI, SAVI, OSAVI, GRVI, NIR, GCI, GSAVI, NDRE	3
NGRDI, GNDVI, NDVIRE, NLI	2
PAN, RED	1
BLUE, RedEdge, GREEN	0

Πίνακας 3.2.4.2.2 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση ιχνών της περιοχής Δ2



Σχήμα 3.2.4.2.1 : Αριστερά: η εικόνα του δείκτη SR στην περιοχή Δ2, Δεξιά: περιγράμματα και περιοχές ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, σχεδιασμένα στην ίδια εικόνα



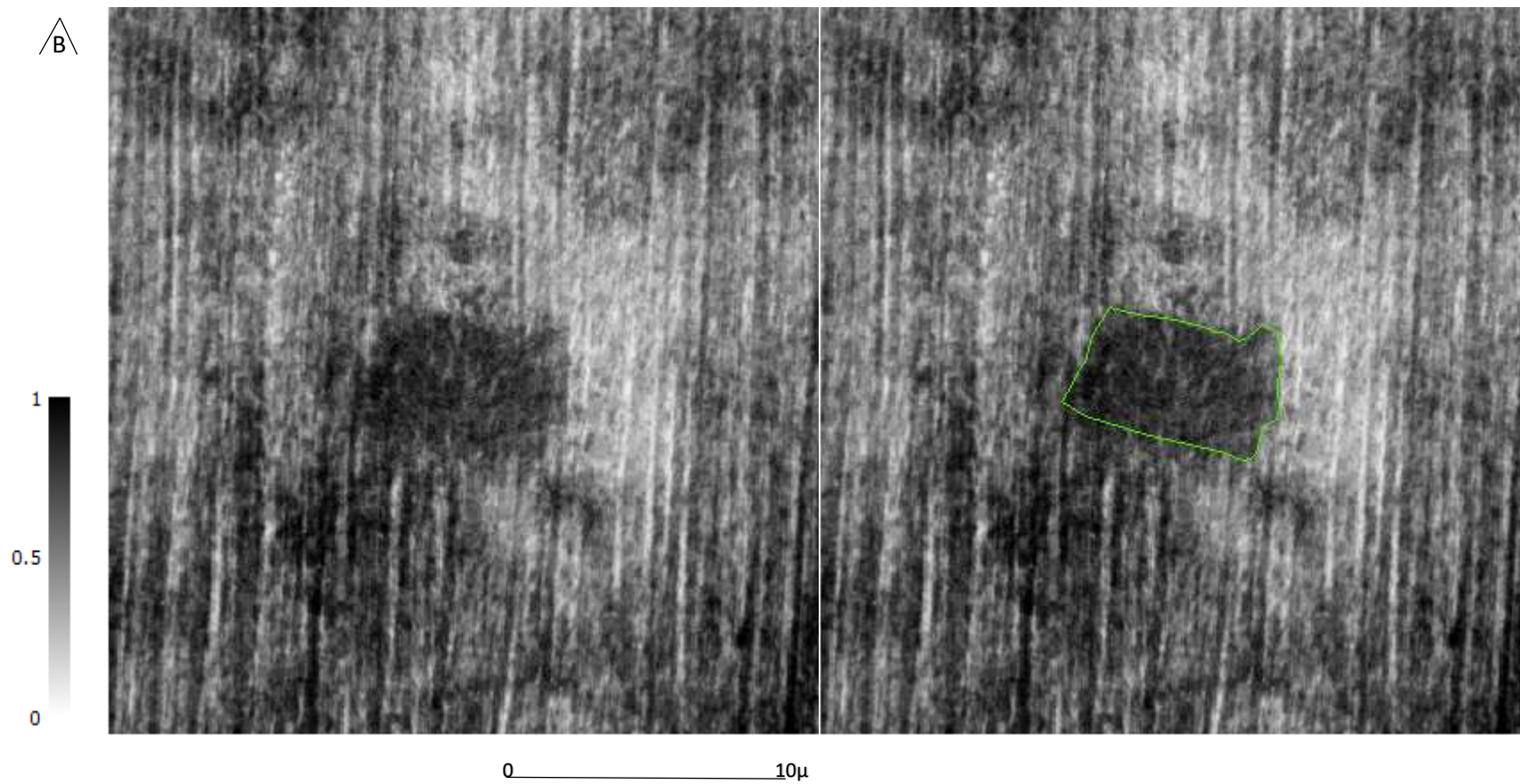
Σχήμα 3.2.4.2.2 Συγκριτικό
 σύμπλεγμα εικόνων δεικτών
 περιοχής Δ2

3.2.4.3. Περιοχή Δ3

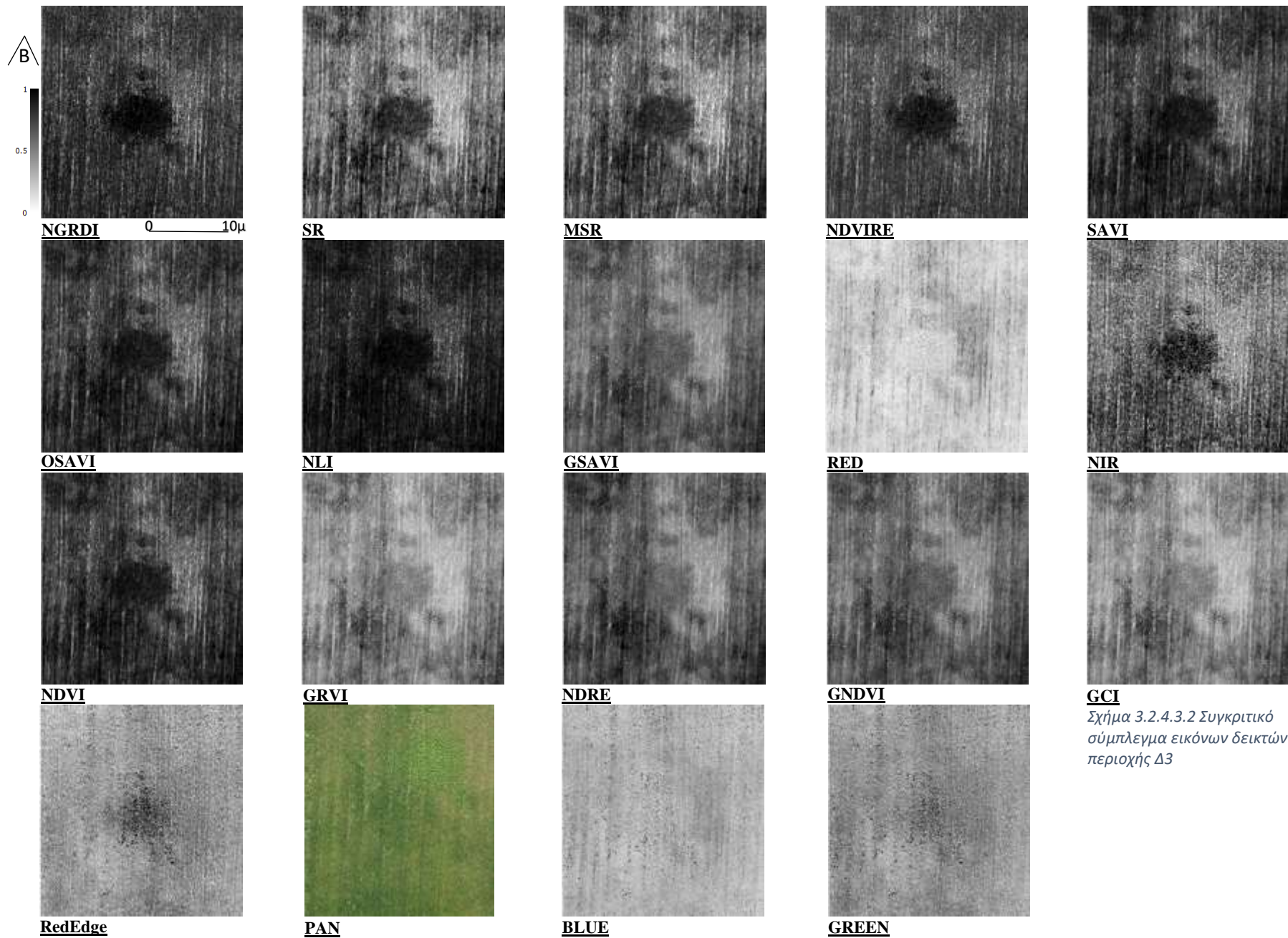
Πρόκειται για ένα πολύ ευδιάκριτο παραλληλόγραμο θετικό ίχνος βλάστησης διαστάσεων ~4,5μ x 6,5μ στο νότιο όριο του ορθοφωτομωσαϊκού (βλ. σχ. 3.2.4.3.1). Πιθανόν συνοδεύεται από πολύ μικρότερα σημειακά ίχνη (ίσως 3). Στην εικόνα του δείκτη NDVIRE οριοθετείται πολύ καλά το κεντρικό ίχνος αλλά εξαφανίζονται τα συνοδά μικρά (βλ. σχ. 3.2.4.3.2). Οι διαφοροποιήσεις με το περιβάλλον είναι ορατές σε αρκετές εικόνες όπως υποδηλώνει και η εκτιμώμενη βαθμολόγηση στον πίνακα 3.2.4.3.1.

