



PROJECT	LIFE18 GIE/GR/000899
PROJECT TITLE	Hellenic Biodiversity Information System: An innovative tool for biodiversity conservation
ACRONYM	LIFE EL-BIOS
ACTION	B4
DELIVERABLE NUMBER	D B4.2
DELIVERABLE TITLE	Review Report: Information extraction results over the Kotychi Strofylia Wetlands National Park (pilot site B)
REPORT STATUS	FINAL
COMPLETION DATE	March 2025
RESPONSIBLE	The Goulandris Natural History Museum - Greek Biotope Wetland Centre
(EKBY)	



LIFE EL-BIOS (LIFE20 GIE/GR/001317) has received funding from the LIFE Programme of the European Union.
EU funding contribution: 1.354.524 € (52.68% of total eligible budget).



LIFE EL-BIOS has received funding from GREEN FUND

COORDINATING
BENEFICIARY



ARISTOTLE
UNIVERSITY
OF THESSALONIKI



THE GOULANDRIS NATURAL HISTORY MUSEUM
GREEK BIOTOPE/WETLAND CENTRE

ASSOCIATED
BENEFICIARIES





ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ:

- ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΠΕΛΛΟΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΙΩΝ-ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΚΑΡΟΛΟΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΑΛΕΞΑΝΔΡΙΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΕΙΡΗΝΗ ΧΡΥΣΑΦΗ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΕΛΕΝΗ ΦΥΤΩΚΑ, ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΒΙΟΤΟΠΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ
- ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΛΛΙΝΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ

ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ:

- ΟΛΓΑ ΤΖΟΡΤΖΑΚΑΚΗ, ΜΓΦΙ/ΕΚΒΥ
- ΑΝΤΩΝΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΑΚΗΣ, ΜΓΦΙ/ΕΚΒΥ
- ΛΕΝΑ ΧΑΤΖΗΟΡΔΑΝΟΥ, ΜΓΦΙ/ΕΚΒΥ
- ΜΑΡΙΑ ΤΟΜΠΟΥΛΙΔΟΥ, ΜΓΦΙ/ΕΚΒΥ
- ΠΕΤΡΟΣ ΚΑΚΟΥΡΟΣ, ΜΓΦΙ/ΕΚΒΥ
- ΕΛΕΝΑ ΧΑΤΖΗΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ, ΜΓΦΙ/ΕΚΒΥ
- ΕΛΠΙΔΑ ΚΑΡΑΔΗΜΟΥ, ΜΓΦΙ/ΕΚΒΥ
- ΔΗΜΗΤΡΑ ΒΑΓΙΩΝΑ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΌΛΓΑ ΓΕΩΡΓΟΥΛΑ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΠΕΤΡΟΣ ΠΑΤΙΑΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΤΣΙΟΥΚΑΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΒΑΤΙΤΣΗ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΝΑΤΑΛΙΑ ΒΕΡΔΕ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΚΑΒΒΑΔΙΑ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΖΑΓΚΑΣ, ΟΛΥΜΠΟΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΙΚΕ
- ΘΩΜΑΣ ΛΑΓΓΑΣ, ΟΛΥΜΠΟΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΙΚΕ
- ΑΛΕΞΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, ΟΛΥΜΠΟΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΙΚΕ
- ΜΑΡΙΑ ΚΑΡΑΜΟΥΖΑ, ΟΛΥΜΠΟΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΙΚΕ
- ΜΑΡΙΑ ΦΟΥΣΚΑ, ΟΛΥΜΠΟΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΙΚΕ
- ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, ΟΦΥΠΕΚΑ
- ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΚΟΡΑΚΗΣ, ΟΦΥΠΕΚΑ
- ΓΙΩΡΓΟΣ ΚΥΡΑΓΙΑΝΝΗΣ, ΟΦΥΠΕΚΑ

ΤΙΤΛΟΣ ΕΓΓΡΑΦΟΥ:

ΕΛΛΗΝΙΚΑ: Έκθεση Αναφοράς: Αποτελέσματα εξαγωγής πληροφοριών από τον Εθνικό Δρυμό Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (πιλοτική τοποθεσία Β).

ΑΓΓΛΙΚΑ: Review Report: Information extraction results over the Kotychi Strofylia Wetlands National Park (pilot site B)



Η παρούσα έκδοση εκφράζει αποκλειστικά τις απόψεις των συγγραφέων της.

Ο Εκτελεστικός Οργανισμός για το Κλίμα, τις Υποδομές και το Περιβάλλον (CINEA) και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δε μπορούν να θεωρηθούν υπεύθυνες για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχονται στο παρόν.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ:

- Χρυσάφη Ε., Μπέλλος Κ., Κάρολος Ι.Α., Αλεξανδρίδης, Β., Φυτώκα, Ε., Μαλλίνης Γ., 2025. Έκθεση Αναφοράς: Αποτελέσματα εξαγωγής πληροφοριών από το Εθνικό Πάρκο της Βόρειας Πίνδου (πιλοτική τοποθεσία Α). Παραδοτέο Δράσης Β4. Έργο LIFE EL-BIOS: Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα για τη Βιοποικιλότητα: ένα καινοτόμο εργαλείο για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. ΑΠΘ / ΠΘ & ΟΛΥΜΠΟΣ. Σελίδες 64 και 4 Παραρτήματα, Θεσσαλονίκη.

SUGGESTED CITATION:

- Chrysafi I., Bellos K., Karolos I.A., Alexandridis V., Fitoka, E., Mallinis G., 2025. Review Report: Information extraction results over the Northern Pindus National Park (pilot site A). Deliverable Action B.4 LIFE EL-BIOS: Hellenic Biodiversity Information System: an innovative tool for biodiversity conservation. AUTH / UTH & OLYMPOS, Pages 64 and 4 Annexes, Thessaloniki.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	13
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	14
EXECUTIVE SUMMARY	16
1.	18
1.1	18
1.2	19
1.3	20
2.	22
3.	24
3.1	24
3.2	25
3.3	26
3.4	27
4.	31
4.1	31
4.1.1	32
4.1.2	34
4.1.3	38
4.2	42
4.2.1 Δομή κόμης και κατακόρυφη δομή	42
4.3	42
4.3.1	47
4.3.2	48
4.4	49
5.	52
5.1	52
5.2	53



5.2.1	54
5.2.1	56
5.2.2	59
6. 62	
6.1 62	
6.1.1	65
6.1.2	69
6.2 73	
6.3 75	
Παράρτημα I: 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις μετρήσεις επίγειων δεδομένων με κλασικές μεθόδους	77
Δειγματοληπτική επιφάνεια P01	77
Δειγματοληπτική επιφάνεια P02	80
Δειγματοληπτική επιφάνεια P03	83
Δειγματοληπτική επιφάνεια P04	85
Δειγματοληπτική επιφάνεια P05	87
Δειγματοληπτική επιφάνεια P06	90
Δειγματοληπτική επιφάνεια P07	92
Δειγματοληπτική επιφάνεια P08	95
Δειγματοληπτική επιφάνεια P09	98
Δειγματοληπτική επιφάνεια P10	101
Δειγματοληπτική επιφάνεια P11	104
Δειγματοληπτική επιφάνεια P12	107
Δειγματοληπτική επιφάνεια P13	111
Παράρτημα II: Στάδια και εξισώσεις για την ανάπτυξη μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης	113
Παράρτημα III: Φασματικά δεδομένα και ροή εργασιών εκτίμησης δεικτών επιφανειακών υδάτων	117
Συλλογή φασματικών δεδομένων	117
Ροή εργασιών	117
Παράρτημα IV: Φασματικά δεδομένα και ροή εργασιών εκτίμησης του δείκτη πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δέντρων	120
Συλλογή φασματικών δεδομένων	120
Ροή εργασιών	120



Παράρτημα V: Φασματικά δεδομένα και ροή εργασιών εκτίμησης δυναμικών δεικτών ενδιαιτημάτων	124
Συλλογή φασματικών δεδομένων	124
Ροή εργασιών	124
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	127



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ NATURA-2000 ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ	22
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΙΚΡΟΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΕΚΤΑΡΙΟ, ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ, ΓΙΑ ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (PLOT) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ, ΤΥΠΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΝΔΡΩΝ ΚΑΙ ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ LIDAR SLAM, ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΜΕ ΕΝΑΡΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ LIDAR UAV (SLAM_UAV) ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ (ΠΕΔΙΟ) ΣΤΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΔΑΣΟΣ ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ.	33
<i>ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΙΘΜΟΥ ΔΕΝΔΡΩΝ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΑ ΑΠΟ SLAM, TLS ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΌΛΕΣ ΤΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ</i>	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΎΨΟΥΣ (H) ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΑ ΔΕΝΔΡΑ SLAM, SLAM & UAV, ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΌΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ	35
<i>ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΎΨΟΥΣ (H) ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΑ ΔΕΝΔΡΑ SLAM, SLAM & UAV, ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΌΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ</i>	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ PERCENTILES ΎΨΟΥΣ (H) ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΑ ΔΕΝΔΡΑ SLAM, SLAM & UAV ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΌΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ MIN, MAX, ΜΕΑΝ 95% HEIGHT ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΑ ΔΕΝΔΡΑ SLAM, SLAM & UAV, ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΌΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΑ ΔΕΝΔΡΑ SLAM, SLAM & UAV, ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΌΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ	39
<i>ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΑ ΔΕΝΔΡΑ SLAM, TLS ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΌΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΔΑΣΟΣ ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ</i>	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 12 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL-2, PLANETSCOPE, UAV ΚΑΜΕΡΑ ΓΙΑ ΤΙΣ 10 ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 13 ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΟΜΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ (TREE COVER DENSITY-TCD).	120



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ	24
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΜΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΟ ΔΑΣΟΣ ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ.	25
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΣΤΟ ΔΑΣΟΣ ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ.	26
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ ΑΝΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΤΟ ΔΑΣΟΣ ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ.	27
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΠΛΗΘΟΣ ΜΙΚΡΟ-ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ	29
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΜΙΚΡΟΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑ ΕΚΤΑΡΙΟ ΣΕ ΚΑΘΕ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ	30
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ (SLAM), ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ	34
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥΨΟΥΣ (M) ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕ (SLAM) ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΚΟΤΥΧΙΟΥ - ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ	36
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) (M) ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ (SLAM) ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΔΑΣΟΣ ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ	40
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ CANOPY HEIGHT (M), CANOPY DENSITY (%), SKEWNESS, KURTOSIS, VERTICAL COMPLEXITY INDEX (VCI) ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM (ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΣΤΗΛΗ) ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SLAM ΚΑΙ UAV LIDAR (ΔΕΞΙΑ ΣΤΗΛΗ) ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P05	43
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ CANOPY HEIGHT (M), CANOPY DENSITY (%), SKEWNESS, KURTOSIS, VERTICAL COMPLEXITY INDEX (VCI) ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM (ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΣΤΗΛΗ) ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SLAM ΚΑΙ UAV LIDAR (ΔΕΞΙΑ ΣΤΗΛΗ) ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P08	44
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ CANOPY HEIGHT (M), CANOPY DENSITY (%), SKEWNESS, KURTOSIS, VERTICAL COMPLEXITY INDEX (VCI) ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM (ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΣΤΗΛΗ) ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SLAM ΚΑΙ UAV LIDAR (ΔΕΞΙΑ ΣΤΗΛΗ) ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P13	45
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ SLAM (ΠΑΝΩ ΑΡΙΣΤΕΡΗ) ΚΑΙ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΟΥ ΝΕΦΟΥΣ UAV ΟΠΤΙΚΟ (ΠΑΝΩ ΔΕΞΙΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ Η ΞΕΝΩΣΗ (FUSION) ΤΩΝ ΔΥΟ ΝΕΦΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ. ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΔΕΞΙΑ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΎΨΟΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ #P02	46
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ P02. ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH.	47
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ.	48
ΕΙΚΟΝΑ 16 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ (ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ, ΞΥΛΩΔΗ ΌΓΚΟ, ΒΙΟΜΑΖΑ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΡΥΜΟΥ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ, ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL	53
ΕΙΚΟΝΑ 17 ΧΑΡΤΕΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ (ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ, ΞΥΛΩΔΗ ΌΓΚΟ, ΒΙΟΜΑΖΑ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΡΥΜΟΥ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ, ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ PLANETSCOPE.	54
ΕΙΚΟΝΑ 18 ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ 2023, ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ-ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΠΕΥΚΟΔΑΣΗ ΜΕ ΕΝΔΗΜΙΚΑ ΕΙΔΗ ΠΕΥΚΩΝ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ (9540) ΚΑΙ ΘΙΝΕΣ ΜΕ ΔΑΣΗ ΑΠΟ PINUS PINEA Ή/ΚΑΙ PINUS PINASTER (2270), ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ PLANETSCOPE.	54
ΕΙΚΟΝΑ 19 ΧΑΡΤΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΡΥΜΟΥ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL	56
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΧΑΡΤΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΡΥΜΟΥ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ, ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ PLANETSCOPE.	56
ΕΙΚΟΝΑ 21 ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΥΡΙΑΡΧΙΑΣ (SIMPSON DOMINANCE) ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ 2023, ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ-ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΠΕΥΚΟΔΑΣΗ ΜΕ ΕΝΔΗΜΙΚΑ ΕΙΔΗ ΠΕΥΚΩΝ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ (9540) ΚΑΙ ΘΙΝΕΣ ΜΕ ΔΑΣΗ ΑΠΟ PINUS PINEA Ή/ΚΑΙ PINUS PINASTER (2270), ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ PLANETSCOPE.	57
ΕΙΚΟΝΑ 22 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ (ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ 2023, ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ-ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΠΕΥΚΟΔΑΣΗ ΜΕ ΕΝΔΗΜΙΚΑ ΕΙΔΗ ΠΕΥΚΩΝ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ (9540) ΚΑΙ ΘΙΝΕΣ ΜΕ ΔΑΣΗ ΑΠΟ PINUS PINEA Ή/ΚΑΙ PINUS PINASTER (2270), ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ PLANETSCOPE.	58



ΕΙΚΟΝΑ 23 ΧΑΡΤΕΣ ΔΕΙΚΤΗ ΜΙΚΡΟ-ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ (ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ, ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΛΗΓΕΣ, ΦΛΟΙΟΣ, ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΟ ΜΙΚΡΟ-ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΡΥΜΟΥ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL .	59
ΕΙΚΟΝΑ 24 ΧΑΡΤΕΣ ΔΕΙΚΤΗ ΜΙΚΡΟΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ (ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ, ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΛΗΓΕΣ, ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ, ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΟ ΜΙΚΡΟΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΡΥΜΟΥ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ, ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ PLANETSCOPE .	59
ΕΙΚΟΝΑ 25 ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΙΚΡΟΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ 2023, ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ-ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΠΕΥΚΟΔΑΣΗ ΜΕ ΕΝΔΗΜΙΚΑ ΕΙΔΗ ΠΕΥΚΩΝ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ (9540) ΚΑΙ ΘΙΝΕΣ ΜΕ ΔΑΣΗ ΑΠΟ PINUS PINEA Ή/ΚΑΙ PINUS PINASTER (2270), ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ PLANETSCOPE.	60
ΕΙΚΟΝΑ 26 ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ (Α) SURFACE WATER OCCURRENCE, (Β) WATER AND WETNESS, (Γ) NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX, (Δ) MODIFIED NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX, (Ε) SENTINEL-2 WATER INDEX –SWI.	63
ΕΙΚΟΝΑ 27 ΕΠΟΧΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ «ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ» ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2017-2024, ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDWI ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΟΙΚΟΤΟΠΟΥ «ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ» (1150) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ (ΕΠΚΣ).	65
ΕΙΚΟΝΑ 28 ΕΠΟΧΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ «ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ» ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 20217-2024, ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDWI, ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΟΙΚΟΤΟΠΟΥ «ΚΑΛΑΜΩΝΕΣ» (72Α0) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ (ΕΠΚΣ).	65
ΕΙΚΟΝΑ 29 ΕΠΟΧΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ «ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ» ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 20217-2024, ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDWI, ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΟΙΚΟΤΟΠΟΥ «ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΜΕ SALICORNIA ΚΑΙ ΆΛΛΑ ΜΟΝΟΕΤΗ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΛΑΣΠΩΔΩΝ ΚΑΙ ΑΜΜΩΔΩΝ ΖΩΝΩΝ» (1310) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ (ΕΠΚΣ).	66
ΕΙΚΟΝΑ 30 ΕΠΟΧΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ «ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ» ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 20217-2024, ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDWI ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΟΙΚΟΤΟΠΟΥ «ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΟΥ ΔΕΝ ΚΑΛΥΠΤΕΤΑΙ ΑΠΟ ΒΛΑΣΤΗΣΗ» (3190) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ (ΕΠΚΣ).	66
ΕΙΚΟΝΑ 31 ΕΠΟΧΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ «ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ» ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 20217-2024, ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDWI, ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΟΙΚΟΤΟΠΟΥ «ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΑΛΙΠΕΔΑ (JUNCETALIA MARITIMI)» (1410) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ (ΕΠΚΣ).	67
ΕΙΚΟΝΑ 32 ΔΕΙΚΤΗΣ MNDWI ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΟΙΚΟΤΟΠΟΥ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ (1150) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2017- 2024.	69
ΕΙΚΟΝΑ 33 ΔΕΙΚΤΗΣ MNDWI ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΟΙΚΟΤΟΠΟΥ ΚΑΛΑΜΩΝΕΣ (72Α0) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2017- 2024.	69
ΕΙΚΟΝΑ 34 ΔΕΙΚΤΗΣ MNDWI ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΟΙΚΟΤΟΠΟΥ ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΜΕ SALICORNIA ΚΑΙ ΆΛΛΑ ΜΟΝΟΕΤΗ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΛΑΣΠΩΔΩΝ ΚΑΙ ΑΜΜΩΔΩΝ ΖΩΝΩΝ (1310) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2017- 2024.	70
ΕΙΚΟΝΑ 35 ΔΕΙΚΤΗΣ MNDWI ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΟΙΚΟΤΟΠΟΥ ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΟΥ ΔΕΝ ΚΑΛΥΠΤΕΤΑΙ ΑΠΟ ΒΛΑΣΤΗΣΗ (3190) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2017- 2024.	70
ΕΙΚΟΝΑ 36 ΔΕΙΚΤΗΣ MNDWI ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΟΙΚΟΤΟΠΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΑΛΙΠΕΔΑ (JUNCETALIA MARITIMI) (1410) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2017- 2024.	71
ΕΙΚΟΝΑ 37 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ ΑΠΟ ΚΟΜΗ ΔΕΝΤΡΩΝ	72
ΕΙΚΟΝΑ 38 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΟΜΗ ΔΕΝΔΡΩΝ, ΚΑΤΑ ΤΟ ΈΤΟΣ 2020, ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ- ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΛΕΛΕΙΜΜΕΝΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ (1062), ΘΙΝΕΣ ΜΕ ΔΑΣΗ ΑΠΟ PINUS PINEA Ή/ΚΑΙ PINUS PINASTER (2270) ΚΑΙ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΠΕΥΚΟΔΑΣΗ ΜΕ ΕΝΔΗΜΙΚΑ ΕΙΔΗ ΠΕΥΚΩΝ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ (9540).	73
ΕΙΚΟΝΑ 39 ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ	74
ΕΙΚΟΝΑ 40 ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ, ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2020-2024, ΓΙΑ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ-ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ.	75
ΕΙΚΟΝΑ 41 ΕΠΟΧΙΚΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ, ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2020-2024, ΓΙΑ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ-ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ.	76
ΕΙΚΟΝΑ 42 ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ, ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2020-2024, ΓΙΑ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΟΤΥΧΙΟΥ-ΣΤΡΟΦΥΛΙΑΣ.	76



- ΕΙΚΟΝΑ 43: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ **SLAM** (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗΣ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ **ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ** ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (P01) 77
- ΕΙΚΟΝΑ 44: ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ **SLAM** ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 2η ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ 2-P01): ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH. 78
- ΕΙΚΟΝΑ 45: ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΪΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ 79
- ΕΙΚΟΝΑ 46 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ **SLAM** (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗΣ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (P02) 80
- ΕΙΚΟΝΑ 47 ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ **SLAM** ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P02: ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH 81
- ΕΙΚΟΝΑ 48 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΪΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ 82
- ΕΙΚΟΝΑ 49 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ **SLAM** (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗΣ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (P03). 83
- ΕΙΚΟΝΑ 50 ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ **SLAM** ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P03. ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH.. 84
- ΕΙΚΟΝΑ 51: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ **SLAM** (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗΣ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P04 85
- ΕΙΚΟΝΑ 52: ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ **SLAM** ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ P04: ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH 86
- ΕΙΚΟΝΑ 53: ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΪΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ 87
- ΕΙΚΟΝΑ 54 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ **SLAM** (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗΣ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P05 88
- ΕΙΚΟΝΑ 55 ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ **SLAM** ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P05: ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH. 89
- ΕΙΚΟΝΑ 56 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΪΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ 90
- ΕΙΚΟΝΑ 57 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ **SLAM** (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗΣ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (P06) 91



- ΕΙΚΟΝΑ 58 ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 6Η ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ 12-P06): ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH. 92
- ΕΙΚΟΝΑ 59 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ 92
- ΕΙΚΟΝΑ 60 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ SLAM (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P07 93
- ΕΙΚΟΝΑ 61: ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ 7Α-P07: ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH. 94
- ΕΙΚΟΝΑ 62: ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P07 ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ 95
- ΕΙΚΟΝΑ 63: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ SLAM (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P08 96
- ΕΙΚΟΝΑ 64: ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ P08. ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH. 97
- ΕΙΚΟΝΑ 65: ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ – ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΝΤΑ ΚΕΝΤΡΙΚΟ - ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ 98
- ΕΙΚΟΝΑ 66 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ SLAM (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ (REFERENCE)» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P09 99
- ΕΙΚΟΝΑ 67 ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P0). ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH 100
- ΕΙΚΟΝΑ 68 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ – ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΝΤΑ ΘΑΛΑΣΣΑ - ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ 101
- ΕΙΚΟΝΑ 69 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ SLAM (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ #12 (P10) 102
- ΕΙΚΟΝΑ 70: ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ 1-P10): ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH. 103
- ΕΙΚΟΝΑ 71: ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ 104
- ΕΙΚΟΝΑ 72: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ SLAM (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P11. 105
- ΕΙΚΟΝΑ 73: ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ 26-P11):



ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH	106
ΕΙΚΟΝΑ 74: ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ	107
ΕΙΚΟΝΑ 75 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ SLAM (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P12	108
ΕΙΚΟΝΑ 76: ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΑΔΑΣΩΤΕΑ ΔΙΠΛΑ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΔΡΟΜΟ (P12)). ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH.	109
ΕΙΚΟΝΑ 77 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ	110
ΕΙΚΟΝΑ 78: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ SLAM (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ). ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ Η ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΤΗΝ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ» ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΌΠΩΣ ΑΥΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P13	111
ΕΙΚΟΝΑ 79 ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P13: ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH	112
ΕΙΚΟΝΑ 80 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ (SOIL MOISTURE- SM).	118
ΕΙΚΟΝΑ 81 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΟΜΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ (TREE COVER DENSITY-TCD)	122
ΕΙΚΟΝΑ 82 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ (DYNAMIC HABITAT INDEX - DHI)	125



ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
UAV	Unoccupied Air Vehicle
NRTK	Network Real Time Kinematic
GNSS	Global navigation satellite system
ALS	Airborne laser scanning
FW	Full waveform
DR	Discrete returns
TLS	Terrestrial Laser Scanning
RHT	Randomized Hough Transform
DBH	Diameter at Breast Height
PPK	Post Processing Kinematic
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
CHM	Canopy Height Model
CTH	Canopy Top Height
CBH	Canopy Base Height
CH	Canopy Height
CL	Crown Length
CW	Crown Width
CC	Canopy Cover
TH	Tree Height
VCI	Vertical Complexity Index



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το παρόν τεύχος συντάχθηκε στα πλαίσια της ΔΡΑΣΗΣ Β.4 «Καινοτόμες τεχνολογίες και προσεγγίσεις για την εξαγωγή πληροφοριών για τη βιοποικιλότητα, σε 2 επιλεγμένους Εθνικούς Δρυμούς της Ελλάδας (ένας ορεινός και ένας υγρότοπος/παράκτιος)», του έργου LIFE EL-BIOS (LIFE20 GIE/GR/001317) «hELIenic BIOodiversity Information System: an innovative tool for biodiversity conservation», το οποίο συγχρηματοδοτείται από το Πρόγραμμα LIFE της Ευρωπαϊκής Ένωσης και υλοποιείται με συντονιστή το Πράσινο Ταμείο και συνδικαιούχους τον Οργανισμό Φυσικού Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής (ΟΦΥΠΕΚΑ), το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης-Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, το Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Γουλανδρή / Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΜΓΦΙ-ΕΚΒΥ), το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας-Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, το Ευρωπαϊκό Θεματικό Κέντρο του Πανεπιστημίου της Μάλαγας (ETC-UMA) στην Ισπανία και την εταιρεία OLYMPOS CONSULTING P.C.

Η Δράση αποτελείται από τις υποδράσεις:

B.4.1 Καινοτόμες μέθοδοι απόκτησης δεδομένων και εξαγωγής πληροφοριών (τηλεπισκόπηση, Παρατήρηση Γης, ασύρματοι αισθητήρες, LiDAR) στην πilotική τοποθεσία Α (ορεινή): Εθνικό Πάρκο Πίνδου.

B.4.2 Καινοτόμες μέθοδοι απόκτησης δεδομένων και εξαγωγής πληροφοριών (τηλεπισκόπηση, Παρατήρηση Γης, ασύρματοι αισθητήρες, LiDAR) στην πilotική τοποθεσία Β (υγρότοπος/παράκτια): Κοτύχι – Στροφυλιά Εθνικός Δρυμός Υγροτόπων.

B.4.3 Επίδειξη των επιπτώσεων και των πλεονεκτημάτων για τη διαχείριση και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, από την χρήση καινοτόμων μεθόδων απόκτησης δεδομένων και εξαγωγής πληροφοριών.

Η υποδράση Β.4.2 επικεντρώνεται στα αποτελέσματα εξαγωγής πληροφοριών για τον Εθνικό Δρυμό Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (πilotική τοποθεσία Β) με καινοτόμες μεθόδους τηλεπισκόπησης. Συλλέχθηκαν δεδομένα από πολλαπλές πηγές, συμπεριλαμβανομένων της τεχνολογίας Light Detection and Ranging (LiDAR), αεροφωτογραφικών δεδομένων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης, καθώς και πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων υψηλής και πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης. Τα ενεργά και παθητικά δεδομένα τηλεπισκόπησης επεξεργάστηκαν μέσω κατάλληλων λογισμικών εργαλείων και μεθόδων, χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες διαδικασίες επεξεργασίας για τη δημιουργία δεικτών φασματικής ετερογένειας, καθώς και μετρικών οριζόντιας και κάθετης ετερογένειας. Η υποδράση Β.4.2 βασίστηκε στον τεχνικό οδηγό της υποδράσης Β.4.3 και στις κατευθυντήριες γραμμές για την απόκτηση, διαχείριση και επεξεργασία δεδομένων τηλεπισκόπησης για τη διαχείριση και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας.

Η παρούσα έκθεση με τίτλο «Έκθεση Αναφοράς: Αποτελέσματα εξαγωγής πληροφοριών από τον Εθνικό Δρυμό Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (πilotική τοποθεσία Β)», παρουσιάζει τις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν και διαρθρώνεται σε πέντε κύριες ενότητες:

Η Ενότητα 1 παρέχει συνοπτικές πληροφορίες για θεωρητικό πλαίσιο χρήσης φασματικών δεδομένων μέσω δορυφορικών αισθητήρων και δεδομένων νέφους σημείων μέσω τεχνικής LiDAR και τη συμβολή τους στην εξαγωγή πληροφορίας χρήσιμη στη διαχείριση της βιοποικιλότητας.



Η Ενότητα 2 παρουσιάζει συνοπτική περιγραφή του Εθνικού Πάρκου Κοτυχίου-Στροφυλιά και των θέσεων δειγματολήψιας στο Δάσος Στροφυλιά. περιοχή που διεξήχθη η παρούσα έρευνα για τους σκοπούς του EL BIOS δηλαδή το «Εθνικό Δρυμό Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς».

Η Ενότητα 3 παρουσιάζει τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο δάσος Στροφυλιάς με κλασικές μεθόδους, για παραμέτρους που αφορούν στη δομή βλάστησης, βιομάζα, ποικιλότητα δασικών ειδών, και μικροενδιαιτήματα που σχετίζονται με τα δέντρα. τόσο για την καταγραφή δασικών παραμέτρων όπως δομής αλλά και βιοποικιλότητας και μικροενδιαιτημάτων σε επιλεγμένες δειγματοληπτικές επιφάνειες.

Η Ενότητα 4 παρουσιάζει τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο δάσος Στροφυλιάς για τις παραμέτρους της ενότητας 3, με δεδομένα τεχνολογίας SLAM (Simultaneous Localization and Mapping, Light Detection and Ranging (LiDAR), Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (UAV) και Terrestrial Laser Scanner, με τη χρήση λογισμικών 3D Forest και 3dFin και την εφαρμογή δύο μεθόδων ανάλυσης α) την αναγνώριση μεμονωμένων δέντρων (Individual Tree Detection) και β) την ανάλυση βάση περιοχής (area-based). Η ενότητα ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα των αναλύσεων.

Η Ενότητα 5 παρουσιάζει την ανάπτυξη μοντέλων δεικτών με τη χρήση φασματικών δεδομένων υψηλής και πολύ υψηλής ανάλυσης (Sentinel, Planet score και UAV) και το συνδυασμό των δεδομένων από τις επίγειες παρατηρήσεις στο δάσος Στροφυλιάς. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η χαρτογραφική απεικόνιση των παραμέτρων βιοποικιλότητας για την περιοχή του Εθνικού Δρυμού.

Η Ενότητα 6 παρουσιάζει την ανάπτυξη μοντέλων δεικτών με τη χρήση φασματικών δεδομένων υψηλής και πολύ υψηλής ανάλυσης (Sentinel Planet score) Οι δείκτες αφορούν στην παρουσία επιφανειακών υδάτων, στην πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δέντρων και δυναμικούς δείκτες ενδιαιτημάτων με χρήση φασματικών δεικτών βλάστησης.



EXECUTIVE SUMMARY

This report has been prepared in the framework of ACTION B.4 “Innovative technologies and approaches for biodiversity information extraction in 2 selected National Parks of Greece (one mountainous and one wetland/coastal)” of the project EL-BIOS hELlenic BIODiversity Information System: an innovative tool for biodiversity conservation, which is co-funded by the LIFE Programme of the European Union and implemented by the Green Fund and co-beneficiaries, the Organisation for the Natural Environment and Climate Change (NECCA), the Aristotle University of Thessaloniki-Department of Surveying and Surveying Engineering, the Goulandris Natural History Museum/Greek Biotope Wetland Centre (EKBY), the University of Thessaly - Department of Electrical and Computer Engineering (DECE), the European Topic Centre of the University of Malaga (ETC-UMA) in Spain and OLYMPOS CONSULTING P. C.

ACTION B.3 is comprised by three discrete sub-actions:

B.4.1 Innovative RS data acquisition and information extraction (remote sensing, EO, wireless sensors, Lidar) over pilot site A (mountainous): Pindos National Park.

B.4.2 Innovative RS data acquisition and information extraction (remote sensing, EO, Lidar) over pilot site B (wetland / Coastal): Kotychi Strofylia Wetlands National Park.

B.4.3 Demonstration of implications and advantages for management and conservation through innovative RS data acquisition and information extraction.

Sub-action B.4.2 focuses on Information extraction results over the Kotychi Strofylia Wetlands National Park. Remote sensing data from multiple sources were collected in sampling plots that covered the range of habitat variability and the potential biodiversity distribution of the National Park. These sources included Light Detection and Ranging (LiDAR) technology, very high spatial resolution airborne optical data, as well as high and very high spatial resolution multispectral satellite data. Simultaneously, in these plots, parameters related to the study and inventory of biodiversity were recorded to be analyzed at multiple scales using remote sensing data and linked with ecological insights. The active and passive remote sensing data were processed using appropriate software tools and methods, while suitable processing procedures were applied to generate descriptors of spectral heterogeneity as well as metrics of horizontal and vertical heterogeneity. The sub-action B.4.1 is based on the technical guide of sub-action B.4.3 and the guidelines for data acquisition, management, and processing.

This report entitled “Review Report: Information extraction results over the Kotychi Strofylia Wetlands National Park (pilot site B)”, provides a synopsis of the work undertaken under sub-actions B.4.2.

This deliverable is divided into five main sections.

Section 1 provides an overview of the theoretical framework for the utilization of spectral data from satellite sensors and point cloud data acquired through LiDAR technology, with the objective of extracting information related to biodiversity.

Section 2 Presents a brief description of the Kotychi – Strofylia National Park and the sampling locations in the Strofylia Forest, the area where this research for the EL-BIOS project was conducted.



Section 3: Presents the field measurements conducted in the Strofilia Forest using traditional methods, focusing on parameters such as vegetation structure, biomass, forest species diversity, and tree-related microhabitats, on selected sampling plots.

Section 4: Presents measurements conducted in the Strofilia Forest for the parameters of Section 3, derived from SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) technology, Light Detection and Ranging (LiDAR), Unmanned Aerial Vehicle (UAV) systems, and Terrestrial Laser Scanners, using 3D Forest and 3D Fin software. It also includes the application of two analytical methods: (a) Individual Tree Detection and (b) Area-Based Analysis. The section concludes with the findings of these analyses.

Section 5: Presents the development of indicator models using high and very high-resolution spectral data (from Sentinel, PlanetScope, and UAVs) and data from field measurements in the Strofilia Forest.

Section 6: Presents the development of indicator models using high and very high-resolution spectral data (Sentinel, PlanetScope). The indicators refer to: surface water occurrence, canopy cover density, and dynamic habitat indicators.



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αξιολόγηση της βιοποικιλότητας διεξάγεται παραδοσιακά με έρευνες πεδίου άμεσες παρατηρήσεις και επιτόπιες έρευνες πεδίου σε δειγματοληπτικές επιφάνειες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν μια μικρή περιοχή από την οποία προκύπτουν γενικά συμπεράσματα για τις συνολικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι παρουσιάζουν εγγενείς αδυναμίες που μπορούν να εμποδίσουν την πλήρη κατανόηση των οικοσυστημάτων.

Μία σημαντική περιοριστική παράμετρος είναι ότι οι παρατηρητές μπορεί να εισάγουν υποκειμενικότητα στη διαδικασία συλλογής δεδομένων, οδηγώντας σε μεροληπτικά αποτελέσματα και μειώνοντας την αξιοπιστία και την ακρίβεια του συνόλου δεδομένων. Επιπλέον, το εύρος των επιτόπιων ερευνών είναι από τη φύση του περιορισμένο. Συχνά, η πλήρης κάλυψη μεγάλων περιοχών είναι ανέφικτη, αφήνοντας σημαντικά τμήματα των οικοσυστημάτων χωρίς παρακολούθηση και εμποδίζοντας την κατανόηση των προτύπων και τάσεων της βιοποικιλότητας.

Η μεγάλη απαίτηση πόρων για τις άμεσες παρατηρήσεις και τις επιτόπιες έρευνες αποτελεί μια πρόσθετη πρόκληση, καθώς αυτές οι μέθοδοι απαιτούν σημαντικούς οικονομικούς και ανθρώπινους πόρους, οι οποίοι μπορεί να μην είναι πάντα διαθέσιμοι, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με περιορισμένες δυνατότητες. Επίσης, η ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται μέσω άμεσων παρατηρήσεων και ερευνών πεδίου μπορεί να είναι περίπλοκη και χρονοβόρα.

Συνολικά, ενώ οι άμεσες παρατηρήσεις και οι επιτόπιες έρευνες έχουν αποτελέσει πολύτιμα εργαλεία στην παρακολούθηση της βιοποικιλότητας και την κατάσταση των οικοσυστημάτων, οι περιορισμοί τους καθιστούν αναγκαία την **εξερεύνηση καινοτόμων προσεγγίσεων** για τη βελτίωση της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων.