Περιοχή Δ3	
Ορθοφωτομωσαϊκό	Βαθμολογία
SR, MSR, NGRDI , NDVIRE, NDVI, SAVI, OSAVI	4
NLI, NIR,	3
GSAVI, GRVI, NDRE, GNDVI, GCI	2
RED, RedEdge,	1
PAN, BLUE, GREEN	0

Πίνακας 3.2.4.3.1 Αξιολόγηση εκδοχών ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση ιχνών της περιοχής Δ3



Σχήμα 3.2.4.3.1 : Αριστερά: η εικόνα του δείκτη SR στην περιοχή Δ3, Δεξιά: περιγράμματα και περιοχές ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, σχεδιασμένα στην ίδια εικόνα



Σχήμα 3.2.4.3.2 Συγκριτικό
 σύμπλεγμα εικόνων δεικτών
 περιοχής Δ3

3.3. Συνολική Αξιολόγηση

Θέση	Εύρος Βαθμολόγησης
1	(60 - 56)
2	(55 - 51)
3	(50 - 46)
4	(45 - 41)
5	(40 - 36)
6	(35 - 31)
7	(30 - 26)
8	(25 - 21)
9	(20 - 16)
10	(15 - 0)

Πίνακας 3.3.1 Κατηγοριοποίηση ομάδων βαθμολόγησης δεικτών

Ορθοφωτομωσαϊκό	Θέση Κατάταξης	Εύρος Βαθμολόγησης	Άθροισμα Βαθμολογήσεων
NDVI	1	(60 - 56)	60
OSAVI	1	(60 - 56)	60
SAVI	1	(60 - 56)	60
SR	1	(60 - 56)	59
NDRE	2	(55 - 51)	55
GSAVI	2	(55 - 51)	54
GNDVI	2	(55 - 51)	52
GCI	3	(50 - 46)	49
GRVI	3	(50 - 46)	49
NLI	5	(40 - 36)	40
NDVIRE	5	(40 - 36)	39
MSR	5	(40 - 36)	37
NIR	5	(40 - 36)	36
NGRDI	6	(35 - 31)	33
RED	7	(30 - 26)	26
PAN	10	(15 - 0)	15
BLUE,	10	(15 - 0)	13
GREEN,	10	(15 - 0)	11
RedEdge	10	(15 - 0)	10

Πίνακας 3.3.2. Άθροισματα βαθμολογήσεων των εκδοχών του ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση των ιχνών ανά περιοχή και κατάταξη.

Έπειτα από την βαθμολόγηση των εκδοχών του ορθοφωτομωσαϊκού στην απόδοση των πιθανών ιχνών, ακολούθησε το άθροισμα των βαθμολογήσεων όπως σημειώνεται στην 4^η στήλη του πίνακα 3.3.2. Το συνολικό εύρος των αθροιστικών βαθμολογήσεων εκτείνεται από τις 10 έως τις 60 μονάδες.

Οι συνολικές βαθμολογίες κατηγοριοποιήθηκαν ανά 5 μονάδες κατά φθίνουσες τιμές (βλ. πιν. 3.3.1). Συνεπώς, η πρώτη θέση εμπεριέχει τις εικόνες που συγκέντρωσαν από 56 έως 60 μονάδες, η δεύτερη εκείνες που συγκέντρωσαν από 51 έως 55 μονάδες, η τρίτη εκείνες που συγκέντρωσαν από 46 έως 50 μονάδες και ούτω καθεξής. Εξάιρεση, αποτελεί η 10^η και τελευταία κατηγορία με εικόνες αθροιστικής βαθμολόγησης από 0 έως 15 μονάδες.

Στην πρώτη κατηγορία βρέθηκαν οι εικόνες που παράχθηκαν από τους δείκτες NDVI, SAVI, OSAVI και SR. Η δεύτερη κατηγορία εμπεριέχει τους δείκτες NDRE, GSAVI και GNDVI. Στην τρίτη κατηγορία βρίσκονται οι δείκτες GCI και GRVI. Στην τέταρτη κατηγορία με 41 έως 45 δεν βρέθηκε καμία εικόνα. Στην 5^η θέση στέκονται οι δείκτες NLI, NDVIRE και MSR καθώς και η εικόνα αποτύπωσης της ανάκλασης της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας – NIR. Ακολουθούν, στην 6^η και 7^η θέση, οι εικόνες του δείκτη NGRDI και της Ερυθρής ακτινοβολίας – RED, αντίστοιχα. Τελευταίοι στην κατάταξη και στην 10^η θέση της απόδοσης των ιχνών βρέθηκαν οι εικόνες της Ερυθρής Ακμής, Μπλε και Πράσινης ακτινοβολίας μαζί με το παγχρωματικό ορθοφωτομωσαϊκό.

4. Συμπεράσματα

Σε αυτήν την ενότητα αποθησαυρίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας, σχολιάζονται τα ευρήματά της και εκτιμώνονται πιθανές μελλοντικές ενέργειες προς την εξαγωγή επιπλέον συμπερασμάτων και πληροφοριών. Η ενότητα διακρίνεται σε δύο υποκεφάλαια. Αυτά είναι τα συμπεράσματα της μεθοδολογίας και τα χωροταξικά συμπεράσματα. Το πρώτο, αποτελεί την συνολική αποτίμηση της Τηλεπισκοπικής και Φωτοερμηνευτικής διαδικασίας καθώς και των εργαλείων προς την παραγωγή των τελικών προϊόντων κατά την εκπόνηση της εργασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα ευρήματα της φωτοερμηνευτικής διαδικασίας και η χωρική συνάφεια με το περιβάλλον τους. Τα συμπεράσματα της εργασίας σταματούν στην απλή υπόδειξη χώρων όπου εμφανίζονται ίχνη πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Τα ίχνη δεν συσχετίστηκαν με ιστορικά δεδομένα, όπως διανομές του υπουργείου γεωργίας, άλλους ιστορικούς χάρτες, αεροφωτογραφίες του 1945 (και άλλων παλιών χρονολογιών), κτλ. Μία τέτοια διεργασία πιθανότατα να οδηγούσε στην ερμηνεία των ιχνών, μέρους ή του συνόλου τους, όπως για παράδειγμα στην αντιστοίχιση ιχνών σε αγροτικούς δρόμους ή σε κατασκευές των αρχών του 20ου αιώνα. Το ενδεχόμενο τα ίχνη να ανταποκρίνονται σε θέσεις αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, αποτελείται για διερεύνηση στην κρίση της αρχαιολογικής κοινότητας μετά από κατάλληλες έρευνες.