1.1 Δομή της βλάστησης και βιοποικιλότητα

Είναι γνωστό ότι σε αντίθεση με τις κλιματικές συνθήκες οι οποίες καθορίζουν πρωτίστως τη βιοποικιλότητα σε μεγάλη κλίμακα (εκτεταμένες περιοχές), σε μικρότερες κλίμακες, ρόλο στην ποικιλότητα και την κατανομή των ειδών έχει και η δομή της βλάστησης, και ιδιαίτερα εντός χερσαίων περιοχών που καλύπτονται από δασικά οικοσυστήματα (Zellweger et al., 2013a). Η δομή των δασών, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα τρισδιάστατο σύμπλεγμα το οποίο διαχωρίζεται συνήθως σε δύο συνιστώσες: την οριζόντια και την κατακόρυφη δομή (Franklin and Van Pelt, 2004, McElhinny et al., 2005). Η κατακόρυφη δομή περιγράφει την κατανομή του κατακόρυφου προφίλ της βλάστησης, ενώ η οριζόντια δομή περιγράφει την κατανομή της βλάστησης κατά την οριζόντια διάσταση μιας δασικής περιοχής. Η δασική δομή (και η πολυπλοκότητά της) επηρεάζει την εμφάνιση και την κατανομή των ειδών με διάφορους τρόπους: τροποποιεί τις μικροκλιματικές συνθήκες, παρέχει θέσεις αναπαραγωγής, επηρεάζει την κατανομή και τη διαθεσιμότητα των πόρων και των θέσεων και παρέχει προστασία από τα αρπακτικά (Brokaw et al., 1999, LaRue et al., 2019, MacArthur and MacArthur, 1961, Melin et al., 2014). Όταν σε ένα δάσος υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός οικολογικών θέσεων (niches) και περισσότεροι διαθέσιμοι πόροι (δηλαδή μεγαλύτερη δομική ποικιλότητα-structural diversity), είναι πιθανότερο να υπάρχει μεγαλύτερη ποικιλότητα ειδών από ό,τι σε ένα δάσος με λιγότερα από αυτά τα χαρακτηριστικά (Stein et al., 2014). Για παράδειγμα, τα ανομήλικα, κηπευτά δάση με μεγάλη μίξη ειδών, παρέχουν περισσότερα μικροενδιαιτήματα σε σχέση με τα ομήλικα δάση (Gilbert and Lechowicz, 2004, Savilaakso et al., 2021). Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί ότι η



μεταβλητότητα του ανάγλυφου (δηλαδή η τοπογραφία) επηρεάζει την ποικιλότητα των ειδών σε τοπική κλίμακα (Vogeler et al., 2014, Zhou et al., 2015).

Οι τρέχουσες μέθοδοι τηλεπισκόπησης, οι οποίες περιλαμβάνουν και στηρίζονται σε ενεργούς και παθητικούς αισθητήρες, προσφέρουν δεδομένα σχετικά με την οικολογία για την αξιολόγηση της βιοποικιλότητας των δασών σε μεγάλη κλίμακα (Turner et al., 2003, Miura and Jones, 2010, Álvarez-Martínez et al., 2018). **Οι προσεγγίσεις που βασίζονται στην τηλεπισκόπηση για τη χαρτογράφηση της βιοποικιλότητας μπορούν γενικά να διαχωριστούν στη μοντελοποίηση των οικοτόπων που φιλοξενούν και υποστηρίζουν τη βιοποικιλότητα, και τη μοντελοποίηση της κατανομής της βιοποικιλότητας.**

Η χρήση δεδομένων παθητικών οπτικών αισθητήρων τηλεπισκόπησης για την εκτίμηση της βιοποικιλότητας έχει μελετηθεί εκτενώς τις τελευταίες δεκαετίες και προσφέρει σχετικά δεδομένα για την ταξινόμηση τύπων βλάστησης ή για τον καθορισμό της οριζόντιας δομής του τοπίου (Turner et al., 2003). **Ωστόσο, η ποικιλότητα πολλών taxa εξαρτάται επίσης από την κατακόρυφη δομή, η οποία δεν μπορεί να μετρηθεί ή να εκτιμηθεί με ακρίβεια χρησιμοποιώντας αποκλειστικά δεδομένα από οπτικούς αισθητήρες (Vierling et al., 2008). Μια προσέγγιση που επιτρέπει να ξεπεραστούν τέτοιοι περιορισμοί είναι η χρήση της τεχνικής LiDAR (Light Detection And Ranging), η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση τόσο της οριζόντιας όσο και της κατακόρυφης δομής της βλάστησης σε κλίμακα τοπίου (Bergen et al., 2009).**

1.2 Επίγειες και εναέριας μετρήσεις με καινοτόμες μεθόδους LiDAR

Η χρήση των επίγειων δεδομένων LiDAR έχει φέρει επανάσταση στη μελέτη της βιοποικιλότητας, επιτρέποντας τη συλλογή λεπτομερών τρισδιάστατων δεδομένων για τη δομή της βλάστησης και του φυσικού περιβάλλοντος. Οι αισθητήρες όπως το επίγειο **Simultaneous Localization and Mapping – SLAM** και το **Terrestrial Laser Scanning – TLS**, έχουν καταστεί κρίσιμα εργαλεία για την εξαγωγή παραμέτρων που σχετίζονται με τη βιοποικιλότητα, όπως η δομή του δάσους, η κατανομή των ειδών και η δυναμική της βλάστησης.

Συγκεκριμένα, με τη χρήση συστημάτων TLS η δομή τόσο της βλάστησης όσο και του εδάφους μπορεί να μετρηθεί αυτόματα μέσω μαζικών νεφών σημείων XYZ σε τρισδιάστατο χώρο (Liang et al., 2016, Ritter et al., 2017). Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του TLS αποτελεί η γρήγορη, αυτόματη και λεπτομερής καταγραφή της δομής του δάσους (Holopainen et al., 2013). Επειδή η τεχνολογία TLS συνδέεται με νέα πρότυπα και πρωτόκολλα, επηρεάζει σταδιακά την παραδοσιακή μεθοδολογία στον τρόπο αξιολόγησης των χαρακτηριστικών της δασικής δομής. Οι πρώτες μελέτες σχετικά με την εφαρμογή του TLS σε δασικές απογραφές αποκάλυψαν τις μεγάλες δυνατότητές του για την εξαγωγή ακριβών μετρήσεων των χαρακτηριστικών των μεμονωμένων δέντρων (Liang et al., 2016), αλλά απαιτείται ακόμη μεγάλη προσπάθεια για την ανάλυση των δεδομένων TLS. Πρόσφατες μελέτες έχουν ερευνήσει και προτείνει διάφορες προσεγγίσεις για την αυτόματη αναγνώριση των θέσεων των δένδρων δειγματοληπτικών επιφανειών, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν σε αλγορίθμους συστάδων (cluster algorithms) και σε αλγορίθμους προσαρμογής κύκλων (circle fitting algorithms), για την αναγνώριση των κορμών των δένδρων (Olofsson et al., 2014). Επίσης, παρόμοιοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για την αυτόματη μέτρηση της στηθιαίας διαμέτρου (DBH), του ύψους δένδρου (tree height) και άλλων σχετικών παραμέτρων βιοποικιλότητας.



Η χρήση TLS αισθητήρων για τη συλλογή δεδομένων νέφους σημείων στο πεδίο έφερε επανάσταση στον τρόπο συλλογής και στην αξιοποίηση των αποτελεσμάτων, αποτελεί συχνά χρονοβόρα διαδικασία και ορισμένες φορές με ελλιπή απόκτηση δεδομένων λόγω της στατικής θέσης του αισθητήρα κατά τη διάρκεια της σάρωσης. Για την περαιτέρω βελτίωση της αποτελεσματικότητας στη συλλογή δεδομένων με τη χρήση συστημάτων σάρωσης laser, η χρήση κινητών επίγειων σαρωτών με ενεργητικούς αισθητήρες LiDAR που υποστηρίζουν **σύγχρονες μεθόδους Ταυτόχρονης Ανίχνευσης και Δημιουργίας Χάρτη (Simultaneous Localization and Mapping - SLAM)** έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται σε δασικά οικοσυστήματα, λόγω της ικανότητάς να μετρά πολύπλοκες δασικές περιοχές σε σύντομο χρονικό διάστημα (Collob et.al.,2020, Liang et. Al.,2016, Maltamo et.al.,2011, Chen et.al.,2019). Με το TLS, είναι απαραίτητο να υπάρχουν πολλαπλές θέσεις σάρωσης (δηλαδή, μια προσέγγιση πολλαπλών σαρώσεων) με τεχνητούς στόχους για υψηλά ποσοστά ανίχνευσης και χαμηλά σφάλματα DBH - ακόμη και τότε, υπάρχουν πάντα φαινόμενα σκίασης και μη ανιχνεύσεις. Ωστόσο, οι κινητοί αισθητήρες SLAM προσφέρουν ένα ισχυρό εργαλείο για την επίλυση του προβλήματος της απόκρυψης δέντρων και της αδυναμίας μετακίνησης. Αυτό μειώνει τον απαιτούμενο χρόνο και το κόστος εργασίας. Έρευνες παρουσιάζουν ότι εντός ίσου χρονικού πλαισίου, η περιοχή που μπορεί να διερευνηθεί με τη χρήση του MLS είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την περιοχή που διερευνάται με το TLS (Liang et. Al.,2016).

Καθώς οι αισθητήρες LiDAR με σημεία διακριτών επιστροφών (discrete returns) μπορούν να παρέχουν αρκετές επιστροφές σήματος ανά παλμό και αρκετά σημεία ανά τετραγωνικό μέτρο, η κατακόρυφη κατανομή των επιστροφών **LiDAR χρησιμοποιείται συχνά για τον χαρακτηρισμό του κατακόρυφου προφίλ της βλάστησης, το οποίο προσφέρει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη δομή του υπορόφου του δάσους και, ως εκ τούτου, μπορεί να είναι χρήσιμο για την πρόβλεψη τοπικών προτύπων βιοποικιλότητας** (Carrasco et.al.,2019). Με τις νέες δυνατότητες των οργάνων LiDAR για τον χαρακτηρισμό των κατακόρυφων προφίλ, ο προσδιορισμός των δομικών στοιχείων σε μια δασική επιφάνεια που συμβάλλουν στην ετερογένεια, είναι: ύψος, διάμετρος κορμού και διάμετρος κόμης. Επίσης, παράμετροι της δομής βλάστησης που εξάγονται από δεδομένα επίγειας σάρωσης (TLS) για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των δασικών οικοσυστημάτων, επικεντρώνονται στην ανάλυση μετρικών όπως το ύψος δέντρου (TH), η διάμετρος στο ύψος του στήθους (DBH), τα χαρακτηριστικά της κόμης, ο όγκος του κορμού και η δομή του θόλου. Οι μεταβλητές αυτές χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του όγκου και της βιομάζας των δέντρων, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση των δασών και τις οικολογικές μελέτες (Panagiotidis et.al.,2021).

1.3 Χρήση δορυφορικών -φασματικών δεδομένων για την εξαγωγή πληροφορίας σχετικά με την βιοποικιλότητα

Υπάρχουν αρκετές προσπάθειες χαρτογράφησης και παρακολούθησης βιοποικιλότητας, χρησιμοποιώντας δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα όπως Landsat (Fernández-García et al., 2021; Madonsela et al., 2017), Sentinel-2 (Agrillo et al., 2021; Hauser et al., 2021), PlanetScope (Marzialetti et al., 2021), Modis (Pinto-Ledezma and Cavender-Bares, 2021), Komsat (Andries et al., 2021), σε διαφορετικές κλίμακες και τύπους οικοσυστημάτων. Δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για την τοπική καταχώρηση ειδών (alpha-diversity)(Chrysafis et al., 2020; Mallinis et al., 2020), τη μέτρηση και την παρακολούθηση άλλων συνιστωσών της ποικιλότητας,



όπως γάμα και βήτα ποικιλότητα (Arekhi et al., 2017; Khare et al., 2019), δείκτες βιοποικιλότητας (Pastick et al., 2020), και λειτουργική ποικιλότητα φυτικών ειδών (Ma et al., 2019; Zhao et al., 2021), τα πρότυπα λειτουργίας των οικοσυστημάτων και τη σύνθεση, τη φαινολογία της βλάστησης (Reddy, 2021).

Διάφορες μεθοδολογικές προσεγγίσεις έχουν αναπτυχθεί για την ποσοτικοποίηση της φασματικής ποικιλότητας των δεδομένων τηλεπισκόπησης και τη συσχέτισή της με τη βιοποικιλότητα στο έδαφος, βασιζόμενες σε φασματικά βελτιωμένες εικόνες (Gould, 2000; Nagendra et al., 2010; Warren et al., 2014), χωρικά βελτιωμένες εικόνες (Madonsela et al., 2017), πολυμεταβλητούς μετασχηματισμούς (Lopes et al., 2017) και προηγμένες τεχνικές ταξινόμησης εικόνας (Khare et al., 2018).

Προϊόντα που παρέχουν τιμές ανάκλασης επιφάνεια της γης (Surface Reflectance - SR) προτιμώνται σε μελέτες βιοποικιλότητας και δασικών οικοσυστημάτων, καθώς αντιπροσωπεύουν την πραγματική ανάκλαση της επιφάνειας, αφαιρώντας τις επιδράσεις της ατμόσφαιρας, όπως η σκέδαση και η απορρόφηση (Buchanan, G. M., Nelson, A., Mayaux, P., Hartley, A., & Donald, 2009). Σε αντίθεση με την ανάκλαση στην κορυφή της ατμόσφαιρας (TOA), η οποία επηρεάζεται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, η SR επιτρέπει την καλύτερη ανάλυση των φυσικών χαρακτηριστικών της βλάστησης, της υγρασίας του εδάφους και της κάλυψης γης (Song et al., 2001). Αυτό βελτιώνει την ακρίβεια στην ταξινόμηση της βλάστησης και στον υπολογισμό βιοφυσικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της υγείας των οικοσυστημάτων (Pettorelli et al., 2005). Επιπλέον, η SR χρησιμοποιείται ευρέως σε μοντέλα χαρτογράφησης της βιοποικιλότητας και παρακολούθησης οικοτόπων, καθώς μειώνει τις ασυνέπειες μεταξύ διαφορετικών εικόνων και αισθητήρων, επιτρέποντας συγκρίσεις σε βάθος χρόνου (Zhu et al., 2015).

Η φασματική ανάλυση των δεδομένων είναι κατάλληλη για την εξέταση της φασματικής ποικιλότητας καθώς τα φυτικά είδη παρουσιάζουν ένα σύνολο χαρακτηριστικών που ανταποκρίνονται στο φως σε διαφορετικά μήκη κύματος (Laliberté et al., 2020). Κάθε φυτό διαθέτει μια ξεχωριστή φασματική υπογραφή, δηλαδή έναν συγκεκριμένο τρόπο απορρόφησης και ανάκλασης του φωτός σε διαφορετικά μήκη κύματος, γεγονός που επιτρέπει την αναγνώρισή του μέσω τηλεπισκόπησης. Συγκεκριμένα, στην ορατή περιοχή του φάσματος, η χλωροφύλλη των φυτών απορροφά έντονα το μπλε και το κόκκινο φως, ενώ αντανακλά το πράσινο, εξηγώντας έτσι το χρώμα της βλάστησης. Στο εγγύς υπέρυθρο (NIR), η υγιής βλάστηση παρουσιάζει υψηλή ανακλαστικότητα λόγω της δομής των κυτταρικών τοιχωμάτων των φύλλων, ενώ σε μεγαλύτερα μήκη κύματος, όπως στο μεσαίο υπέρυθρο (SWIR), η φασματική υπογραφή επηρεάζεται από την περιεκτικότητα των φυτών σε νερό. Αυτή η διαφοροποίηση στις φασματικές ιδιότητες επιτρέπει τη χαρτογράφηση της βιοποικιλότητας, την αναγνώριση φυτικών ειδών και την ανίχνευση αλλαγών στη βλάστηση λόγω κλιματικών ή ανθρωπογενών επιδράσεων.

Φασματικοί δείκτες έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της μεταβλητότητας στη μοντελοποίηση, η οποία σχετίζεται με τον φωτισμό της σκηνής, το υπόβαθρο του εδάφους, τη μη φωτοσυνθετική βλάστηση και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (Chrysafis et al., 2019), ενώ μπορούν να ενισχύσουν τη συσχέτιση ορισμένων χαρακτηριστικών της βλάστησης σε σύγκριση με την αρχική ανακλαστικότητα που καταγράφεται από τον αισθητήρα (Massetti et al., 2016)



Τα μέτρα υφής εικόνων μεσαίας-υψηλής και πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης επιτρέπουν λεπτομερέστερη διάκριση των δομικών χαρακτηριστικών μέσα σε δασικές περιοχές (Schumacher et al., 2016) και του προτύπου της χωρικής μεταβλητότητας (Haralick et al., 1973). Αυτή η μεταβλητότητα θεωρείται ότι αντανακλά μεγαλύτερη περιβαλλοντική ετερογένεια.

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση μπορεί να μας πει πολλά για την κατάσταση της βιοποικιλότητας και τις δυνατότητες παρεμβάσεων διατήρησης σε πολλαπλές χωρικές και χρονικές κλίμακες (Pettoirelli et al., 2014) (O'Connor et al., 2015), ωστόσο, η δεν αποτελεί πανάκεια και λίγα μπορούν να επιτευχθούν χωρίς μια ισχυρή κατανόηση του εξεταζόμενου οικοσυστήματος. Ομοίως, η πρόσβαση σε σχετικές πληροφορίες πεδίου είναι το κλειδί για τη σωστή βαθμονόμηση, ανάλυση και επικύρωση των δορυφορικών εικόνων.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ένα από τα δύο πιλοτικά Εθνικά Πάρκα στα οποία πραγματοποιήθηκε η έρευνα για τους σκοπούς του EL BIOS είναι το «Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου - Στροφυλιάς» στη βορειοδυτική Πελοπόννησο. Το Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (ΕΠΚΣ) εκτείνεται στην παράκτια ζώνη της βορειοδυτικής Πελοποννήσου, αποτελεί το μεγαλύτερο υγροτοπικό οικοσύστημα της περιοχής και είναι ένας από τους 10 υγροτόπους Διεθνούς Σημασίας σύμφωνα με τη Συνθήκη Ραμσάρ, της χώρας.

Στα όρια του περιλαμβάνονται πέντε περιοχές του Δικτύου Natura 2000: δύο χαρακτηρισμένες ως Ζώνες Ειδικής Προστασίας - ΖΕΠ (SPA) και τρεις ως Ειδικές Ζώνες Διατήρησης - ΕΖΔ (SCI) (Πίνακας 1)

Πίνακας 1 Περιοχές Natura-2000 Εθνικού Πάρκου Υγροτόπων Κοτυχίου - Στροφυλιάς

Κωδικός Τόπου	Ονομασία	Χαρακτηρισμός
GR2320001	Λιμνοθάλασσα Καλογριάς, Δάσος Στροφυλιάς και Έλος Λαμίας, Άραξος	ΤΚΣ (SCI)
GR2330006	Λιμνοθάλασσα Κοτύχι, Βρίνια	ΤΚΣ (SCI)
GR2330007	Παράκτια θαλάσσια ζώνη από Ακρ. Κυλλήνη έως Τούμπι	ΤΚΣ (SCI)
GR2330009	Λιμνοθάλασσα Κοτύχι – Αλυκή Λεχαινών	ΖΕΠ (SPA)
GR2320011	Υγρότοποι Καλογριάς Λαμίας και δάσος Στροφυλιάς	ΖΕΠ (SPA)

Το Εθνικό Πάρκο συνιστά μωσαϊκό δασικών, παράκτιων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Περιλαμβάνει το μεγαλύτερο σε έκταση δάσος κουκουναριάς στην Ελλάδα (22.000 στρ.) και από τα μεγαλύτερα στην Ευρώπη, γνωστό ως δάσος Στροφυλιάς. Πρόκειται για μικτό δάσος θερμόφιλων κωνοφόρων (*Pinus pinea*, *P. halepensis*) και φυλλοβόλων (*Quercus macrolepis*). Περιλαμβάνει ξηρά και υγρά ενδιαιτήματα, καθώς σχηματίζονται λιμνάζοντα νερά και φυσικά ή τεχνητά κανάλια. Απαντούν η χαλέπιος πεύκη (*P. halepensis*) στην παράκτια ζώνη (παραλία, θίνες), η κουκουναριά (*P. pinea*) κυρίως στην ανατολική ζώνη, προστατευμένη από τους ανέμους και την αλατότητα από τη ζώνη της χαλεπίου πεύκης, και η ήμερη βαλανιδιά (*Q. macrolepis*) πιο σπάνια σε μικρή μόνο έκταση. Ακόμα, φύονται γκορτσιές (*Pyrgus amygdaliformis*, *Pistacia terebinthus*), θαμνοκυπάρισσα ή φοινικική άρκευθος (*Juniperus phoenicea*), φράξος (*Fraxinus angustifolius*). Στα δυτικά του δάσους και προς το θαλάσσιο μέτωπο στο Ιόνιο αναπτύσσεται παραλία με θίνες που αντιστοιχεί στους

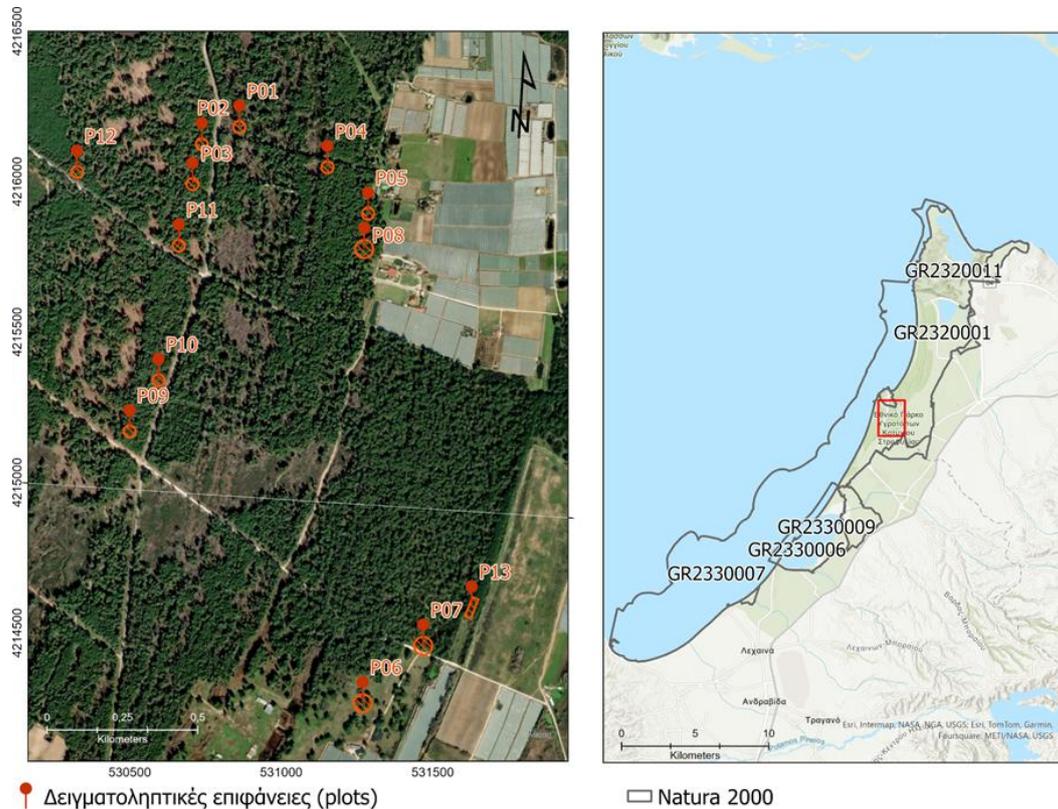


οικότοπους προτεραιότητας «2250* - Λόχμες των παραλιών με αρκεύθους (*Juniperus* spp.)» και «2270* - Θίνες με δάση από *Pinus pinaster* ή/και *Pinus pinaster*». Οι θίνες μπορούν να φτάσουν σε ύψος έως 10 m και πλάτος από 20-500 m και αποτελούν ένα φυσικό αντιπλημμυρικό φράγμα. Ταυτοχρόνως, το δάσος της Στροφυλιάς έχει λειτουργήσει σαν φυσικό ανάχωμα περιορίζοντας τις θίνες στα σημερινά τους όρια στην παράκτια ζώνη. Κατά τη χειμερινή κυρίως περίοδο, από τα νερά των βροχοπτώσεων και από την εισβολή της θάλασσας λόγω παλιρροϊκών φαινομένων, δημιουργούνται εποχικά έλη και τέλματα και πλημμυριζόμενα λιβάδια, τα οποία στο μεγαλύτερο ποσοστό τους ξηραίνονται κατά τη θερινή περίοδο. Στα δυτικά της λίμνης Πρόκοπου δημιουργούνται στα παλιρροϊκά πεδία «κόκκινα χαλιά» από το αλόφιλο φυτικό είδος *Salicornia europaea*. Γενικά, η μεταβαλλόμενη παρουσία των επιφανειακών υδάτων συνιστά βασική μεταβλητή για την καταγραφή και αξιολόγηση των υγροτοπικών τύπων οικοτόπων.

Η συλλογή δεδομένων στο πεδίο με καινοτόμες μεθόδους¹ πραγματοποιήθηκε στο δάσος της Στροφυλιάς (Νοέμβριος 2022) και περιελάμβανε μετρήσεις LiDAR και φωτογραμμετρικών δεδομένων με τη χρήση UAV (Unoccupied Air Vehicle), επίγειες μετρήσεις με τη χρήση συσκευής SLAM και επίγειου αισθητήρα TLS, καθώς επίσης και μετρήσεις με κλασικές μεθόδους. Επιλέχθηκαν επιφάνειες ακτίνας 18μ και συνολικής επιφάνειας περί το ένα (1) εκτάριο σε διάφορα σημεία της περιοχής, ώστε να περιλαμβάνουν, περιοχές με πυκνότερη ή αραιότερη βλάστηση, ζώνες με διαφορετικά είδη φυτών και περιοχές με υδατοσυλλογές. Επίσης, ο παράγοντας της προσβασιμότητας αποτέλεσε σημαντικό κριτήριο για την επιλογή των δειγματοληπτικών επιφανειών, ενώ οι θέσεις των κέντρων τους προσδιορίστηκαν αρχικά από το γραφείο με τη χρήση διαφόρων δορυφορικών δεδομένων, ώστε να εξασφαλισθεί τόσο η ομαλή πρόσβαση σε αυτές όσο και να ελεγχθούν οι γενικότερες συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή. Συνολικά, επιλέχθηκαν 13 επιφάνειες (Εικόνα 1).

Σο σύνολο του ΕΠΚΣ εφαρμόστηκαν καινοτόμες τεχνικές με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων υψηλής και πολύ υψηλής ανάλυσης για τη μοντελοποίηση της κατανομής δεικτών που αφορούν στη βλάστηση, στα μικροενδιαιτήματα που σχετίζονται με τα δέντρα, και στα ύδατα. Η μοντελοποίηση δεικτών που αφορούν στο θαλάσσιο ενδιαίτημα της ποσειδωνίας εκτιμήθηκε ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί λόγω μη διαθέσιμων δεδομένων για τις ισοβαθείς.

¹ Μεθοδολογικά στοιχεία για την εφαρμογή των καινοτόμων μεθόδων μπορείτε να δείτε στην αναφορά B4.3.



Εικόνα 1 Δειγματοληπτικές περιοχές (plots) στο Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου – Στροφυλιάς

3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Οι μετρήσεις στο πεδίο με κλασικές μεθόδους διεξήχθησαν στις 13 δειγματοληπτικές επιφάνειες στο δάσος Στροφυλιάς. Ακολουθούν βασικά στοιχεία της μεθοδολογίας και σύνοψη των μετρήσεων για χαρακτηριστικά που περιγράφουν: α) τη δομή βλάστησης όπως στηθαία διάμετρος, ύψος και αριθμός δέντρων, β) τη βιομάζα, γ) την ποικιλότητα των ειδών δέντρων, και δ) τα μικροενδιαιτήματα που σχετίζονται με δέντρα.

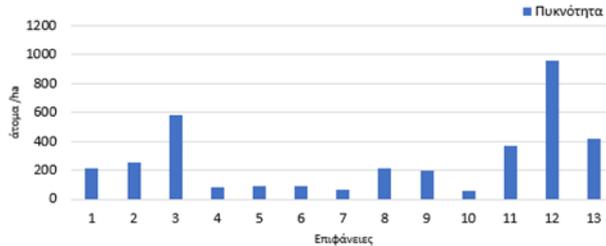
3.1 Δομή βλάστησης

Σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια και για κάθε είδος, μετρήθηκε η στηθαία διάμετρος και ο αριθμός των δέντρων με στηθαία διάμετρος μεγαλύτερη των 8 εκατοστών, και το ύψος του κάθε ατόμου. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι παρακάτω παράμετροι (Εικόνα 2):

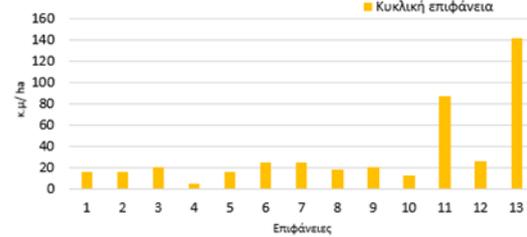
- ο συνολικός αριθμός ατόμων με στηθαία διάμετρο άνω των 8εκ και πραγματοποιήθηκε αναγωγή της πυκνότητας στο εκτάριο
- η κυκλική επιφάνεια κάθε ατόμου και η συνολική κυκλική επιφάνεια τους ανά εκτάριο
- ο ξυλώδης όγκος κάθε ατόμου και ο συνολικός ξυλώδης όγκος ανά εκτάριο.



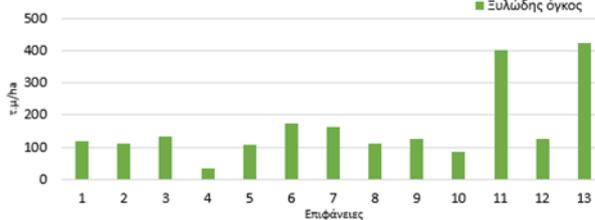
Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου –Στροφυλιάς



Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου –Στροφυλιάς



Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου –Στροφυλιάς



	Πυκνότητα (άτομα /ha)	Κυκλική επιφάνεια (κ.μ/ha)	Ξυλώδης όγκος (κ.μ/ha)
Μέσος όρος	276	32,79	162,84
Ελάχιστες τιμές	61	4,56	33,21
Μέγιστες τιμές	960	141,53	423,19
Τυπική απόκλιση	249	36,81	111,24

Εικόνα 2 Χαρακτηριστικά δομής δειγματοληπτικών επιφανειών στο δάσος Στροφυλιάς.

3.2 Βιομάζα

Για την εκτίμηση της βιομάζας εξετάστηκαν διάφορες αλλομετρικές εξισώσεις ανά δασικό είδος όπως εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία (βλ. περαιτέρω την αναφορά B4.3) και επιλέχτηκε ο γενικός τύπος εκτίμησης της βιομάζας ο οποίος συσχετίζει την βιομάζα ανορόφου με την διάμετρο του δέντρου.

$$M = a \times D^b$$

όπου M η συνολική υπέργεια ξηρή βιομάζα των δέντρων και D η στηθαία διάμετρος, α και β είναι συντελεστές κλιμάκωσης.

Για κάθε είδος οι συντελεστές βρέθηκαν βιβλιογραφικά

Fagus

$$M = 0,2511 \times D^{2,3485} \quad (\text{Zianis and Mencuccini, 2004})$$

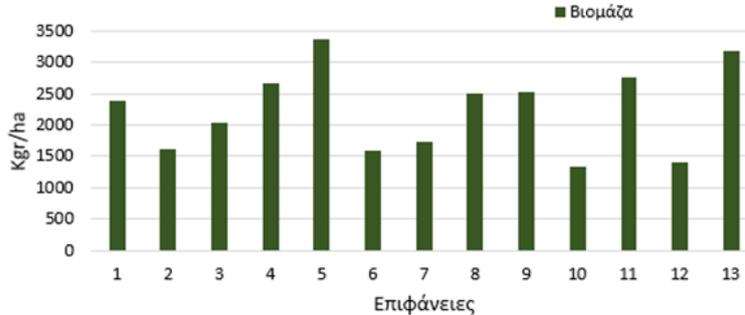
Pinus:

$$M = 0,1424 \times D^{2,3679} \quad (\text{Zianis, 2008})$$

Για κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια υπολογίστηκε η υπέργεια ξηρή βιομάζα κάθε ατόμου και η συνολική βιομάζα (kg) ανά εκτάριο (Εικόνα 3)



Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου –Στροφυλιάς



	Βιομάζα (Kgr/ha)
Μέσος όρος	2.241,73
Ελάχιστες τιμές	1.333,87
Μέγιστες τιμές	3.376,63
Τυπική απόκλιση	646,94

Εικόνα 3 Βιομάζα στις δειγματοληπτικές επιφάνειες στο δάσος Στροφυλιάς.

3.3 Ποικιλότητα

Για την εκτίμηση της ποικιλότητας των δέντρων μετρήθηκαν όλα τα είδη δασικών δέντρων με στηθαία διάμετρο άνω των 8 εκατοστών, σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια. Η ποικιλότητα αποδόθηκε με τους δείκτες: Species Richness (αφθονία ειδών), Shannon's diversity index (δείκτης ποικιλότητας), Simpson's diversity (δείκτης ποικιλότητας), Simpson's dominance (δείκτης κυριαρχίας) και Simpson's evenness (δείκτης ισομέρειας).

Species richness $S = N$ (Morris et al., 2014)

Shannon diversity Index $H' = -\sum_{i=1}^S p_i \times \ln(p_i)$ (Shannon 1948)

Simpson's diversity (D1) $D_1 = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$ (Morris et al., 2014)

Simpson's dominance (D2) $D_2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^S p_i^2}$ (Simpson 1949)

Simpson's evenness (E) $E = \frac{D_2}{S}$

Όπου

- N είναι ο συνολικός αριθμός των ειδών δέντρων σε μια επιφάνεια-
- p_i είναι η αναλογική αφθονία του είδους i σε σχέση με τη συνολική αφθονία όλων των ειδών S σε μια επιφάνεια
- $\ln(p_i)$ είναι ο φυσικός λογάριθμος αυτής της αναλογίας.

Συνοπτικά στατιστικά στοιχεία για τους δείκτες ποικιλότητας παρατίθενται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4 Μετρήσεις για την ποικιλότητα των ειδών δέντρων ανά δειγματοληπτική επιφάνεια στο δάσος Στροφυλιάς.

3.4 Μικροενδιαιτήματα

Με βάση την τυπολογία TreM (Tree-related Microhabitat)² (Larrieu et al., 2018) καταγράφηκε στο πεδίο η παρουσία και η συχνότητα των μικροενδιαιτημάτων στα δέντρα. Τα μικροενδιαιτήματα που σχετίζονται με τα δέντρα αναγνωρίζονται ευρέως ως βασικά χαρακτηριστικά για τη βιοποικιλότητα και κρίσιμο ενδιαίτημα για διάφορα είδη (Larrieu et al., 2021, Bütler et al., 2020). Πρόκειται για διακριτά, καλά οριοθετημένα μορφολογικά χαρακτηριστικά που φέρουν τα ζωντανά και νεκρά δέντρα.

Τα αποτελέσματα των καταγραφών ανά κατηγορία μικροοικοτόπου για το σύνολο των δειγματοληπτικών επιφανειών παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Στατιστικά στοιχεία και ο αριθμός μικροενδιαιτημάτων ανά εκτάριο που καταγράφηκαν σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) και στις σχετικές εικόνες (Εικόνα 5 και Εικόνα 6).

Πίνακας 2 Καταγραφή μικροενδιαιτημάτων ανά κατηγορία TreM στο σύνολο των δειγματοληπτικών επιφανειών του Εθνικού Πάρκου Κοτυχίου - Στροφυλιάς

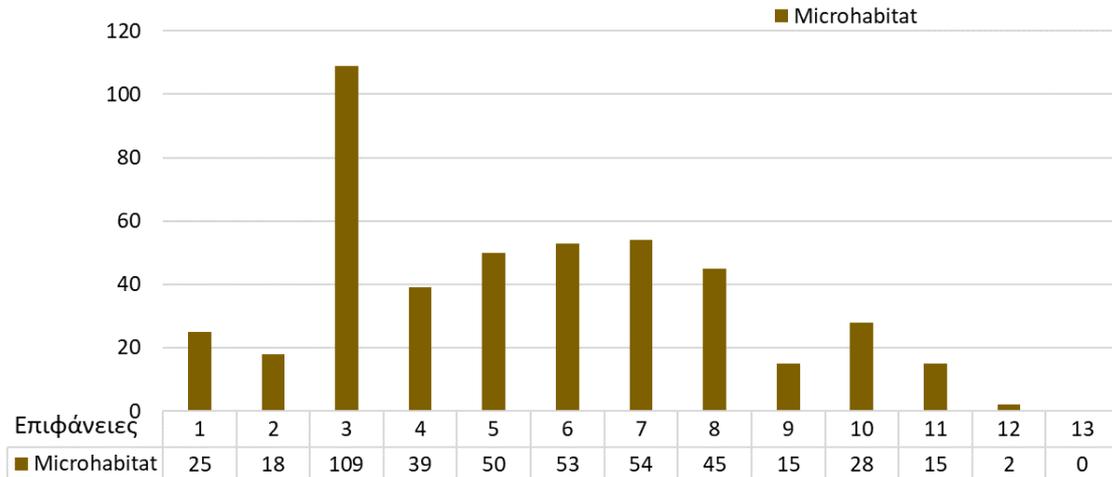
² Για περαιτέρω πληροφορίες για την τυπολογία TreM μπορείτε να δείτε την αναφορά B4.3.