4.1. Συμπεράσματα Μεθοδολογίας

Όπως σημειώνεται στην Εισαγωγή, βασικοί στόχοι της εργασίας αποτέλεσαν η εξοικείωση του φοιτητή με την εφαρμοσμένη Τηλεπισκόπηση, τις τεχνικές και τις μεθοδολογίες της και η πρώτη επαφή με όλα τα στάδια σχετικών εφαρμογών. Με το πέρας της εργασίας, μπορεί να ειπωθεί ότι οι αρχικοί στόχοι της εργασίας εάν δεν επετεύχθησαν, σίγουρα προσεγγίστικαν όπως δικαιολογείται παρακάτω. Σημειώνεται επίσης, η συμβολή του επιλεγμένου εξοπλισμού στην επίτευξη αυτών των στόχων.

- Το Wingtra ONE gen II επέτρεψε την σύντομη διεκπεραίωση της αποστολής εναέριων λήψεων έκτασης 300 στρεμμάτων. Κάθε μία από τις δύο πτήσεις διήρκησε 15 λεπτά. Προσθέτοντας σε αυτά τα 30 λεπτά τον απαιτούμενο χρόνο προετοιμασίας του ΣμηΕΑ για πτήση, της ρύθμισης της επίγειας βάσης GPS, της ραδιομετρικής βαθμονόμησης της πολυφασματικής κάμερας και της ακόλουθης συλλογής και αποθήκευσης του εξοπλισμού, ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής στο πεδίο εκυμάνθη περίπου στην μία ώρα. Ο χρόνος αποτύπωσης είναι αξιοσημείωτα μικρός. Μία απόπειρα εναέριας κάλυψης αντίστοιχης έκτασης με κάποιο μηΕΑ μη σταθερών πτερυγίων θα απαιτούσε περισσότερες πτήσεις καθώς το εν δυνάμει εύρος κάλυψης μίας πτήσης του Wingtra είναι ιδιαιτέρως εκτενές.

- Η διαδικασία προετοιμασίας και αξιοποίησης του Wingtra ONE gen II δεν φάνηκε περίπλοκη παρά το γεγονός ότι εκτελέστηκε από διπλωματούχο χειριστή μηΕΑ. Σε αυτό συνέβαλαν τα διαχειρίσιμα εξαρτήματα του αεροσκάφους, το εύχρηστο λογισμικό WingtraPilot και το πλούσιο, διαδικτυακό και μη, υλικό πληροφόρησης χειρισμού.
 - Επιπροσθέτως, το σύστημα PPK αφαίρεσε την, συνήθη στην εναέρια χαρτογράφηση, διαδικασία εφαρμογής και καταγραφής φωτοσταθερών εδάφους. Έτσι, ο χρόνος της αποστολής ελαττώθηκε περαιτέρω αλλά και ο φοιτητής απαλλάχθηκε από την ακόλουθη διαδικασία γεωγραφικής διόρθωσης στο λογισμικό καθώς αντί αυτής εκτελέστηκε αντιστοίχιση των σημείων αυτόματα στον υπολογιστή. Για τον φοιτητή συνεπώς, οι απαραίτητες διεργασίες για την παραγωγή των προϊόντων απλουστεύθηκαν περαιτέρω παρέχοντάς του περισσότερο χρόνο ενασχόλησης με εξειδικευμένα σημεία της Τηλεπισκόπησης όπως η παραγωγή των εικόνων δεικτών βλάστησης.
 - Στο περιβάλλον του λογισμικού Agisoft Metashape δημιουργήθηκαν, μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών, προϊόντα όπως το νέφος σημείων, το Digital Elevation Model, το πανχρωματικό ορθοφωτομωσαϊκό, οι εικόνες της ανάκλασης της ΗΜΑ και εικόνες δεικτών βλάστησης. Τα τελικά προϊόντα σημειώνουν ιδιαιτέρως αξιόλογη ποιότητα, ανάλυση και ακρίβεια. Αξιοσημείωτο είναι επίσης, το σύντομο χρονικό διάστημα εντός του οποίου το λογισμικό επεξεργάστηκε έναν όγκο δεδομένων 298 πανχρωματικών και 1.865 πολυφασματικών εικόνων.
 - Το λογισμικό Agisoft Metashape θεωρήθηκε εύχρηστο. Επιπλέον, ιδιαιτέρως σημαντική στάθηκε και η συνεισφορά του αναλυτικού φυλλαδίου - οδηγού της Micasense για την παραγωγή των τελικών προϊόντων. Μέσα από την εκτέλεση των διεργασιών – βημάτων στο λογισμικό και ακολουθώντας τις σχετικές οδηγίες του φυλλαδίου, η θεωρία και μεθοδολογία της Τηλεπισκόπησης κατεστάθη περαιτέρω κατανοητή.
- Η εφαρμογή τεχνικών δορυφορικής αρχαιολογίας υπέδειξε ανωμαλίες πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σε έκταση η οποία απαιτεί πολύ περισσότερο χρόνο για να ερευνηθεί με επίγειες αναγνωριστικές τεχνικές του υπεδάφους. Η χρήση του συγκεκριμένου ΣμηΕΑ σταθερών πτερυγίων έδωσε την δυνατότητα συλλογής block εικόνων (ένα με την πανχρωματική κάμερα και ένα με τον πολυφασματικό αισθητήρα) μίας έκτασης 300 στρεμμάτων σε χρόνο 15 λεπτών για κάθε πτήση. Ο συνολικός χρόνος της λήψης των δεδομένων από το αίτημα πτήσης με το συγκεκριμένο ΣμηΕΑ έως την τελική εξαγωγή των εικόνων σε επεξεργάσιμη μορφή είναι αρκετά μικρός. Πρόκειται για μία σημαντική παράμετρο έχοντας υπόψη το ότι τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που λαμβάνονται είναι ίδιας παραγωγής και όχι αγορασμένα.
- Η ημερομηνία λήψης των αεροφωτογραφιών ήταν εντός της επιθυμητής εποχής για εκτάσεις καλλιέργειας σιτηρών και δεν εμπόδιζε την εμφάνιση ιχνών βλάστησης στα ορθοφωτομωσαϊκά των δεικτών. Μελλοντικές πιθανές απόπειρες αποτύπωσης του χώρου με παρόμοιες μεθόδους αλλά σε διαφορετική εποχή ίσως παρουσιάσουν διαφορετικά αποτελέσματα.