Μικροενδιαίτημα	Δάσος Στροφυλιάς
Άλλα (OT)	117
Microsoil	100
Ρητίνη και χυμοί	17
Επίφυτα (EP)	32
Επιφυτικά κρυπτό- και φανερόγαμα	21
Μύκητες κτλ	11
Μυξομύκητες	0
Κοιλότητες (CV)	78
Dendrotelms και κοιλότητες/οπές συγκράτησης νερού	33
Κοιλότητες δρυκολάπτη	1
Κορμός και κοιλότητες μούχλας	3
Οπές κλαδιών	37
Στοές και οπές εντόμων	4
Νεκρό ξύλο (DE)	130
Νεκρά κλαδιά και κλαδίσκοι / νεκρό ξύλο κόμης	130
Παραμόρφωση / ανάπτυξη (GR)	0
Καρκινώματα	0
Κοιλότητες ρίζας	0
Σκούπα μάγισσας	0
Τραυματισμοί και πληγές (IN)	41
Απώλεια φλοιού / εκτεθειμένο σομφό ξύλο	30
Ρωγμές και ουλές	11
Φλοιός (BA)	53
Φλοιός	53
Φωλιές (NE)	2
Φωλιές	2
Σύνολο	453



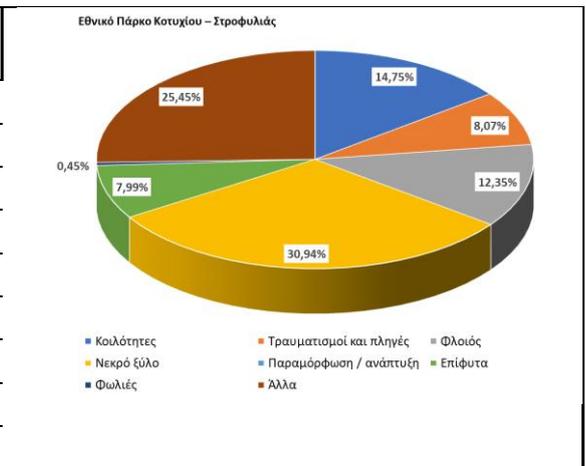
Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου –Στροφυλιάς



Εικόνα 5 Πλήθος μικρο-ενδιαιτημάτων ανά δειγματοληπτική επιφάνεια του Εθνικού Πάρκου Κοτυχίου - Στροφυλιάς

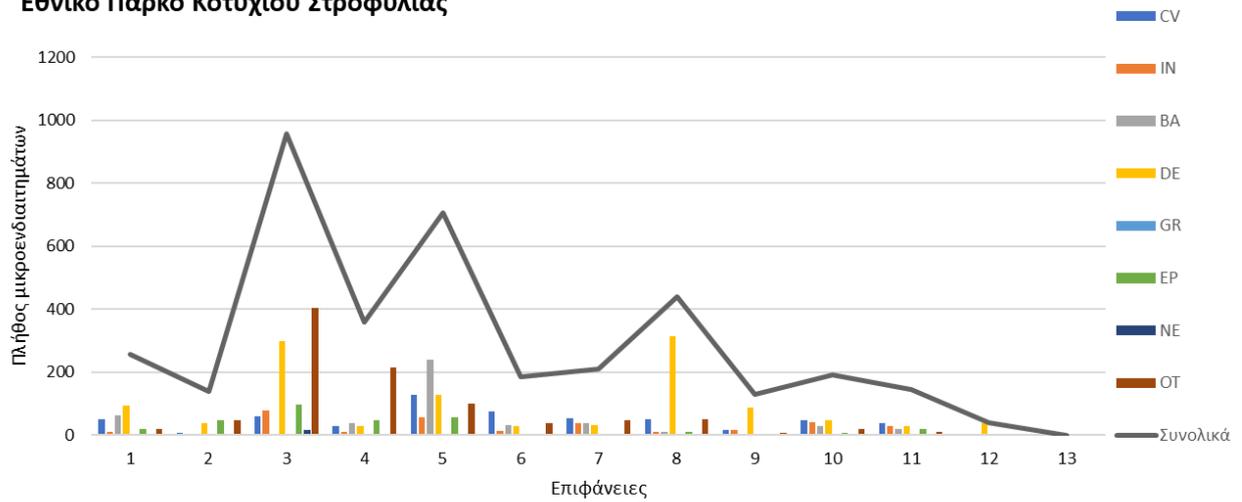
Πίνακας 2 Στατιστικά στοιχεία μικροενδιαιτημάτων ανά εκτάριο, στο σύνολο των δειγματοληπτικών επιφανειών, για το Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου - Στροφυλιάς

	Μέσος όρος	Ελάχιστες τιμές	Μέγιστες τιμές	Τυπική απόκλιση
CV	43	0	127	33
IN	23	0	79	23
BA	36	0	240	62
DE	89	0	314	98
GR	0	0	0	0
EP	23	0	97	29
NE	1	0	17	5
OT	74	0	405	110
ΣΥΝ.	289	0	958	262





Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου Στροφυλιάς



Εικόνα 6 Μικροενδιαιτήματα ανά εκτάριο σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια του Εθνικού Πάρκου Κοτυχίου - Στροφυλιάς



4. ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΕΝΑΕΡΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ LiDAR

Όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή η χρήση των **δεδομένων LiDAR** και η **ανάλυση νέφους σημείων** που προκύπτουν από πολλαπλές πηγές αισθητήρων επιτρέπει τη συλλογή λεπτομερών τρισδιάστατων δεδομένων που σχετίζονται με τη βιοποικιλότητα όπως η δομή και η δυναμική της βλάστησης και η κατανομή των ειδών.

Οι μετρήσεις με καινοτόμες μεθόδους διενεργήθηκαν με δεδομένα από διαφορετικούς επίγειους και εναέριους ενεργητικούς σαρωτές και πλατφόρμες³:

- Επίγειους κινητούς σαρωτές με ενεργητικούς αισθητήρες LiDAR που υποστηρίζουν σύγχρονες μεθόδους Ταυτόχρονης Ανίχνευσης και Δημιουργίας Χάρτη (Simultaneous Localization and Mapping - **SLAM**)
- Επίγειους στατικούς σαρωτές με ενεργητικούς αισθητήρες **LiDAR Terrestrial Laser Scanning - TLS**
- Αερομεταφερόμενους ενεργητικούς αισθητήρες LiDAR σε πλατφόρμα μη διακατεχόμενου εναέριου οχήματος (Unoccupied Air Vehicle - UAV) **UAV –LiDAR**
- Οπτικό αισθητήρα τηλεπισκόπησης σε πλατφόρμα μη διακατεχόμενου εναέριου οχήματος - **UAV camera**

Η ανάλυση των νεφών σημείων πραγματοποιήθηκε σε δύο βασικές προσεγγίσεις:

- 1) αναγνώριση μεμονωμένων δένδρων (**Individual Tree Detection-ITD**)
- 2) ανάλυση σε επίπεδο περιοχής (**area-based**).

Στον Τεχνικό Οδηγό (βλ. αναφορά B4.3), δίνονται πληροφορίες για τη διαδικασία της γεωαναφοράς των νεφών σημείων, από τους διάφορους αισθητήρες LiDAR, ώστε τα παραγόμενα αποτελέσματα να είναι άμεσα συγκρίσιμα με τα δεδομένα που καταγράφονται στο πεδίο με κλασικές μεθόδους.

4.1 Μετρήσεις με τεχνολογίες LiDAR SLAM, LiDAR TLS, LiDAR UAV & με ITD ανάλυση νέφους

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα στοιχεία για τις δεκατρείς (13) επιλεγμένες δειγματοληπτικές περιοχές που μετρήθηκαν με αισθητήρες SLAM, TLS και UAV-LiDAR (Πίνακας 3).

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας ανά δειγματοληπτική επιφάνεια (plot) στο Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου - Στροφυλιάς, τύπος δεδομένων και λογισμικό για την εξαγωγή παραμέτρων σχετικών με τη βιοποικιλότητα

Επιφάνειες (Plots)	Δεδομένα	Λογισμικό
P01	SLAM, TLS, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest
P02	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest
P03	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest
P04	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest
P05	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest

³ Για περαιτέρω πληροφορίες για τα καινοτόμα συστήματα καταγραφής μπορείτε να δείτε την αναφορά B4.3.



P06	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest
P07	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest
P08	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest
P09	SLAM, TLS, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest
P10	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest
P11	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest
P12	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest
P13	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Forest

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τις αναλύσεις των δεδομένων του επίγειου αισθητήρα LiDAR SLAM και του εναέριου αισθητήρα LiDAR UAV για το δάσος Στροφυλιάς και συνδυασμού αυτών. Περιλαμβάνονται βασικά στοιχεία της μεθοδολογίας και σύνοψη των μετρήσεων για χαρακτηριστικά που περιγράφουν: α) τη δομή βλάστησης όπως στηθαία διάμετρος, ύψος και αριθμός δέντρων, β) τη βιομάζα, γ) την ποικιλότητα των ειδών δέντρων, και δ) τα μικροενδιαίτηματα που σχετίζονται με δέντρα.

4.1.1 Θέση και αριθμός δέντρων

Η θέση του δέντρου στις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους νοείται συνήθως ως η θέση του κέντρου της βάσης του δέντρου. Στα πλαίσια του έργου και μετά από συγκριτική αξιολόγηση δύο μεθόδων, χρησιμοποιήθηκαν όλα τα σημεία μέχρι ένα καθορισμένο από τον χρήστη ύψος (π.χ. στο 3D Forest η προεπιλογή είναι 60 cm) πάνω από το χαμηλότερο σημείο του δέντρου και υπολογίστηκαν οι διαμέσες συντεταγμένες X και Y. Η συντεταγμένη Z ορίζεται ως η διάμεση τιμή Z των (N) (προεπιλεγμένη τιμή είναι N=5) πλησιέστερων σημείων του εδάφους σε αυτή τη θέση X, Y. Η συγκεκριμένη μέθοδος παρείχε σταθερότερα αποτελέσματα, μειώνοντας την πιθανότητα σφαλμάτων.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται, σε σύγκριση με τις μετρήσεις πεδίου που διενεργήθηκαν με κλασικές μεθόδους (στήλη ΠΕΔΙΟ), τα συγκεντρωτικά στοιχεία σχετικά με τον αριθμό των δέντρων που αναγνωρίστηκαν στις δειγματοληπτικές επιφάνειες στο δάσος Στροφυλιάς μέσω των νεφών σημείων, που προέκυψαν από μετρήσεις SLAM και του συνδυασμού SLAM και UAV (SLAM_UAV)

Ως μέτρα ακρίβειας χρησιμοποιήθηκαν

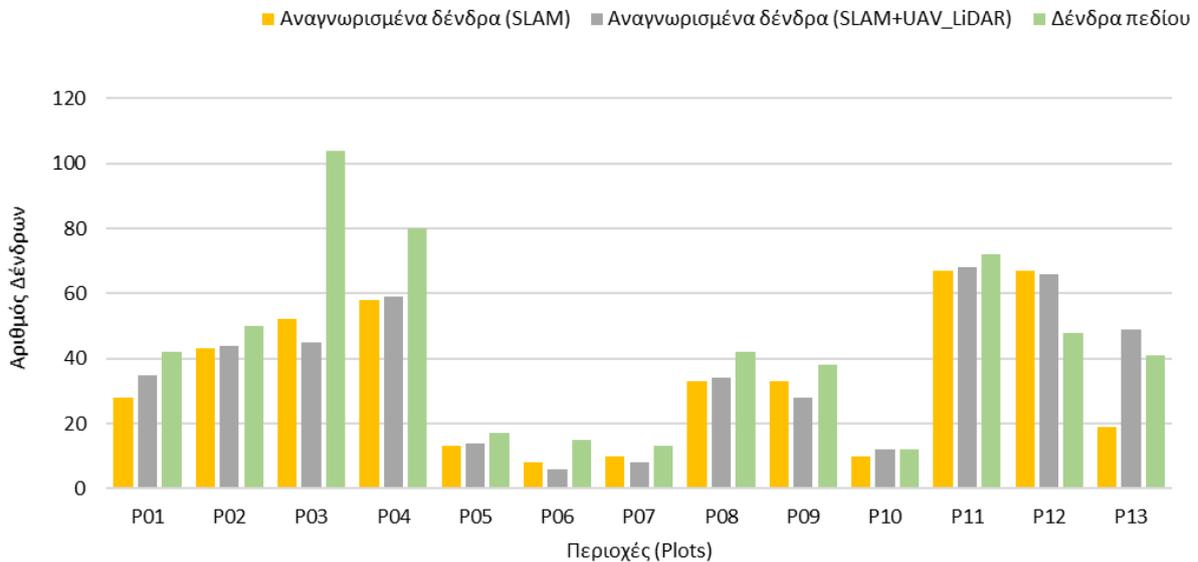
- detection rate (%): το ποσοστό των σωστά αναγνωρισμένων δένδρων του πεδίου,
- commission error (%): το ποσοστό των λανθασμένα αναγνωρισμένων θέσεων των δένδρων.
- overall accuracy (%): ένας συνδυασμός των προηγούμενων δύο μετρικών ως κριτήριο ποιότητας.

Πίνακας 4: Αριθμός δένδρων και ακρίβεια εκτίμησης από επίγειο αισθητήρα LiDAR SLAM, και του συνδυασμού του με εναέριο αισθητήρα LiDAR UAV (SLAM_UAV) και μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους (ΠΕΔΙΟ) στις δειγματοληπτικές περιοχές (plots) στο δάσος Στροφυλιάς.



Plots (Περιοχές)	Αριθμός αναγνωρισμένων Δένδρων			Αριθμός Δένδρων αυτόματης εξαγωγής		Ακρίβεια					
	ΠΕΔΙΟ	SLAM	SLAM_UAV	SLAM	SLAM_UAV	Detection Rate (%)		Commission Error (%)		Overall Accuracy (%)	
						SLAM	SLAM_UAV	SLAM	SLAM_UAV	SLAM	SLAM_UAV
P01	42	28	35	41	52	66,67	83,33	31,71	32,69	34,96	50,64
P02	50	43	44	78	52	86	88	44,87	15,38	41,13	72,62
P03	104	52	45	98	88	50	43,27	46,94	48,86	3,06	-5,59
P04	80	58	59	77	67	72,5	73,75	24,68	11,94	47,82	61,81
P05	17	13	14	21	15	76,47	82,35	38,1	6,67	38,4	75,69
P06	15	8	6	10	6	53,3	40	20	0	33,3	40
P07	13	10	8	10	8	76,9	61,54	0	0	76,9	61,5
P08	42	33	34	45	42	78,57	80,95	26,67	19,05	51,9	61,9
P09	38	33	28	38	43	86,84	73,68	13,16	34,88	73,68	38,8
P10	12	10	12	22	31	83,3	100	54,55	61,29	28,8	38,7
P11	72	67	68	87	75	93,1	94,44	22,99	9,33	70,1	85,1
P12	48	67	66	72	74	139,6	137,5	6,94	10,81	132,6	126,7
P13	41	19	49	45	56	46,34	119,51	57,78	12,5	-	117,44

Στην Εικόνα 7 παρατηρείται ότι ο αριθμός των αναγνωρισμένων δένδρων από τα νέφη σημείων του SLAM ποικίλει σε πολλές δειγματοληπτικές περιοχές (plots), ενώ τα δένδρα πεδίου είναι περισσότερα από τα αναγνωρισμένα μέσω SLAM, με τις μεγαλύτερες διαφορές να εμφανίζονται στις δειγματοληπτικές επιφάνειες P03 και P04. Σε αυτές τις περιοχές, η υψηλή πυκνότητα των δέντρων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, καθώς και η παρουσία σημαντικού αριθμού δέντρων με μικρή στήθια διάμετρο (~9cm), καθιστούν ιδιαίτερα απαιτητική τη διαδικασία ακριβούς αναγνώρισης των μεμονωμένων δέντρων. Στις περιοχές P05, P06, P07 και P10 ο αριθμός των δένδρων πεδίου είναι αισθητά μικρότερος (<20) σε σύγκριση με άλλες περιοχές και ο συνολικός αριθμός των αναγνωρισμένων δένδρων (individual trees) δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές στα τρία σύνολα των δεδομένων. Ωστόσο, παρατηρείται ότι σε περιοχές όπου ο αριθμός των δένδρων πεδίου είναι μεγαλύτερος (>60), η αναγνώριση των μεμονωμένων δένδρων από το νέφος σημείων διαφέρουν αρκετά.



Εικόνα 7: Σύγκριση αριθμού αναγνωρισμένων δένδρων (SLAM), με δεδομένα πεδίου στην περιοχή του Εθνικού Πάρκου Κοτυχίου - Στροφυλιάς

Γενικά συμπεράσματα:

- το detection rate (%) των δένδρων είναι υψηλότερο στις περισσότερες δειγματοληπτικές περιοχές για το συνδυασμό SLAM + UAV LiDAR σε σύγκριση με το SLAM
- το commission error των λανθασμένα αναγνωρισμένων δένδρων είναι μικρότερο στις περισσότερες επιφάνειες από SLAM + UAV LiDAR,
- η ολική ακρίβεια είναι υψηλότερη στο SLAM + UAV LiDAR σε σύγκριση με το SLAM

Επίσης, σε δύο από τις 13 δειγματοληπτικές επιφάνειες (P01 και P09) πραγματοποιήθηκε σάρωση **με τη χρήση στατικού αισθητήρα TLS LiDAR**. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5) παρουσιάζεται ο αριθμός των δέντρων που εξήχθησαν από τα νέφη σημείων TLS σε σύγκριση με SLAM και με τις μετρήσεις πεδίου.

Πίνακας 5: Συγκεντρωτικά στοιχεία αριθμού δένδρων αναγνωρισμένα από SLAM, TLS και των μετρήσεων πεδίου για όλες τις δειγματοληπτικές περιοχές (plots) στο Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου - Στροφυλιάς

Plots (Περιοχές)	Αριθμός Δένδρων		
	SLAM	TLS	Πεδίο
P01	28	30	42
P09	33	32	38

4.1.2 Ύψος δέντρου

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6) παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στοιχεία το εκτιμώμενο ύψος (Tree Height) των δένδρων που αναγνωρίστηκαν στις δειγματοληπτικές επιφάνειες του Εθνικού

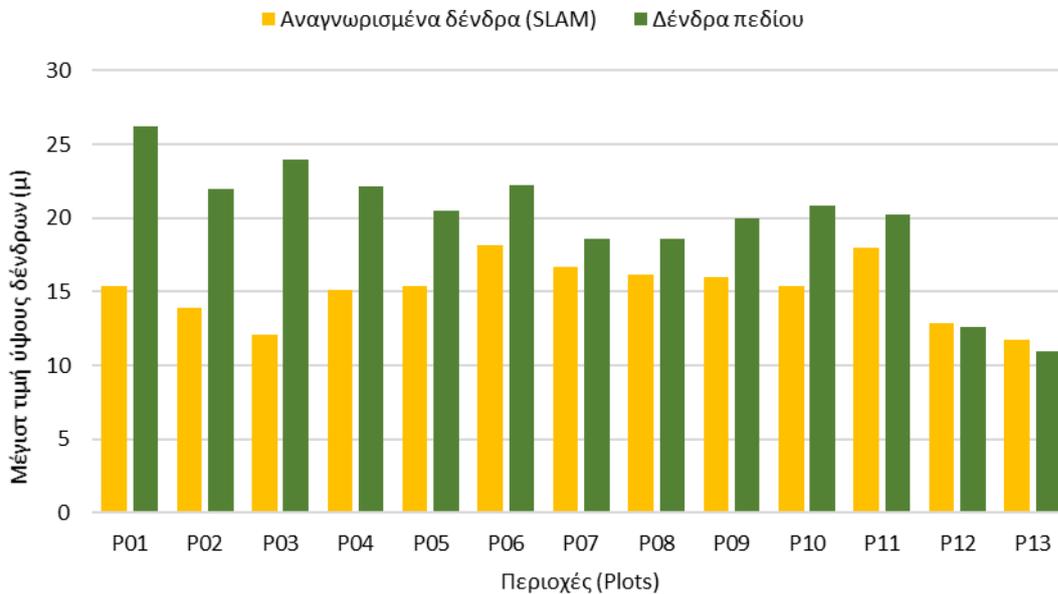


Πάρκου Κοτυχίου - Στροφυλιάς μέσω των νεφών σημείων που προέκυψαν από μετρήσεις SLAM και του συνδυασμού SLAM και UAV LiDAR και στη συνέχεια συγκρίθηκαν με τις μετρήσεις πεδίου.

Πίνακας 6: Συγκεντρωτικά στοιχεία μετρήσεων ύψους (H) από τα αναγνωρισμένα δένδρα SLAM, SLAM & UAV, και των μετρήσεων πεδίου για όλες τις περιοχές (plots) στο Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου - Στροφυλιάς

Plots (Περιοχές)	Max Height			Min Height			Mean Height			Sum Height		
	SLAM	SLAM&UAV	Πεδίο	SLAM	SLAM&UAV	Πεδίο	SLAM	SLAM&UAV	Πεδίο	SLAM	SLAM&UAV	Πεδίο
P01	15,4	19,86	26	4	8,52	6,5	10,35	17,35	15,06	289,2	361,92	421,8
P02	13,94	19,92	22	6,05	14,7	10	10,40	17,49	16,05	447,6	909,63	690
P03	18,17	21,09	24	11,89	5,71	5	15,31	17,92	13,39	735,05	1577,09	1526,9
P04	15	21,36	22	3	11,17	9	12	18,61	17	683	1246,89	1013
P05	15,34	19,98	20	9,5	13,13	9,2	13,43	16,37	16,72	174,1	245,58	217,3
P06	18,12	19,93	22,2	15,18	17,06	3,8	17,05	18,46	17,26	136,43	110,778	138,1
P07	16,7	17,1	18,6	13,27	13,96	13,7	15,26	15,73	17,29	152,57	125,86	172,9
P08	16,2	19,73	18,6	7,88	8,95	7,5	11,38	16,73	14,39	386,93	702,97	489,3
P09	15,93	20,03	20	5,3	14,26	11	10,28	17,81	15,05	339,13	766,01	496,6
P10	15,41	20,96	20,8	10,77	11,29	14,5	13,55	18,15	18	135,46	453,97	180
P11	20,2	21,6	18	1,6	4,51	4,1	14,4	17,46	12,4	951,7	1309,9	828,4
P12	12,9	17,6	12,6	3,33	11,48	7	9,11	14,43	10,91	929,83	895,14	524
P13	11,64	17,2	11	1,86	14,7	11	9,01	15,49	11	56,78	774,8	462

Στην Εικόνα 8 εμφανίζονται οι μέγιστες τιμές ύψους των αναγνωρισμένων δένδρων ανά περιοχή (plot). Είναι εμφανές ότι τα εξαγόμενα ύψη από τις μετρήσεις SLAM απέχουν αισθητά από τις μετρήσεις των μέγιστων δένδρων στο πεδίο. Συγκεκριμένα, στις περιοχές όπου συναντιέται μεγάλο πλήθος δένδρων όπως στις περιοχές P03 και P04 (βλ. Εικόνα 8) και λόγω της πυκνής δομής των δένδρων, η διαφορά ύψους είναι μεταξύ κάποιων μέτρων. Αντίθετα, στις περιοχές P06 και P07, που βρίσκονται σε θίνες με δάση *Pinus pinea* (οικότοπος 2270) όπου ο αριθμός των δένδρων είναι εμφανώς μικρότερος (20 - 40 δένδρα), οι διαφορές στα ύψη είναι πολύ μικρές (2-3μ.).



Εικόνα 8: Σύγκριση μέγιστου ύψους (μ) αναγνωρισμένων δένδρων με (SLAM) με δεδομένα πεδίου στην περιοχή του Εθνικού Πάρκου Κοτυχίου - Στροφυλιάς

Γενικά συμπεράσματα:

- Οι μετρήσεις SLAM & UAV εμφανίζονται πιο συνεπείς σε σχέση με τη μέθοδο SLAM μόνο, καθώς σε πολλές περιπτώσεις προσεγγίζουν καλύτερα τις επιτόπιες μετρήσεις, όπως οι τιμές Mean Height στις επιφάνειες P02 και P05,
- Οι επιτόπιες μετρήσεις (πεδίο) καταγράφουν συχνά υψηλότερο ύψος δένδρου (Max Height) σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους, υποδεικνύοντας πιθανώς ότι οι τηλεπισκοπικές μέθοδοι αδυνατούν να καταγράψουν τα δέντρα με το μεγαλύτερο ύψος,
- οι ελάχιστες τιμές ύψους από SLAM εμφανίζονται στις επιφάνειες όπως P01 =4m και P04=3m, κάτι που μπορεί να υποδηλώνει προβλήματα στην αναγνώριση ή λάθος καταγραφή μικρότερων δέντρων,
- οι τιμές Sum Height για τη μέθοδο SLAM & UAV είναι γενικά υψηλότερες από αυτές του SLAM, καθώς η ενσωμάτωση του UAV βελτιώνει την ακρίβεια και την κάλυψη. Ενδεικτικά και πιο συγκεκριμένα, στη δειγματοληπτική επιφάνεια P04 οι επιτόπιες μετρήσεις καταγράφουν μεγαλύτερη τιμή Max Height (22 m), ενώ από το SLAM & UAV παρουσιάζει πιο κοντινή προσέγγιση με τιμή 21,36 m. Επίσης, στην επιφάνεια P07 η τιμή Mean Height είναι παρόμοια (15,26μ, 15,73μ) και στις δύο μεθόδους αλλά ελαφρώς χαμηλότερη από την μέτρηση πεδίου (17,29μ).

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι οι εξαγόμενες μετρήσεις από SLAM & UAV χρειάζονται βελτιώσεις για την καλύτερη αναγνώριση μικρών και μεγάλων δέντρων, καθώς και για την αποφυγή υπερεκτίμησης.



Επίσης, σε δύο από τις 13 δειγματοληπτικές επιφάνειες (P01 και P09) πραγματοποιήθηκε σάρωση με τη χρήση στατικού αισθητήρα TLS LiDAR. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7) Πίνακες 8 και 9 παρατηρείται ότι οι επιτόπιες μετρήσεις για το ύψος δέντρων καταγράφουν τη μεγαλύτερη τιμή (20 m), με το TLS (20.33 m) να υπερεκτιμά ελαφρώς και το SLAM να υποεκτιμά (16 m). Το TLS φαίνεται πιο κοντά στις πραγματικές μετρήσεις, ενώ στις ελάχιστες τιμές δεν είναι το ίδιο. Το TLS καταγράφει την χαμηλότερη τιμή (1.5 m), ακολουθούμενο από το SLAM (6 m) και το πεδίο (11 m). Αυτή η απόκλιση υποδηλώνει ότι στο νέφος σημείων από το TLS ενδέχεται να αναγνωρίζει αντικείμενα που δεν είναι δέντρα ή να υπερεκτιμά χαμηλές τιμές.

Πίνακας 7: Συγκεντρωτικά στοιχεία μετρήσεων ύψους (H) από τα αναγνωρισμένα δένδρα SLAM, SLAM & UAV, και των μετρήσεων πεδίου για όλες τις περιοχές (plots) στο Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου - Στροφυλιάς

Plots (Περιοχές)	Max Height			Min Height			Mean Height			Sum Height		
	SLAM	TLS	Πεδίο	SLAM	TLS	Πεδίο	SLAM	TLS	Πεδίο	SLAM	TLS	Πεδίο
P01	15,4	18,06	26,2	4	3	6,5	10,4	11,17	14,8	289,82	223,49	622
P09	16	20,33	20	6	1,5	11	10,3	9,68	15,08	338,59	280,71	573

Εκατοστημόρια ύψους

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8) παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στοιχεία αναφορικά με τα εκατοστημόρια (percentiles) ύψους δένδρων που αναγνωρίστηκαν στα δύο διαφορετικά νέφη σημείων, όπως προέκυψαν από μετρήσεις SLAM και του συνδυασμού SLAM & UAV LiDAR.

Πίνακας 8: Συγκεντρωτικά στοιχεία percentiles ύψους (H) από τα αναγνωρισμένα δένδρα SLAM, SLAM & UAV και των μετρήσεων πεδίου για όλες τις περιοχές (plots) στο Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου - Στροφυλιάς

Plots (Περιοχές)	Height Percentile (p-25)		Height Percentile (p-50)		Height Percentile (p-75)		Height Percentile (p-95)	
	SLAM	SLAM & UAV						
P01	6,8	8,26	7,27	9,5	7,98	11,17	9,14	12,86
P02	5,52	8,17	5,76	8,89	6,08	9,79	6,59	10,87
P03	4,04	4,86	4,76	6,22	5,75	8,23	7,53	11,15
P04	3,73	9,85	3,88	10,49	4,06	11,25	4,34	12,3
P05	6,64	7,96	6,95	8,5	7,34	9,23	7,88	10,3
P06	3,76	5,28	3,89	5,63	4,076	5,95	4,37	6,31
P07	4,54	3,94	4,73	4,25	4,98	4,63	5,35	4,89
P08	5,71	8,19	6,01	8,878	6,41	9,81	7,00	11,13
P09	6,43	7,88	7,06	9,06	7,89	10,65	9,12	12,66
P10	4,82	9,27	4,93	9,76	5,08	10,31	5,31	10,85
P11	8,26	9,96	8,68	10,73	9,26	11,82	10,14	13,28
P12	4,4	6,38	4,68	6,99	5,03	7,7	5,58	8,65
P13	5,26	5,86	5,9	7,14	6,82	9,45	8,3	13,24



Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 9) παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στοιχεία αναφορικά με τη μικρότερη, μεγαλύτερη και μέση τιμή ύψους δένδρων που αναγνωρίστηκαν στα δύο διαφορετικά νέφη σημείων, όπως προέκυψαν από μετρήσεις SLAM και του συνδυασμού SLAM & UAV LiDAR.

Πίνακας 9: Συγκεντρωτικά στοιχεία *min*, *max*, *mean 95% height* από τα αναγνωρισμένα δένδρα SLAM, SLAM & UAV, και των μετρήσεων πεδίου για όλες τις περιοχές (plots) στο Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου - Στροφυλιάς

Plots (Περιοχές)	Min		Max		Mean 95% Height	
	SLAM	SLAM&UAV	SLAM	SLAM&UAV	SLAM	SLAM&UAV
P01	6,63	7,096	19,6	22,22	17,65	21,31
P02	5,26	7,38	18,97	20,64	17,28	20,52
P03	3,18	3,45	19,17	21,38	18,53	20,56
P04	3,55	9,1	18,81	21,49	18,64	21,2
P05	6,25	7,37	18,57	22,27	18,44	22,17
P06	3,62	4,86	19,21	20,01	19,21	19,97
P07	4,35	3,65	16,99	17,36	16,91	17,27
P08	5,39	7,56	18,43	21,23	18,44	21,17
P09	5,73	6,65	19,47	20,47	19,48	20,4
P10	4,7	8,74	18,074	21,24	18,07	21,1
P11	7,8	9,22	20,24	21,72	20,25	21,63
P12	4,08	5,71	16,78	18,14	16,27	17,94

4.1.3 Στηθιαία διάμετρος

Στον παρακάτω εικόνα (Εικόνα 9) εμφανίζεται η μέγιστη αναγνωρισμένη στηθιαία διάμετρος (DBH) σε μεμονωμένο αναγνωρισμένο δένδρων από μετρήσεις SLAM και με βάση τις μετρήσεις πεδίου. Παρατηρείται ότι στις περιοχές P01, P02, P07, P10, P11, P12, P13, P08, P09 είναι πολύ μικρές, μόλις μερικά cm. Με την εξαγωγή τιμών από το νέφος σημείων SLAM, παρατηρείται ότι καταγράφονται ελαφρώς μεγαλύτερες στηθιαίες διαμέτρους σε σύγκριση με τις μετρήσεις πεδίου, με την εξαίρεση της περιοχής P01 όπου η διαφορά είναι εξαιρετικά μεγάλη λόγω ύπαρξης outliers.

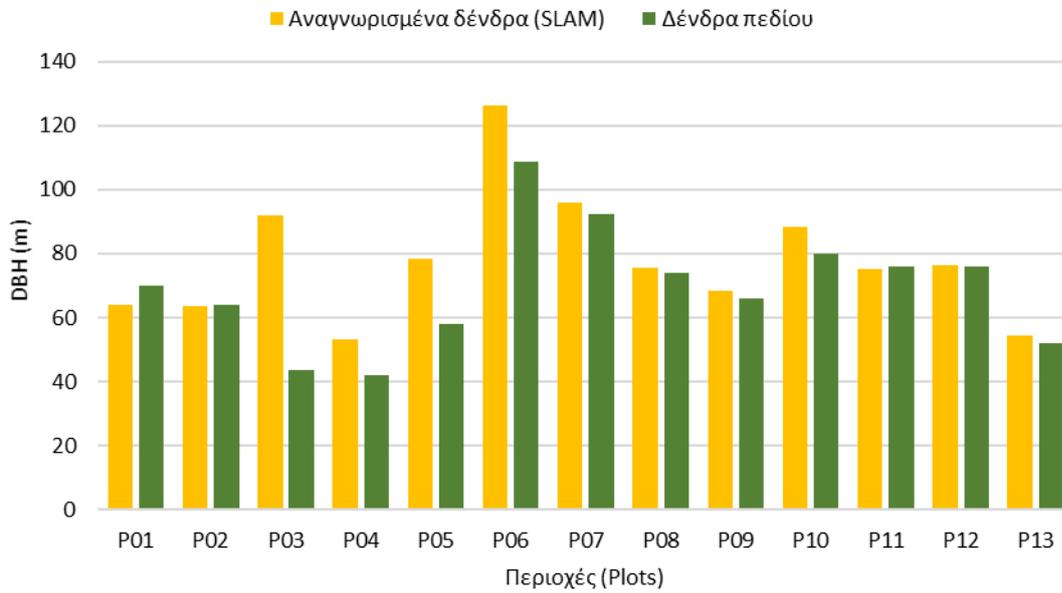


Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 10) παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στοιχεία της εκτιμώμενης στηθιαίας διαμέτρου (DBH) για δένδρα που αναγνωρίστηκαν στις δειγματοληπτικές επιφάνειες στο δάσος Στροφυλιάς μέσω των νεφών σημείων που προέκυψαν από μετρήσεις SLAM και του συνδυασμού SLAM και UAV LiDAR, στη συνέχεια συγκρίθηκαν με τις μετρήσεις πεδίου.

Στην Εικόνα 9 εμφανίζεται η μέγιστη αναγνωρισμένη στηθιαία διάμετρος (DBH) σε μεμονωμένο αναγνωρισμένο δένδρων από μετρήσεις SLAM και με βάση τις μετρήσεις πεδίου. Παρατηρείται ότι στις περιοχές P01, P02, P07, P10, P11, P12, P13, P08, P09 είναι πολύ μικρές, μόλις μερικά cm. Με την εξαγωγή τιμών από το νέφος σημείων SLAM, παρατηρείται ότι καταγράφονται ελαφρώς μεγαλύτερες στηθιαίες διαμέτρους σε σύγκριση με τις μετρήσεις πεδίου, με την εξαίρεση της περιοχής P01 όπου η διαφορά είναι εξαιρετικά μεγάλη λόγω ύπαρξης outliers.

Πίνακας 10: Συγκεντρωτικά στοιχεία μετρήσεων στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα αναγνωρισμένα δένδρα SLAM, SLAM & UAV, και των μετρήσεων πεδίου για όλες τις περιοχές (plots) στο Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου - Στροφυλιάς

Plots (Περιοχές)	Max DBH			Min DBH			Mean DBH			Sum DBH		
	SLAM	SLAM&UAV	Πεδίο	SLAM	SLAM&UAV	Πεδίο	SLAM	SLAM&UAV	Πεδίο	SLAM	SLAM&UAV	Πεδίο
P01	96,8	72,1	64	3,6	7,9	1,2	36,14	33,82	24,68	903,6	164,68	691,2
P02	63,4	71,46	64	8,6	12,89	8	27,51	27,7	26,35	1183	1191,14	1133
P03	86,49	56,8	43,5	8,6	6,8	6	30,17	29,13	18,93	1448,51	1573,1	2158
P04	57	72,72	42	4	8,9	12	26	28,7	26	1516	1779,88	1542
P05	78,4	76,06	58	26	15,6	18	55,2	49,41	46,08	717,6	642,39	599
P06	101	97,72	108,92	16,2	75,19	16,88	76,25	82,22	76,31	610	493,34	610,51
P07	222,6	87,82	92,36	50,8	78,19	63,69	93,5	83,79	78,22	935	335,18	782,17
P08	122	78,99	74	5	8,2	8	28,87	27,68	28,82	981,6	941,34	980
P09	68,2	68,84	66	9	20,2	8	35,41	35,2	34	1168,6	1517,03	1122
P10	88,4	86,38	80	16,2	20,11	18	63,28	48,24	50	632,8	1206,11	500
P11	105,6	80,83	76	5,4	13,59	12	27,34	27,41	25,52	1832,4	1864,35	1710
P12	98	28,5	30	5,4	7,13	6	21,26	18,92	17,79	2041,4	1173,61	854
P13	54,2	67,79	52	27,2	23,19	10	37,27	40,34	35,75	620,2	2016,99	881,8



Εικόνα 9: Σύγκριση στηθιαίας διαμέτρου (DBH) (m) αναγνωρισμένων δένδρων (SLAM) με δεδομένα πεδίου στο δάσος Στροφυλιάς



Γενικά συμπεράσματα:

- το συνδυασμένο νέφος SLAM & UAV LiDAR φαίνεται να παρέχει γενικά πιο ακριβείς μετρήσεις σε σύγκριση με τις μετρήσεις SLAM μόνο,
- στα περισσότερα plots, οι τεχνολογίες SLAM & UAV καταγράφουν τη μεγαλύτερη μέγιστη DBH (π.χ. P07, P06, P10), υποδεικνύοντας ίσως καλύτερη ικανότητα εντοπισμού δέντρων με μεγαλύτερες διαμέτρους,
- η μέση τιμή DBH για SLAM και SLAM & UAV είναι συχνά παρόμοια (π.χ., P02, P05, P09). Αυτό δείχνει τη συνέπεια της μεθόδου SLAM & UAV στην εκτίμηση μέσης DBH,
- η συνολική τιμή DBH (sum DBH) είναι συνήθως υψηλότερη στις επιτόπιες μετρήσεις (π.χ., P03, P11), πιθανόν επειδή καταγράφονται περισσότερα δέντρα στο πεδίο, συμπεριλαμβανομένων μικρότερων.
- Αντίθετα, στα νέφη σημείων που προέκυψαν από SLAM και SLAM & UAV LiDAR, η συνολική τιμή DBH είναι αισθητά μικρότερη σε μεγάλο σύνολο δειγματοληπτικών επιφανειών που επηρεάζεται από την αδυναμία μετέπειτα αναγνώρισης μικρών ή κρυμμένων δέντρων.