- Πέραν των παραπάνω συμπερασμάτων μεθοδολογικής φύσεως, εξήχθηκε πλήθος συμπερασμάτων σε ένα από τα τελευταία στάδια της εργασίας. Πρόκειται για την φάση σύγκρισης των τελικών εικόνων και αναζήτησης ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.
- Στο πανχρωματικό ορθοφωτομωσαϊκό δεν φάνηκαν ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις με εξαίρεση την γραμμική ανωμαλία στην περιοχή B2. Ίσως μία μελλοντική αεροφωτογράφιση κεκλιμένων λήψεων να παρουσιάσει διαφορετικά αποτελέσματα καθώς υπάρχουν αρκετές τέτοιες περιπτώσεις στην διεθνή βιβλιογραφία της Εναέριας και Δορυφορικής Αρχαιολογίας.
 - Στις περισσότερες εικόνες της HMA (BLUE, GREEN, RED, RedEdge) διακρίνονται αρκετά λιγότερα ίχνη συγκριτικά με εικόνες των δεικτών και επιπλέον εμφανίζονται με ασθενέστερο σήμα. Εξαίρεση, αποτελεί το γραμμικό, αρνητικό ίχνος βλάστησης στις NA παρυφές της τοπογραφικής τράπεζας που αποτυπώνεται με οξείες απολήξεις στις απομωνομένες ζώνες της HMA, BLUE και RED.
 - Τα θετικά ίχνη βλάστησης μικρών διαστάσεων και παραλληλογραμμοειδών σχημάτων αποτυπώνονται ευδιάκριτα στα ορθοφωτομωσαϊκά των δεικτών ενώ στις απομωνομένες ζώνες της HMA εμφανίζονται με ασθενέστερο σήμα με εξαιρέσεις στην ζώνη NIR. Στο ορθοφωτομωσαϊκό της ζώνης NIR, αρκετά από τα ίχνη εμφανίζονται αλλά με ασθενέστερο σήμα από ότι στα ορθοφωτομωσαϊκά των δεικτών.
 - Στην εργασία συνεπώς, η εφαρμογή των δεικτών και η παραγωγή των αντίστοιχων εικόνων στάθηκαν καίριας σημασίας για την αναζήτηση ιχνών πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.
 - Οι δείκτες NDVI, SR, SAVI & OSAVI αξιολογήθηκαν κορυφαίοι στην αναζήτηση ιχνών στην παρούσα εργασία. Βιβλιογραφικά, παρουσιάζουν μία δημοτικότητα ως αποτελεσματικοί στην Δορυφορική Αρχαιολογία. Ειδικότερα, ο δείκτης NDVI ίσως αποτελεί την πρώτη επιλογή δείκτη για απόδοση ιχνών Δορυφορικής Αρχαιολογίας. Αξιοσημείωτη είναι η μεγάλη ομοιότητα που παρουσιάζουν οι εικόνες που παρήχθησαν από τους δείκτες NDVI, SAVI και OSAVI. Πιθανή αιτιολόγηση μπορεί να εντοπιστεί στο ότι οι 2 τελευταίοι αποτελούν παραλλαγή του πρώτου.
 - Στην εικόνα από τον δείκτη SR, ορισμένα ίχνη εμφανίζονται ελάχιστα πιο θολά από ότι στους 3 προαναφερθέντες ενώ σε άλλα σημεία ισχύει το αντίστροφο. Στον τύπο του δείκτη απλού λόγου της NIR προς την RED ακτινοβολία, όπως και στους τύπους των NDVI, SAVI και OSAVI, επιχειρείται η όξυνση της αποτύπωσης των διαφορών μεταξύ υγιούς και ασθενούς βλάστησης με αποτελεσματικό και όχι πολύπλοκο τρόπο.
 - Η εφαρμογή των δεικτών GRVI, GCI, NDRE παρήγαγε εικόνες στις οποίες οι ανωμαλίες και το περιβάλλον ομοιάζουν σημαντικά.
 - Η εφαρμογή του δείκτη MSR παρήγαγε εικόνα με θόρυβο. Στα σημεία που δεν υπάρχει θόρυβος, η εικόνα είναι πανομοιότυπη με αυτή του δείκτη SR.

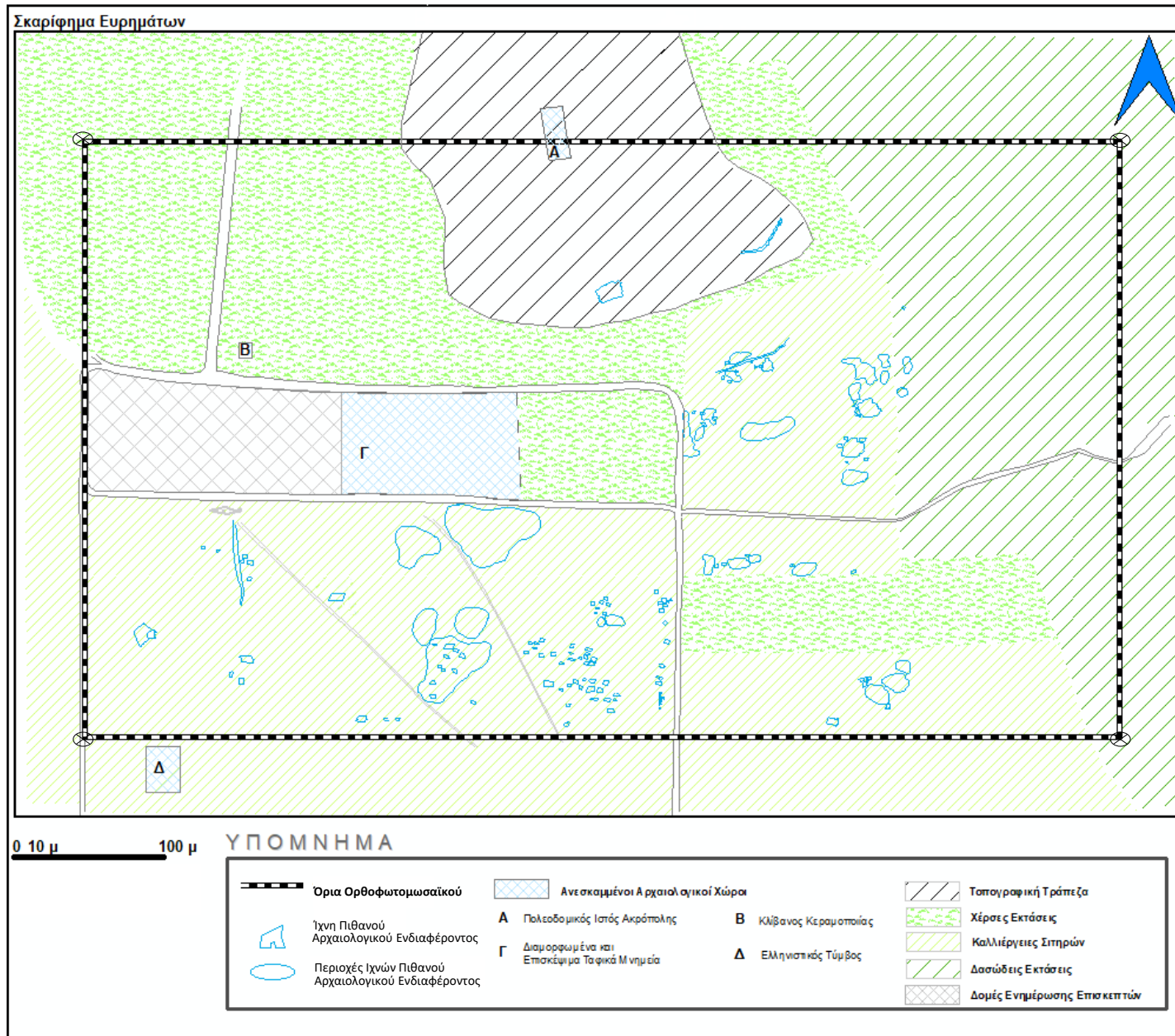
4.2. Χωροταξικά Συμπεράσματα

Στην συνολική έκταση του ορθοφωτομωσαϊκού, εντοπίστηκαν ίχνη πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος που διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (βλ. σχ.4.2.1). Στην πρώτη ανήκουν τα γραμμικής μορφής, στην δεύτερη ανήκουν τα παραλληλογράμμου σχήματος και μικρών διαστάσεων και στην 3^η ανήκουν τα παραλληλογράμμου σχήματος και μεγαλύτερων διαστάσεων.