Πιο ειδικά, στη δειγματοληπτική επιφάνεια P07 παρατηρείται ότι η μέγιστη τιμή DBH είναι 222.6 cm, η οποία είναι εξαιρετικά υψηλή και ασύμβατη με τις μετρήσεις πεδίου, όπου ενδεχομένως πρόκειται για σφάλμα μέτρησης ή λανθασμένη καταγραφή. Επίσης, στις δειγματοληπτικές περιοχές P08 και P09, η μέση τιμή DBH είναι σχεδόν παρόμοια για τις τρεις μεθόδους, κάτι που υποδεικνύει συνέπεια μεταξύ των εξαγόμενων μετρήσεων από τα δύο σετ δεδομένων και των επιτόπιων μετρήσεων. Συμπερασματικά, προκύπτει ότι η χρήση του SLAM & UAV φαίνεται πιο αξιόπιστη από την αποκλειστική χρήση SLAM, αλλά ακόμα παρουσιάζει αποκλίσεις από τις επιτόπιες μετρήσεις κυρίως σε επιφάνειες με έντονο υπόροφο και πυκνή βλάστηση.

Επίσης, σε δύο από τις 13 δειγματοληπτικές επιφάνειες (P01 και P09) πραγματοποιήθηκε σάρωση **με τη χρήση στατικού αισθητήρα TLS LiDAR**. Στον Πίνακα 11 παρατηρείται ότι στην επιφάνεια P01 η μέση τιμή DBH με TLS παρουσιάζει σημαντικά υψηλότερη μέση τιμή (58.23 cm) συγκριτικά με το πεδίο (24.71 cm) και το SLAM (39.3 cm). Αυτό δείχνει πιθανή υπερεκτίμηση της διαμέτρου από το TLS. Το ίδιο ισχύει και στην επιφάνεια P09.

Πίνακας 11: Συγκεντρωτικά στοιχεία μετρήσεων **στηθιαίας διαμέτρου (DBH)** από τα αναγνωρισμένα δένδρα SLAM, TLS και των μετρήσεων πεδίου για όλες τις περιοχές (plots) στο δάσος Στροφυλιάς

Plots (Περιοχές)	Max DBH			Min DBH			Mean DBH			Sum DBH		
	SLAM	TLS	Πεδίο	SLAM	TLS	Πεδίο	SLAM	TLS	Πεδίο	SLAM	TLS	Πεδίο
P01	119,2	110	70	3,6	18	4	39,3	58,23	24,71	1022,8	2029	1038
P09	68,2	92,4	66	9	18	8	35,4	47,2	34,84	1168,6	1463,2	1324



4.2 Συνδυασμός τεχνολογίας LiDAR SLAM και UAV / για ανάλυση νέφους σημείων σε επίπεδο περιοχής

4.2.1 Δομή κόμης και κατακόρυφη δομή

Με την ανάλυση νέφους σε επίπεδο περιοχής (area-based) αποτυπώνονται χαρακτηριστικά της κατακόρυφης δομής όπως ύψος κόμης (canopy height), ασυμμετρία (skewness), κύρτωση (kurtosis) και κάθετη πολυπλοκότητα (vertical complexity index) καθώς και της δομής της κόμης (canopy density). Τα αποτελέσματα είναι χρήσιμη πληροφορία βάσης στη διαχείριση του οικοσυστήματος του δάσους Στροφυλιάς καθώς διαφορετική δομή μπορεί να συσχετισθεί με ανάγκες για ενδιαίτηματα διαφορετικών ειδών πανίδας.

Τα τρισδιάστατα νέφη σημείων, καταγράφηκαν για όλες τις δειγματοληπτικές επιφάνειες από τον επίγειο αισθητήρα SLAM, καθώς και από τον συνδυασμό δεδομένων SLAM και UAV LiDAR. Ως παράδειγμα παρατίθενται παρακάτω εικόνες (Εικόνα 10, 11, 12) για τρεις δειγματοληπτικές επιφάνειες P05, P08 και P13 αντίστοιχα, όπου αποτυπώνεται η παρουσία διάκενων στις δύο πρώτες και η κλειστή δομή της τρίτης με υψηλή κάθετη πολυπλοκότητα και πυκνότητα κόμης.

4.3 Συνδυασμός τεχνολογίας LiDAR SLAM και UAV camera / ITD ανάλυση νέφους

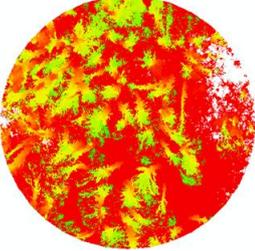
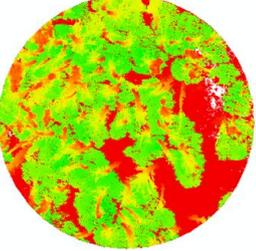
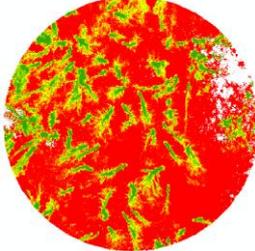
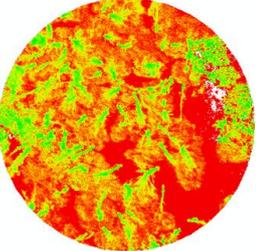
Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η προσπάθεια συνδυασμού του νέφους σημείων που προέρχεται από τεχνολογία SLAM με το φωτογραμμετρικό νέφος σημείων από την οπτική κάμερα (RGB) του UAV μέσου, ώστε να προσφέρει μία ολοκληρωμένη και υψηλής ακρίβειας αποτύπωση των παραμέτρων ποικιλότητας στο δάσος Στροφυλιάς.

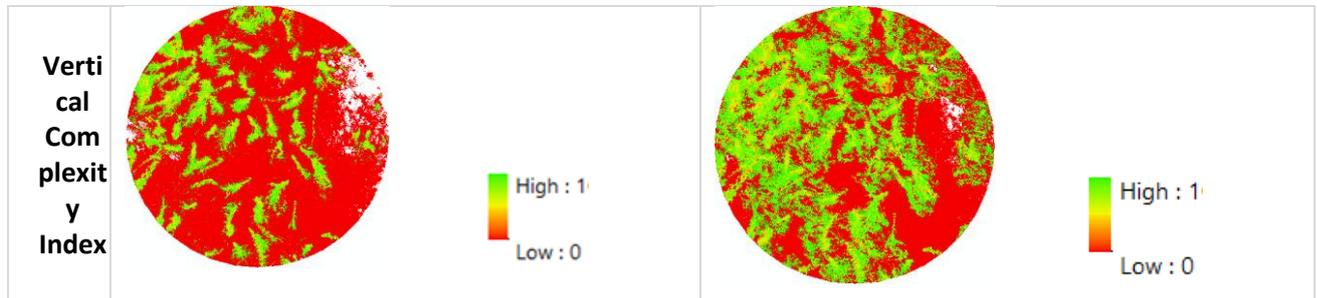
Η επίγεια χαρτογράφηση μέσω SLAM παρέχει λεπτομερή δεδομένα για τη δομή και τη γεωμετρία των μεμονωμένων δέντρων σε χαμηλό ύψος, ενώ το UAV φωτογραμμετρικό νέφος σημείων καλύπτει μεγαλύτερες περιοχές και αποτυπώνει τις ανώτερες ζώνες της βλάστησης με υψηλή ανάλυση.

Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν παρείχαν ολοκληρωμένη και συνεκτική αποτύπωση της βλάστησης, καθώς παρατηρήθηκαν κενά (τρύπες) στη χωρική κάλυψη και ασυνέχειες στη δομή των δεδομένων. Αντίθετα, η χρήση δεδομένων UAV-LiDAR αποδείχθηκε πιο αποδοτική, καθώς προσέφερε υψηλότερη χωρική ακρίβεια και πληρότητα, ειδικά στις ανώτερες ζώνες της βλάστησης όπου το επίγειο SLAM δεν μπορούσε να αποδώσει επαρκώς λόγω της πυκνής φυλλωσιάς.

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα του συνδυασμού (fusion) των δεδομένων από SLAM και UAV φωτογραμμετρίας για τη δειγματοληπτική επιφάνεια P02.

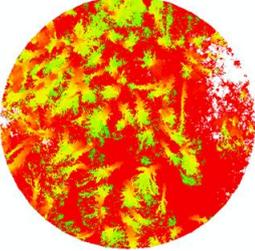
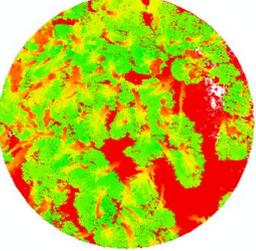
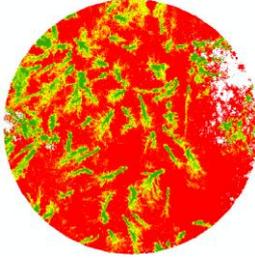
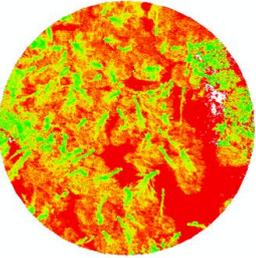
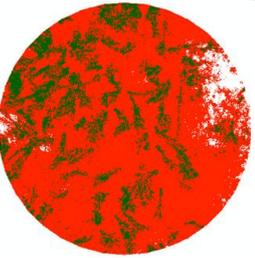
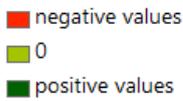
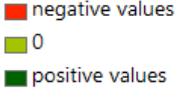
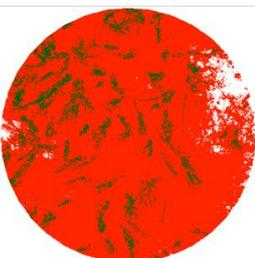
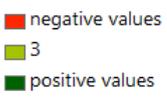
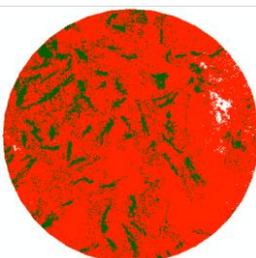
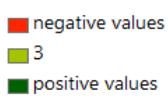
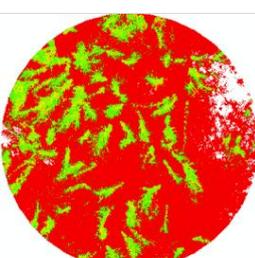
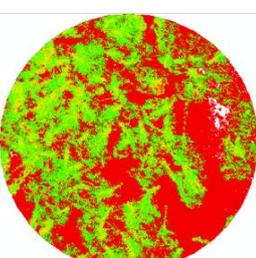


	<i>SLAM</i>	<i>SLAM & UAV LiDAR</i>
Canopy height (m)	 <p>High : 18.64 Low : 0</p>	 <p>High : 21.2 Low : 0</p>
Canopy Density (%)	 <p>High : 100 Low : 0</p>	 <p>High : 100 Low : 0</p>
Skewness	 <p>negative values 0 positive values</p>	 <p>negative values 0 positive values</p>
Kurtosis	 <p>negative values 3 positive values</p>	 <p>negative values 3 positive values</p>



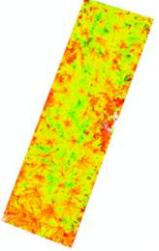
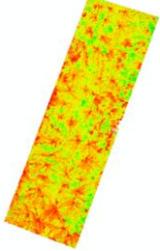
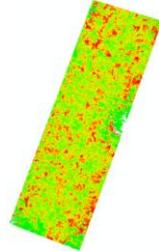
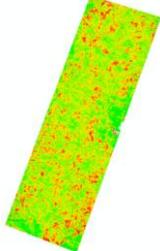
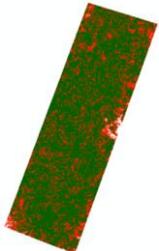
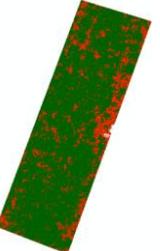
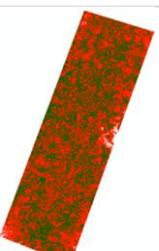
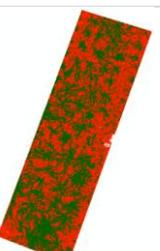
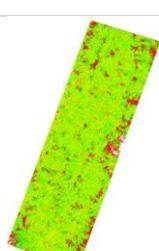
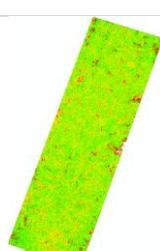
Εικόνα 10: Υπολογισμός *Canopy height* (m), *Canopy Density* (%), *Skewness*, *Kurtosis*, *Vertical Complexity Index* (VCI) από δεδομένα SLAM (αριστερή στήλη) και συνδυασμό δεδομένων SLAM και UAV LiDAR (δεξιά στήλη) στη δειγματοληπτική επιφάνεια P05



	<i>SLAM</i>	<i>SLAM & UAV LiDAR</i>
Canopy height (m)	 	 
Canopy Density (%)	 	 
Skewness	 	 
Kurtosis	 	 
Vertical Complexity Index	 	 

Εικόνα 11: Υπολογισμός Canopy height (m), Canopy Density (%), Skewness, Kurtosis, Vertical Complexity Index (VCI) από δεδομένα SLAM (αριστερή στήλη) και συνδυασμό δεδομένων SLAM και UAV LiDAR (δεξιά στήλη) στη δειγματοληπτική επιφάνεια P08



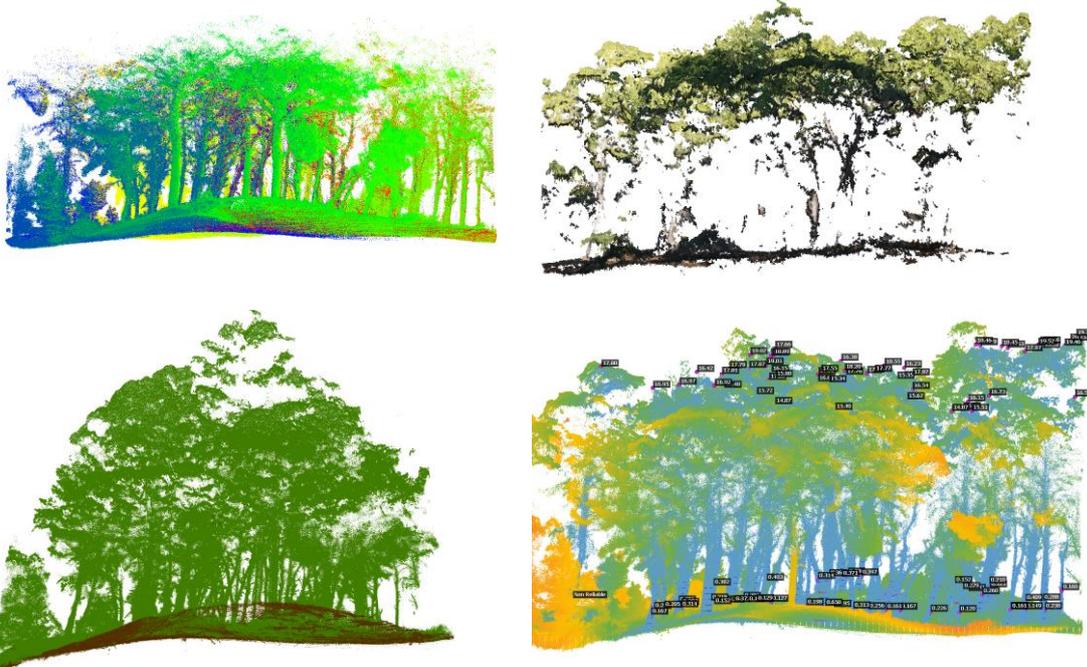
	<i>SLAM</i>	<i>SLAM & UAV LiDAR</i>
Canopy height (m)	 High : 15.02 Low : 0	 High : 17.08 Low : 0
Canopy Density (%)	 High : 100 Low : 0	 High : 100 Low : 0
Skewness	 negative values 0 positive values	 negative values 0 positive values
Kurtosis	 negative values 3 positive values	 negative values 3 positive values
Vertical Complexity Index	 High : 1 Low : 0	 High : 1 Low : 0

Εικόνα 12: Υπολογισμός Canopy height (m), Canopy Density (%), Skewness, Kurtosis, Vertical Complexity Index (VCI) από δεδομένα SLAM (αριστερή στήλη) και συνδυασμό δεδομένων SLAM και UAV LiDAR (δεξιά στήλη) στη δειγματοληπτική επιφάνεια P13



4.3.1 Στηθιαία διάμετρος

Στην Εικόνα 13 παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε συνδυασμό με το νέφος σημείων από τη φωτογραμμετρική επεξεργασία της UAV οπτικής κάμερας.