1. Στις εκδοχές του ορθοφωτομωσαϊκού, εντοπίστηκαν τρία γραμμικά ίχνη πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Πρόκειται για ένα αρνητικό και δύο θετικά ίχνη βλάστησης.
 - ο Το αρνητικό γραμμικό ίχνος δηλαδή ίχνος ασθενικής βλάστησης είναι διαστάσεων 40 μ μήκους και 1-2 μ πλάτους στις νοτιοανατολικές παρυφές της τοπογραφικής τράπεζας (βλ. παρ. 3.2.2.2).
 - ο Μόλις 60 μ νότια από την παραπάνω ανωμαλία εμφανίζεται θετικό, γραμμικό ίχνος βλάστησης, διαστάσεων 52μ μήκους και πλάτους 0,8 – 1,2μ (βλ. παρ. 3.2.3.1).
 - ο Το 2^ο θετικό, γραμμικό ίχνος βλάστησης, διαστάσεων 57μ μήκους και 1-3 μ πλάτους βρίσκεται νότια από τις δομές ενημέρωσης επισκεπτών (βλ. παρ. 3.2.1.1).
2. Στην συνολική έκταση του ορθοφωτομωσαϊκού εμφανίζεται πλήθος θετικών ιχνών βλάστησης προσεγγιστικά παρόμοιων διαστάσεων. Θεωρήθηκαν πως πιθανών ενέχουν αρχαιολογικό ενδιαφέρον καθώς οι διαστάσεις αυτών ομοιάζουν με εκείνες των ανασκαμμένων τάφων εντός του αρχαιολογικού χώρου. Αυτά τα ίχνη εμφανίζονται και στις τρεις καλλιεργήσιμες εκτάσεις οι οποίες τέμνονται από τους αγροτικούς δρόμους. Στο σκαρίφημα απόδοσης των ιχνών (σχήμα 3.5.1) φαίνονται σημειωμένα τα όρια πολλών από αυτών των σημειακών ανωμαλιών αλλά επίσης σημειώνονται και αρκετές περιοχές συγκέντρωσης παρόμοιων διαστάσεων ιχνών όπως προσδιορίζονται στο κεφάλαιο 3.2. Στην περιοχή νότια και νοτιοανατολικά του επισκέψιμου αρχαιολογικού χώρου
3. Στην τρίτη κατηγορία συγκαταλέγονται 3 θετικά ίχνη βλάστησης.
 - ο Το πρώτο θετικό ίχνος βλάστησης εμφανίζεται στις νότιες παρυφές της τοπογραφικής τράπεζας και πλησίον γνωστών ανασκαμμένων αρχαιοτήτων. Έχει σχήμα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, διαστάσεων 9μ x 17μ (βλ. παρ. 3.2.2.1).
 - ο Στα νότιοανατολικά όρια του ορθοφωτομωσαϊκού εντοπίζεται παραλληλογράμμου σχήματος, θετικό ίχνος βλάστησης διαστάσεων 4,5μ x 6,5μ (βλ. παρ. 3.2.4.3).
 - ο Το τελευταίο ίχνος της κατηγορίας βρίσκεται νότια από τις εγκαταστάσεις για τους επισκέπτες και εφάπτεται στον αγωγό υδροδότησης⁸. Είναι τραπεζοειδούς μορφή και προσεγγιστικά, εμφανίζει διαστάσεις παραλληλογράμμου 5,3μ x 8μ.

⁸ Το ίχνος του αγωγού εμφανίζεται στις ορθοεικόνες.

Σχήμα 4.2.1:
Σκαριφηματική
απόδοση
ευρημάτων
ορθοφωτομωσαϊκού



5. Βιβλιογραφία

- Abate, N., Elfadaly, A., Masini, N., & Lasaponara, R. (2020). Multitemporal 2016-2018 Sentinel-2 data enhancement for landscape archaeology: The case study of the Foggia province, Southern Italy. *Remote Sensing*, 12(8), 1309.
- Anyamba, A., Estes, J., Kline, K., & Collins, E. (2015). *Remote sensing*. Elsevier.
- Arjomandi, M., Agostino, S., Mammone, M., Nelson, M., & Zhou, T. (2006). *Classification of unmanned aerial vehicles* (pp. 1–48) [Report for Mechanical Engineering class]. University of Adelaide.
- Baret, F. (2016). Estimation of biophysical variables from satellite observations. In *Land surface remote sensing in agriculture and forest* (pp. 37–80). Elsevier.
- Bewley, R. H. (2003). Aerial survey for archaeology. *The Photogrammetric Record*, 18(104), 273–292. <https://doi.org/10.1046/j.0031-868X.2003.00023.x>
- Boiarskii, B., & Hasegawa, H. (2019). Comparison of NDVI and NDRE Indices to Detect Differences in Vegetation and Chlorophyll Content. *J. Mech. Contin. Math. Sci, Special Issue No.(4)*, 20–29. <https://doi.org/10.26782/jmcms.spl.4/2019.11.00003>
- Booyesen, R., Gloaguen, R., Lorenz, S., Zimmermann, R., & Nex, P. A. M. (2021). Geological Remote Sensing. In D. Alderton & S. A. Elias (Eds.), *Encyclopedia of Geology (Second Edition)* (pp. 301–314). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12127-X>
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing, Fifth Edition* (5th Edition). The Guilford Press.
- Chen, J. M. (1996). Evaluation of Vegetation Indices and a Modified Simple Ratio for Boreal Applications. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 22(3), 229–242. <https://doi.org/10.1080/07038992.1996.10855178>

- Cowen, D. J., & Jensen, J. R. (1998). Extraction and Modeling of Urban Attributes Using Remote Sensing Technology. In D. Liverman, E. F. Moran, R. R. Rindfuss, & P. C. Stern (Eds.), *People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science* (pp. 164-188.). National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/5963>
- DiBiase, D. (2014). *Nature of Geographic Information*. BCcampus, Pennsylvania State University. <https://opentextbc.ca/natureofgeographicinformation/>
- Donati, J. C., & Sarris, A. (2016). Evidence for Two Planned Greek Settlements in the Peloponnese from Satellite Remote Sensing. *American Journal of Archaeology*, *120*(3), 361–398. <https://doi.org/10.3764/aja.120.3.0361>
- Doneus, M., & Scharrer-Liska, G. (2003). Archaeological feedback of aerial archaeological interpretation of an Early Medieval graveyard at Frohsdorf, Lower Austria. *Archaeologia Polona*, *41*, 146–149.
- Eisenbeiss, H. (2009). *UAV photogrammetry* [Διδακτορική Διατριβή, ETH Zurich]. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-005939264>
- Fang, H., & Liang, S. (2014). Leaf Area Index Models☆. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09076-X>
- Gelbart, A., Redman, B., Light, R., Schwartzlow, C., & Griffis, A. (2002). Flash lidar based on multiple-slit streak tube imaging lidar. *Proc SPIE*, *4723*, 9–18. <https://doi.org/10.1117/12.476407>
- Gitelson, A. A., Gritz †, Y., & Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology*, *160*(3), 271–282. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00887>

- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., & Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289–298. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7)
- Hinzmann, T., Schönberger, J. L., Pollefeys, M., & Siegwart, R. (2018). Mapping on the Fly: Real-Time 3D Dense Reconstruction, Digital Surface Map and Incremental Orthomosaic Generation for Unmanned Aerial Vehicles. In M. Hutter & R. Siegwart (Eds.), *Field and Service Robotics* (Vol. 5, pp. 383–396). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67361-5_25
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Hunt, E. R., Cavigelli, M., Daughtry, C. S. T., McMurtrey, J. E., & Walthall, C. L. (2005). Evaluation of Digital Photography from Model Aircraft for Remote Sensing of Crop Biomass and Nitrogen Status. *Precision Agriculture*, 6(4), 359–378. <https://doi.org/10.1007/s11119-005-2324-5>
- Kaimaris, D. (2022). UTILIZATION OF DIFFERENT SENSORS IN UAV FOR THE DETECTION AND OPTIMAL VISUAL OBSERVATION OF THE MARKS OVER BURIED ANCIENT REMAINS. *Scientific Culture*, 8(1), 129–145. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5772482>
- Kaimaris, D., Patias, P., & Tsakiri-Strati, M. (2012). Best period for high spatial resolution satellite images for the detection of marks of buried structures. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 15(1), 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2011.12.001>
- Kumar, S. (2005). *Basics of Remote Sensing and GIS*. Firewall Media.
- Lasaponara, R., & Masini, N. (2007). Detection of archaeological crop marks by using satellite QuickBird multispectral imagery. *Journal of Archaeological Science*, 34(2), 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.04.014>

- Li, Z., Zhu, Q., & Gold, C. (2005). Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology. In *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology* (1st Edition). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9780203357132>
- Lussem, U., Bolten, A., Gnyp, M., Jasper, J., & Bareth, G. (2018). EVALUATION OF RGB-BASED VEGETATION INDICES FROM UAV IMAGERY TO ESTIMATE FORAGE YIELD IN GRASSLAND. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(3), 1215–1219. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-1215-2018>
- Marta, A. D., Grifoni, D., Mancini, M., Orlando, F., Guasconi, F., & Orlandini, S. (2015). Durum wheat in-field monitoring and early-yield prediction: Assessment of potential use of high resolution satellite imagery in a hilly area of Tuscany, Central Italy. *The Journal of Agricultural Science*, 153(1), 68–77.
<https://doi.org/10.1017/S0021859613000877>
- Masini, N., Rizzo, E., Lasaponara, R., & Orefici, G. (2008). Integrated remote sensing techniques for the detection of buried archaeological adobe structures: Preliminary results in Cahuachi (Peru). *Advances in Geosciences*, 19.
<https://doi.org/10.5194/adgeo-19-75-2008>
- Moriarty, C., Cowley, D. C., Wade, T., & Nichol, C. J. (2019). Deploying multispectral remote sensing for multi-temporal analysis of archaeological crop stress at Ravenshall, Fife, Scotland. *Archaeological Prospection*, 26(1), 33–46.
<https://doi.org/10.1002/arp.1721>
- Motohka, T., Nasahara, K., Hiroyuki, O., & Satoshi, T. (2010). Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sensing*, 2(10), 2369–2387. <https://doi.org/10.3390/rs2102369>

- Ninfo, A., Fontana, A., Mozzi, P., & Ferrarese, F. (2009). The map of Altinum, ancestor of Venice. *Science (New York, N.Y.)*, 325(5940), 577.
<https://doi.org/10.1126/science.1174206>
- Oikonomidis, D., Karamitrou, A., Tsokas, G. N., & Astaras, T. (2011). Combined use of Satellite Remote Sensing, GIS, and Geophysical Data to Archaeological Research in Europos Area, Macedonia (Northern Greece). *Remote Sensing and Geoinformation Not Only for Scientific Cooperation*, 94–101.
<http://www.earsel.org/symposia/2011-symposium-Prague/Proceedings/PDF/Cultural%20Heritage/11%20ok25-a2383-oikonomidis.pdf>
- Palik, M., & Nagy, M. (2019). Brief history of UAV development. *Repüléstudományi Közlemények (1997-TŐL)*, 31(1), 155–166. <https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.13>
- Perry, J., Mohamed, A., Abd-Elrahman, A., Bowman, S., Kaddoura, Y., & Watts, A. (2008). Precision directly georeferenced unmanned aerial remote sensing system: Performance evaluation. *Proceedings of the 2008 National Technical Meeting of The Institute of Navigation*, 680–688.
- Peter, B. G., Messina, J. P., Carroll, J. W., Zhi, J., Chimonyo, V., Lin, S., & Snapp, S. S. (2020). Multi-spatial resolution satellite and sUAS imagery for precision agriculture on smallholder farms in Malawi. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 86(2), 107–119.
- Raymond, S. (1990). *ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ* (Πεσβάνης Λεωνίδας Κ., Trans.; 3rd ed., Vol. 2). ΙΔΙΩΤΙΚΗ.
- Read, J. M., Chambers, C., & Torrado, M. (2020). Remote Sensing. In A. Kobayashi (Ed.), *International Encyclopedia of Human Geography (Second Edition)* (pp. 411–422). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102295-5.10589-X>

- Read, J. M., & Torrado, M. (2009). Remote Sensing. In *International Encyclopedia of Human Geography* (pp. 335–346). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.00508-3>
- Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, *55*(2), 95–107.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 1: Technical Presentations*, 309–317. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
- Sarris, A., & Donati, J. (2015). Cities and Satellites: Discovering Ancient Urban Landscapes through Remote Sensing Applications. In *Best practices of geoinformatic technologies for the mapping of archaeolandscapes* (pp. 127–136). Archaeopress Publishing Ltd.
- Scharrer-Liška, G., Cichocki, O., & Wiltschke-Schrotta, K. (2015). Wooden coffins in the Avar-period cemetery in Frohsdorf, Lower Austria. *Open Archaeology*, *1*(1), 54–78. <https://doi.org/10.1515/opar-2015-0001>
- Sotiriadis, L., & Astaras, T. A. (1988). The evolution of the Thessaloniki-Gianitsa plain in Northern Greece during the last 2500 years—From Alexander the Great until today. In G. Lang & C. Schluchter (Eds.), *Lake, mire and river environments during the last 15000 years* (First Edition, pp. 105–114). A.A. Balkema.
- Stanjek, H., & Faßbinder, J. W. E. (1995). Soil aspects affecting archaeological details in aerial photographs. *Archaeological Prospection*, *2*(2), 91–101. [https://doi.org/10.1002/1099-0763\(199506\)2:2<91::AID-ARP6140020205>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/1099-0763(199506)2:2<91::AID-ARP6140020205>3.0.CO;2-Y)
- Stewart, C. (2017). Detection of Archaeological Residues in Vegetated Areas Using Satellite Synthetic Aperture Radar. *Remote Sensing*, *9*(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/rs9020118>

- Tsokas, G. N., Giannopoulos, A., Tsourlos, P., Vargemezis, G., Tealby, J. M., Sarris, A., Papazachos, C. B., & Savopoulou, T. (1994). A large scale geophysical survey in the archaeological site of Europos (northern Greece). *Journal of Applied Geophysics*, 32(1), 85–98. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90011-6](https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90011-6)
- Watson, D. J. (1947). Comparative Physiological Studies on the Growth of Field Crops: II. The Effect of Varying Nutrient Supply on Net Assimilation Rate and Leaf Area. *Annals of Botany*, 11(44), 375–407.
- Whitehead, K., & Hugenholtz, C. H. (2014). Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 1: A review of progress and challenges. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 02(03), 69–85. <https://doi.org/10.1139/juvs-2014-0006>
- Αστάρης, Θ. Α. (2011). *Τηλεπισκόπηση – Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες* (2η έκδοση). Αϊβάζης. <https://www.protoporia.gr/astaras-8eod-thlepiskophsh-fwtoermhneia-stis-gewepisthmes-9789609929370.html>
- Καϊμάρης, Δ. (2014). *Τηλεπισκόπηση-Θεωρητική προσέγγιση και εργαστηριακές ασκήσεις*. Ζήτη.
- Κανδύλας, Α. Α. (2020). *Σύγκριση και αξιολόγηση πολυφασματικών αισθητήρων για μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs)* [Διπλωματική Εργασία]. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Καραμήτρου, Α. Α. (2012). *Combined use of geophysical data, satellite remote sensing data and geographic information systems (gis) to locate and map archaeological relics* [Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας]. <http://ikee.lib.auth.gr/record/133293>
- Κούτσιας, Ν. (2018). In *Τηλεπισκόπηση* (pp. 12–13). Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων.

Μπουτσούκης, Ι. Θ. (2022). *Χρήση τοπογραφικών οργάνων και μέσων για την εξακρίβωση χρήσεων γης* [Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία]. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Πατιάς, Π. (1993). *Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία*. Εκδόσεις Ζήτη.

<https://ziti.gr/vivlio/patias-petros-eisagogi-sti-fotogrammetria/>

Σαββοπούλου, Θ. (1988). *Ευρωπός, 1988*. Αϊβάζης - Ζουμπούλης.

https://www.academia.edu/19663344/%CE%98_%CE%A3%CE%B1%CE%B2%CE%B2%CE%BF%CF%80%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%BF%CF%85_%CE%95%CF%85%CF%81%CF%89%CF%80%CF%8C%CF%82_1988

Σαββοπούλου, Θ. (1997). Ευρωπός, πόλις Μακεδονίας, από Ευρωπαίου του Μακεδόνοσ και Ωρειθυίας της Κέκροποσ;". Το εθνικόν Ευρωπαϊός. *ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ & ΤΕΧΝΕΣ*, 64, 79–82.

Σαββοπούλου, Θ., & Γιαννάκης, Ι. (2008). Ανάδειξη αρχαιολογικού χώρου Ευρωπαίου: Από τον σχεδιασμό στην υλοποίηση. *ΑΕΜΘ*, 22, 461–468.

6. Ηλεκτρονικές Πηγές

Agisoft. (2022). MicaSense RedEdge MX processing workflow (including Reflectance

Calibration) in Agisoft Metashape Professional. Agisoft Helpdesk Portal. Ενημερώθηκε : 22/2/2022 . Ανακτήθηκε : 10/9/2022 από :

<https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000148780-micasense-rededge-mx-processing-workflow-including-reflectance-calibration-in-agisoft-metashape-pro>

Vision Aerial. (2021). What is Ground Sample Distance (GSD)?

Ενημερώθηκε: 21/4/2021. Ανακτήθηκε: 8/1/2023 από: <https://visionaerial.com/what-is-ground-sample-distance/>

ESA (2014). Δείκτες Βλάστησης. European Space Agency.

Ενημερώθηκε: 3/6/2013. Ανακτήθηκε: 1/9/2022 από:

https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_GR/SEMRTITWT1H_2.html

HSU. (2014). Spectral Reflectance. Humboldt State University. Geospatial Online.

Ενημερώθηκε: 2014. Ανακτήθηκε 5/8/2022 από:

http://gsp.humboldt.edu/olm/Courses/GSP_216/lessons/reflectance.html

Micasense. (2021a). Overview of Agricultural Indices. MicaSense Knowledge Base.

Ενημερώθηκε: 26/7/2021 . Ανακτήθηκε: 22/8/2022 από:

<https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/227837307-Overview-of-Agricultural-Indices>

Micasense. (2021b). Creating agricultural indices (NDVI, NDRE) in QGIS. MicaSense

Knowledge Base. Ενημερώθηκε: 9/8/2021 . Ανακτήθηκε: 3/9/2022 από:

<https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/226531127-Creating-agricultural-indices-NDVI-NDRE-in-QGIS>

Micasense (2022a). What are some differences between the DLS 1 and DLS 2? MicaSense

Knowledge Base. Ενημερώθηκε: 27/1/2022. Ανακτήθηκε: 16/9/2022 από:

<https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/360024719013-What-are-some-differences-between-the-DLS-1-and-DLS-2->

Micasense. (2022b). RedEdge-MX Integration Guide. MicaSense Knowledge Base.

Ενημερώθηκε: 4/4/2022 . Ανακτήθηκε: 16/9/2022 από:

<https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/360011389334-RedEdge-MX-Integration-Guide>

NASA. (2010). Reflected Near-Infrared Waves. National Aeronautics and Space

Administration, Science Mission Directorate.. Ανακτήθηκε : 20/7/2022, από:

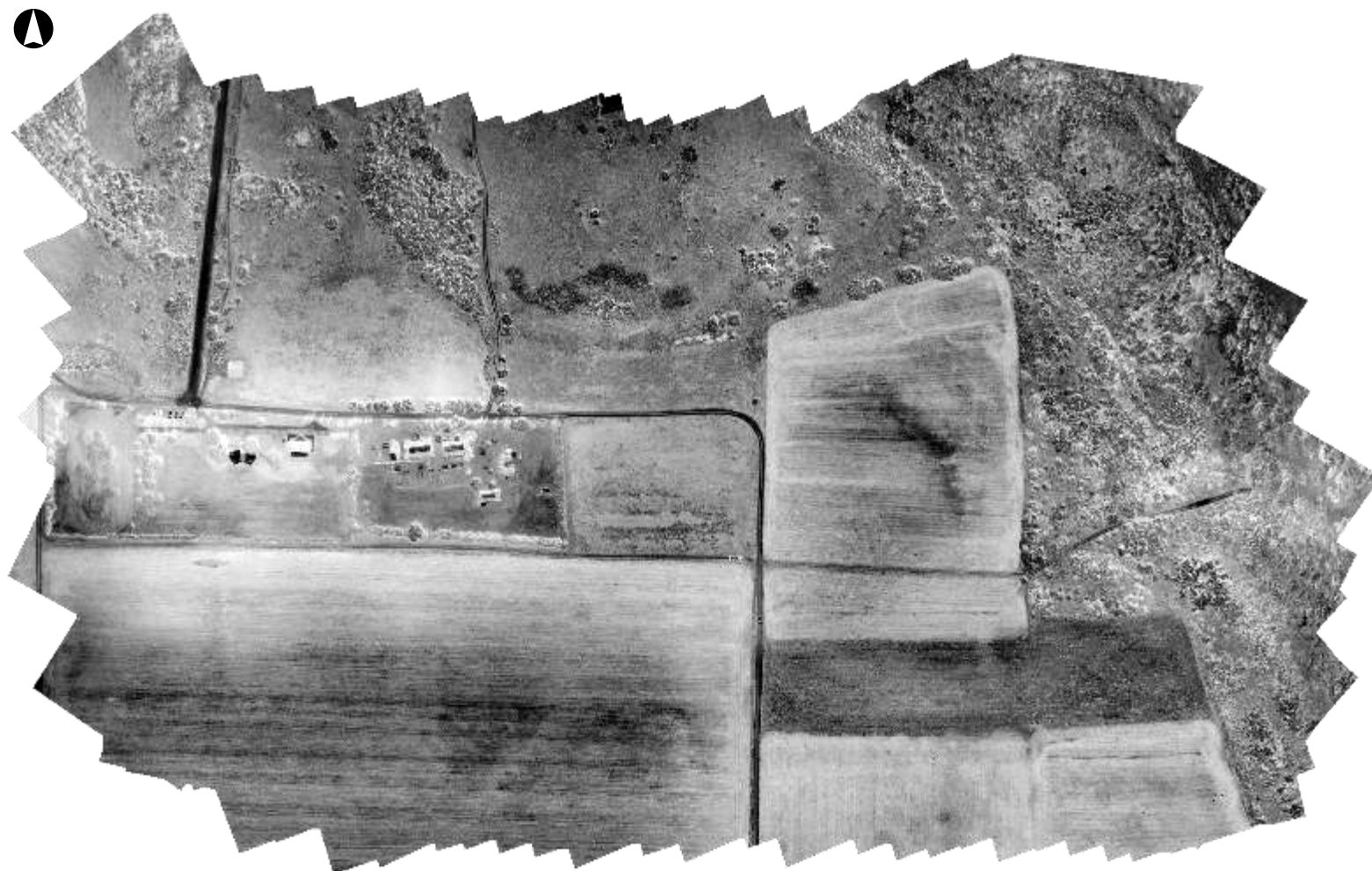
http://science.nasa.gov/ems/08_nearinfraredwaves

- NRCAN. (2015). Fundamentals of Remote Sensing. Natural Resources Canada. Remote Sensing Tutorials. Ενημερώθηκε: 20/11/2015. Ανακτήθηκε: 5/8/2022 από: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/satellite-imagery-and-air-photos/tutorial-fundamentals-remote-sensing/9309>
- NOAA. (2021). What is remote sensing?. National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department. Ενημερώθηκε: 26/2/2021. Ανακτήθηκε: 23/5/2022 από: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/remotesensing.html>
- Sony 2022. Επαγγελματική κάμερα μικρού μεγέθους RX1R II με αισθητήρα 35 mm.DSC-RX1RM2. Sony Europe GR. Ανακτήθηκε 23/9/2022 από: <https://www.sony.gr/electronics/cyber-shot-fwtoγραφikes-mhxanes-compact/dsc-rx1rm2>
- Wingtra (2020). What's the difference between PPK and RTK drones, and which one is better?. Wingtra AG. Ενημερώθηκε: 16/1/2020. Ανακτήθηκε: 16/9/2022 από: <https://wingtra.com/ppk-drones-vs-rtk-drones/>
- Wingtra (2022). WingtraOne GEN II drone, Technical specifications. Wingtra AG. Ανακτήθηκε: 16/9/2022 από: <https://wingtra.com/wp-content/uploads/Wingtra-Technical-Specifications.pdf>
- Αρχαιολογικό Κτηματολόγιο (2022). *Εθνικό Αρχείο Μνημείων*. ΔΔΕΑΜ. Παράχθηκε: 13/9/2022 από: <https://www.arxaiologikoktimatologio.gov.gr/el>
- Δήμος Παιονίας (2022). Αρχαιολογικός Περίπατος Παιονίας ΕΥΡΩΠΟΣ - Η ΠΑΤΡΙΔΑ ΤΟΥ ΣΕΛΕΥΚΟΥ. Ομάδα Τουριστικής Ανάπτυξης Δήμου Παιονίας. Ανακτήθηκε: 5/9/2022 από: <https://www.visitpaionia.gr/archaia-paionia/archaiologikos-peripatos-paionias/#>

7. Παράρτημα



Σχήμα 7.1 Ορθοφωτομωσαϊκό καταγραφής NIR ακτινοβολίας

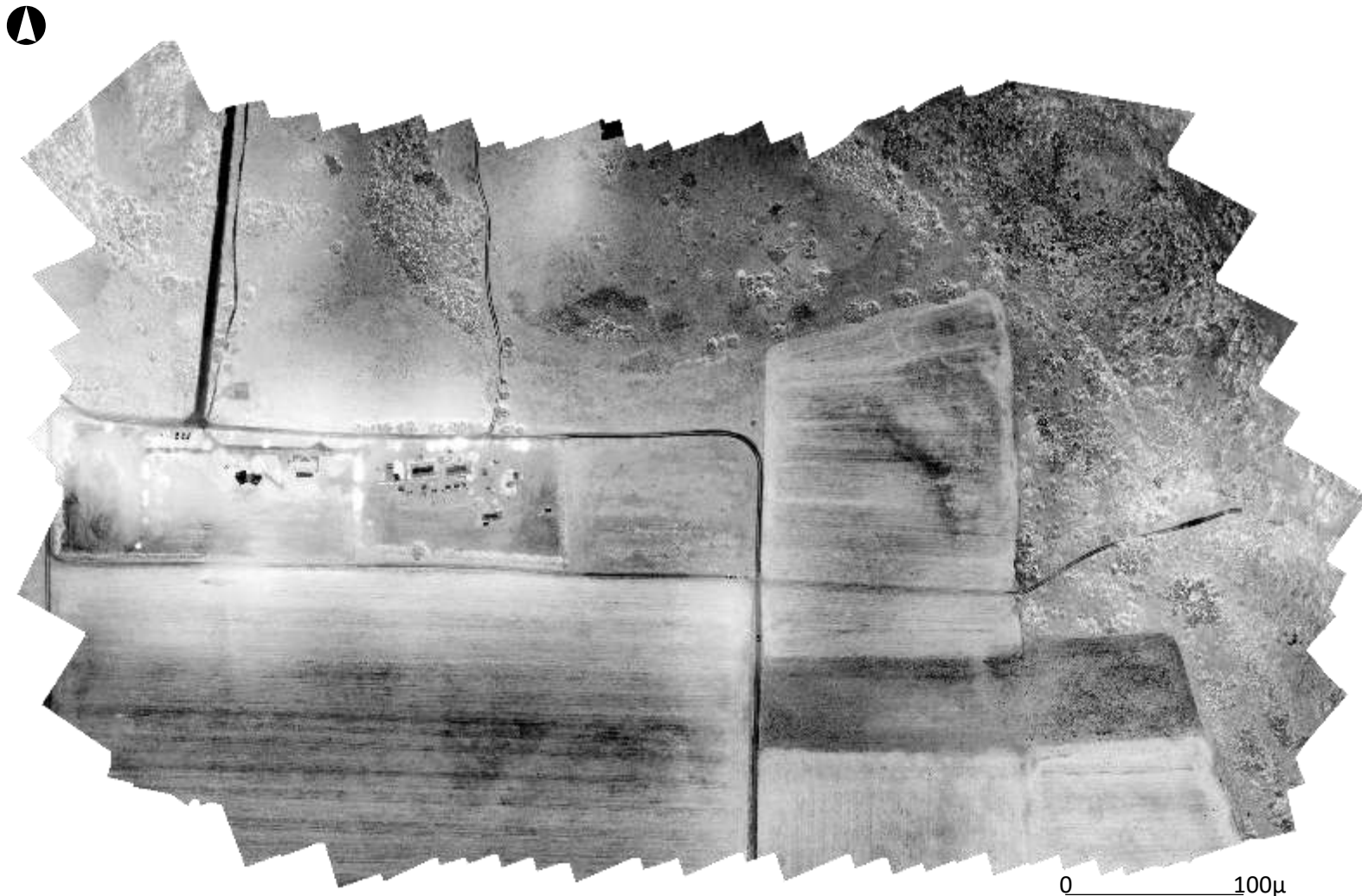


Σχήμα 7.2 Ορθοφωτομωσαϊκό καταγραφής RedEdge
Ακτινοβολίας

0 100μ



Σχήμα 7.3 Ορθοφωτομωσαϊκό καταγραφής Red Ακτινοβολίας



Σχήμα 7.4 Ορθοφωτομωσαϊκό καταγραφής GREEN Ακτινοβολίας



Σχήμα 7.5 Ορθοφωτομωσαϊκό καταγραφής BLUE
Ακτινοβολίας



Σχήμα 7.6 Ορθοφωτομωσαϊκό Δείκτη NDVI

0 100μ



Σχήμα 7.7 Ορθοφωτομωσαϊκό Δείκτη SAVI

0 100μ



Σχήμα 7.8 Ορθοφωτομωσαϊκό Δείκτη OSAVI

0 100μ



Σχήμα 7.9 Ορθοφωτομωσαϊκό Δείκτη SR

0 100μ



Σχήμα 7.10 Ορθοφωτομωσαϊκό Δείκτη NDRE

0 100μ



Σχήμα 7.11 Ορθοφωτομωσαϊκό Δείκτη GSAVI

0 100μ



Σχήμα 7.12 Ορθοφωτομωσαϊκό Δείκτη GNDVI

0 100μ



Σχήμα 7.13 Ορθοφωτομωσαϊκό Δείκτη GC

0 100μ



Σχήμα 7.14 Ορδοφωτομωσαϊκό Δείκτη GRVI

0 100μ



Σχήμα 7.15 Ορθοφωτομωσαϊκό Δείκτη NLI

0 _____ 100μ



Σχήμα 7.16 Ορδοφωτομωσαϊκό Δείκτη NDVIRE



Σχήμα 7.17 Ορθοφωτομωσαϊκό Δείκτη MSR



Σχήμα 7.18 Ορθοφωτομωσαϊκό Δείκτη NGRDI

0 100μ