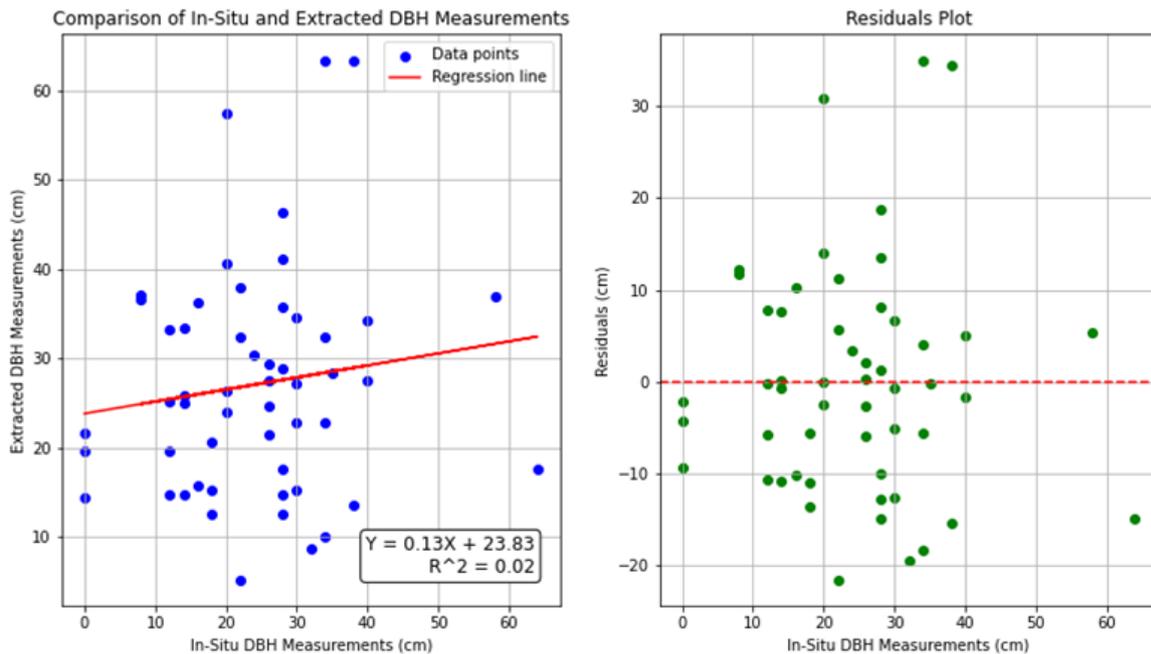


Εικόνα 13: Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων με τη χρήση αισθητήρα SLAM (πάνω αριστερή) και φωτογραμμετρικού νέφους UAV οπτικό (πάνω δεξιά). Στο κάτω αριστερό μέρος της εικόνας εμφανίζεται η ένωση (fusion) των δύο νεφών σημείων. Στο κάτω δεξιά μέρος της εικόνας παρουσιάζεται η θέση και το εκτιμώμενο ύψος των αναγνωρισμένων δένδρων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων της δειγματοληπτικής επιφάνειας #P02

Η Εικόνα 14 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε με κλασικές μεθόδους στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest (βλέπε αναφορά B4.3). Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.02, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 2% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η χαμηλή τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης δεν μπορεί να προβλέψει ικανοποιητικά τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH. Αλλά και η διασπορά των σημείων δεδομένων γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης υποδηλώνει μέτρια συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και αυτών με καινοτόμες μεθόδους μέσω της κατάτμησης του νέφους σημείων. Όπως παρατηρείται στο αριστερό γράφημα υπάρχουν ορισμένα σημεία δεδομένων (δένδρα), τα οποία αποκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή παλινδρόμησης, γεγονός που υποδηλώνει πιθανές ακραίες τιμές η πρόσθετη μεταβλητότητα.



Όσον αφορά το γράφημα των υπολοίπων (residuals), παρατηρείται ότι κατανέμονται τόσο πάνω όσο και κάτω από την κόκκινη γραμμή, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει τόσο θετικά όσο και αρνητικά σφάλματα. Η διασπορά των υπολοίπων εμφανίζεται σχετικά ανομοιόμορφη σε όλο το εύρος των επιτόπιων μετρήσεων, αλλά υπάρχουν αξιοσημείωτες συστάδες υπολοίπων, που υποδεικνύουν περιοχές όπου το μοντέλο υποπροβλέπει σταθερά. Δεν παρουσιάζεται όμως κάποιο πρότυπο που να υποδεικνύει τη μη καταλληλότητα της γραμμικής συσχέτισης που εξετάστηκε.

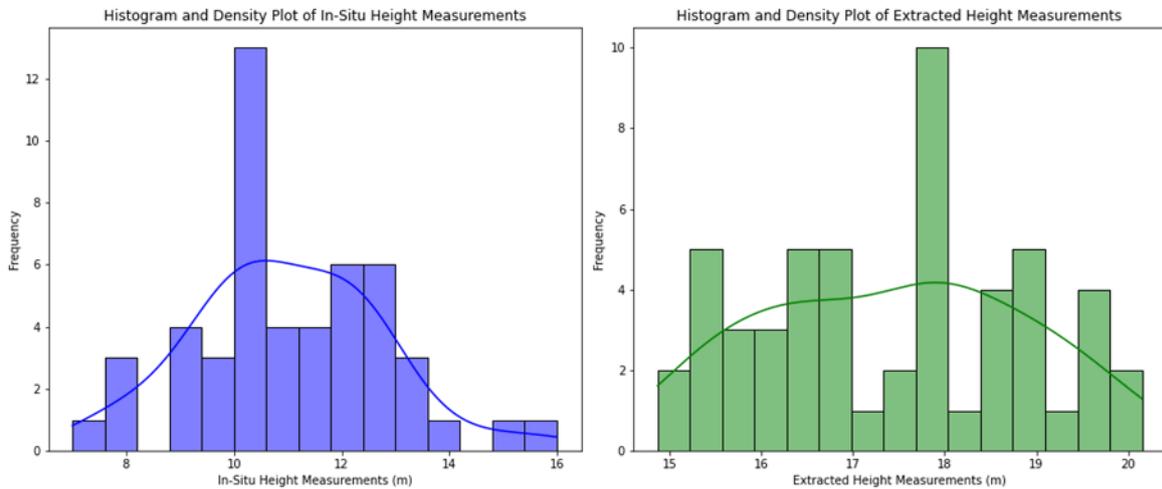


Εικόνα 14: Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για την δειγματοληπτική περιοχή P02. Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.

4.3.2 Ύψος δέντρων

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 15) παρουσιάζεται το ιστόγραμμα κατανομής του ύψους των δένδρων πεδίου σε συνδυασμό με ένα διάγραμμα πυκνότητας (αριστερή εικόνα), ενώ εμφανίζονται οι αντίστοιχες πληροφορίες για τις εξαγόμενες τιμές ύψους δένδρων (δεξιά εικόνα). Οι επίγειες μετρήσεις ύψους δένδρων παρουσιάζουν ως κορυφές γύρω στα 10 και 12 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή μπλε καμπύλη) αναδεικνύει αυτή την κορυφή, υποδηλώνοντας ότι υπάρχουν μία κοινή περιοχή ύψους στα δεδομένα. Η φύση του διαγράμματος πυκνότητας υποδηλώνει ότι υπάρχει μία διακριτή ομάδα ή μοτίβα στις επιτόπιες μετρήσεις.

Οι εξαγόμενες μετρήσεις ύψους παρουσιάζουν κορυφές γύρω στα 16 με 18 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή πράσινη καμπύλη) δείχνει αυτές τις πολλαπλές κορυφές, υποδηλώνοντας υπάρχει υπερεκτίμηση στα υψόμετρα.



Εικόνα 15: Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων.

4.4 Συμπεράσματα - προτάσεις

Από συγκριτική μελέτη μεταξύ των καινοτόμων μεθόδων που εφαρμόστηκαν προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα όσον αφορά στην προσέγγιση της αναγνώρισης μεμονωμένων δένδρων (Individual Tree Detection):

- Η καταγραφή του ύψους σε ψηλά δένδρα (πχ. >20μ) και η ανίχνευση μικρότερων κορμών (<10cm) όπου από τα δεδομένα SLAM δεν ήταν εφικτό, πραγματοποιήθηκε με σημαντικά βελτιωμένη ακρίβεια από το συνδυασμό του νέφους σημείων από SLAM και UAV LiDAR.
- Το ύψος των δέντρων στις μετρήσεις SLAM είναι συστηματικά χαμηλότερο από τις επιτόπιες τιμές, γεγονός που υποδηλώνει δυσκολίες στον εντοπισμό των υψηλότερων κορυφών λόγω πυκνής φυτοκάλυψης.
- Η αναγνώριση μεμονωμένων δένδρων από τις μετρήσεις του TLS είναι ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία, καθώς το μεγάλο και πυκνό πλήθος σημείων και η παρουσία έντονου υπορόφου στις εν λόγω δειγματοληπτικές επιφάνειες, δυσκόλεψαν την ορθή αναγνώριση της θέσης και της στηθιαίας διαμέτρου (DBH) του εκάστοτε κορμού, με απώτερο παράγοντα την εισαγωγή πολλών σφαλμάτων (outliers) ως σημεία δένδρου.
- Η αναγνώριση των μεμονωμένων δένδρων μόνο από δεδομένα SLAM δεν είναι καθόλου ικανοποιητική καθώς υποεκτιμά τον αριθμό των δέντρων και τις διαστάσεις τους, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλή φυτοκάλυψη ή πολύπλοκη τοπογραφία.
- Ο αριθμός αναγνώρισης μεμονωμένων δένδρων από το συνδυασμένο νέφος σημείων SLAM και UAV LiDAR πλησιάζει πολύ κοντά στις μετρήσεις πεδίου σε αντίθεση με τις SLAM μετρήσεις μόνο.
- Ο αριθμός αναγνώρισης μεμονωμένων δένδρων από τις μετρήσεις TLS είναι σχεδόν παρόμοιος με τις μετρήσεις SLAM, αλλά αποκλίνει από την πραγματικότητα του πεδίου.
- Η στηθιαία διάμετρος (DBH) υπερεκτιμάτε από τις μετρήσεις του TLS σε σύγκριση με του SLAM για τις επιλεγμένες επιφάνειες.
- Αποκλίσεις μεταξύ SLAM & UAV και επιτόπιων μετρήσεων, κυρίως στις μέγιστες τιμές DBH και ύψους.



- Η ακρίβεια εντοπισμού (Overall Accuracy - OA) κυμαίνεται από 0.46 έως 1.00, με τις χαμηλότερες τιμές να εμφανίζονται σε περιοχές με μεγάλη πολυπλοκότητα δασικής δομής. Σε κάποιες περιπτώσεις υπερβαίνει την τιμή 1, όπου αυτό υποδηλώνει ότι υπάρχει υπερεκτίμηση στον αριθμό των αναγνωρισμένων δένδρων έναντι των μετρήσεων πεδίου.
- Ο συνδυασμός **SLAM & UAV** βελτιώνει την ακρίβεια σε σύγκριση με το **SLAM μόνο**, αλλά εξακολουθεί να υποεκτιμά ορισμένα χαρακτηριστικά των μεγάλων δέντρων.
- Οι επιτόπιες μετρήσεις (ground truth) παραμένουν σημαντικό σημείο αναφοράς για την επικύρωση των αποτελεσμάτων όλων των μεθόδων, ωστόσο αποτελούν χρονοβόρα διαδικασία με υψηλό κόστος υλοποίησης, αλλά με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας ως προς την ορθή αποτύπωση της πραγματικότητας στο πεδίο.

Επίσης, από τη μεθόδου ανάλυσης νεφών σε επίπεδο περιοχής (area-based) προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Τα δεδομένα πυκνότητα κόμης και ύψος κόμης έδειξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεθόδων. Το **SLAM** παρουσίασε κενά στην κάλυψη της βλάστησης, ειδικά σε περιοχές με ανώμαλο ανάγλυφο και υψηλό υπόροφο, ενώ από το συνδυασμό των νεφών **SLAM & UAV** καταγράφηκε πιο ομοιόμορφη και πλήρη χωρική κατανομή της βλάστησης, αποκαλύπτοντας περιοχές που το SLAM μόνο του αδυνατούσε να καταγράψει.
- Η χρήση των εκατοστημορίων ύψους (p-25, p-50, p-75, p-95) επέτρεψε μια πιο λεπτομερή ανάλυση της κατανομής της βλάστησης, όπου το p-25 (κατώτατο 25% των υψών) παρουσιάζει τον υπόροφο, ο οποίος ήταν πυκνός και καλά καταγεγραμμένος από όλες τις μεθόδους, το p-50 (διάμεσο ύψος των δέντρων) έδειξε ότι το SLAM καταγράφει με σχετική ακρίβεια τη μεσαία βλάστηση, αλλά υποεκτιμά τη συνολική δομή του δάσους, το p-75 και p-95 (ανώτερα επίπεδα ύψους) ανέδειξαν μεγάλες διαφορές μεταξύ SLAM και SLAM & UAV, με το UAV να καταγράφει καλύτερα τις κορυφές των δέντρων και τα percentiles (p-95) παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές ύψους στο SLAM & UAV, δείχνοντας ότι το UAV μπορεί να εντοπίσει υψηλότερα σημεία της βλάστησης, κάτι που το SLAM μόνο του δυσκολεύεται να κάνει.
- Το αποτελέσματα από **SLAM** παρουσιάζουν χαμηλότερη τιμή skewness, υποδηλώνοντας μια πιο "συμπιεσμένη" κατανομή υψών, πιθανώς λόγω αδυναμίας καταγραφής των ψηλότερων στοιχείων της βλάστησης.
- Η υψηλή τιμή κύρτωση στα αποτελέσματα από **SLAM & UAV** δείχνει ότι η μέθοδος καταγράφει περισσότερες κορυφές δέντρων από το SLAM, όπου η καμπυλότητα (kurtosis) υποδεικνύει την ύπαρξη ακραίων τιμών ύψους.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω συμπεράσματα, διατυπώνονται οι ακόλουθες προτάσεις:

- Η ενσωμάτωση πολλαπλών πηγών δεδομένων (πχ. SLAM, UAV-LiDAR) σε δασικά οικοσυστήματα θεωρείται ως μια ικανή και πρακτική προσέγγιση για την εξαγωγή παραμέτρων και της τρισδιάστατης δασικής δομής του δάσους, αλλά με υπάρχον βαθμό απόκλισης από τις μετρήσεις πεδίο (ground truth).



-
- Η χρήση TLS θα πρέπει να περιορίζεται σε επιλεγμένες περιοχές όπου απαιτείται υψηλή ακρίβεια, βέβαια όχι με έντονο ανάγλυφο και έντονο υπόροφο, καθώς το γεγονός ότι είναι στατική μέθοδος την κάνει πολύ δύσκολη στο να σαρώσει σημεία του κορμού των δένδρων από όλες τις πλευρές.
 - Περαιτέρω βελτίωση των αλγορίθμων ανίχνευσης και φιλτραρίσματος δεδομένων, ώστε να καταγράφονται με μεγαλύτερη ακρίβεια οι πραγματικές διαμέτρους και ύψη, και με ενσωμάτωση τεχνικών μηχανικής μάθησης.
 - Η ανάπτυξη αυτοματοποιημένων διαδικασιών για την ανάλυση των δεδομένων LiDAR μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κόστους και του χρόνου ανάλυσης, αλλά με βασικό κριτήριο τη συνεχή αποσφαλμάτωση των δεδομένων.
 - **Η συνδυαστική χρήση τηλεπισκοπικών τεχνικών από επίγειους και εναέριους, κινητούς και σταθερούς αισθητήρες μπορεί να οδηγήσει στη βέλτιστη χαρτογράφηση των δασικών οικοσυστημάτων και εκτίμηση παραμέτρων, μειώνοντας τις αποκλίσεις και βελτιώνοντας την απόδοση των μεθόδων, όπου ο συνδυασμός SLAM & UAV αποτελεί την πιο αποτελεσματική τεχνολογία.**



5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ & ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

5.1 Φασματικά δεδομένα Sentinel-2, PlanetScope, UAV κάμερα

Τα σύνολα πολυφασματικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογράφηση των παραμέτρων και των δεικτών βιοποικιλότητας βασίστηκαν σε εικόνες υψηλής ανάλυσης Sentinel-2 MSI και πολύ υψηλής ανάλυσης PlanetScope (βλ. αναφορά B4.3 για περαιτέρω πληροφορίες) και εικόνων από UAV κάμερα. Συγκεκριμένα:

- Δεδομένα ανάκλασης επιφάνειας (Surface Reflectance -SR) επιπέδου 2A του Sentinel -2- MSI, με ημερομηνία λήψης Αύγουστο, 2023, οι δίαυλοι Μπλε (Blue- B2), Πράσινο (Green- B3), Κόκκινο (Red- B4), Κόκκινη ακμή βλάστησης (Vegetation Red Edge- B5,B6,B7,B8A), Εγγύς υπέρυθρο (NIR- B8) και τα Υπέρυθρα μικρά μήκη κύματος (SWIR- B11,B12).
- Δεδομένα ανάκλασης επιφάνειας (Surface Reflectance- SR) PlanetScope Analytic Ortho Scene (επιπέδου 3B), με ημερομηνία λήψης τον Αύγουστο, 2023. Οι εικόνες καλύπτουν τέσσερις φασματικές ζώνες (μπλε, πράσινη, κόκκινη και εγγύς υπέρυθρη) με χωρική ανάλυση στα 3 m.
- Φασματικοί δείκτες (βλ. B4.3) βλάστησης και τροποποιήσεις τους καθώς απλοί λόγοι φασματικών καναλιών (ratios), λαμβάνοντας υπόψη προηγούμενα ερευνητικά ευρήματα σχετικά με τη σημασία των ζωνών στενού κοντινού υπέρυθρου (NIRn) και κόκκινης ακμής (RE) και του Υπέρυθρο μικρού κύματος (SWIR) για τη βελτίωση της ικανότητας πρόβλεψης και εκτίμησης των τυποποιημένων φασματικών δεικτών για την εκτίμηση δασικών παραμέτρων (Chrysafis et al., 2019, 2017).
- Οκτώ μέτρα υφής (texture measures) GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix -GLCMs) για κάθε κανάλι των εικόνων Sentinel-2 και Planet scope, όπως έχουν ήδη αξιολογηθεί στη βιβλιογραφία για την εκτίμηση δασικών χαρακτηριστικών (Castillo-Santiago et al., 2010; Dube and Mutanga, 2015; Kelsey and Neff, 2014). Ο υπολογισμός των μέτρων έγινε σε περιβάλλον προγραμματισμού R και την χρήση του πακέτου «glcm» (Zvoleff, 2016) με τα εξής κριτήρια: μέγεθος παραθύρου 3x3 pixel, και κατευθύνσεις (θ) 45° (Ενότητα 2.2.2 D B4.3).

Οι φασματικές πληροφορίες και οι πληροφορίες υφής εξήχθησαν για κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια και εφαρμόστηκε ανάλυση απλή παλινδρόμησης για την συσχέτιση τους με τις μετρήσεις πεδίου. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων απλής παλινδρόμησης βασίστηκε στον συντελεστή συσχέτισης Pearson (r) και την τιμή σημαντικότητας (p -value). Με βάση αυτά τα κριτήρια, επιλέχθηκαν οι 10 βέλτιστες μεταβλητές, δηλαδή αυτές που παρουσίασαν τη μεγαλύτερη συσχέτιση με την εξαρτημένη μεταβλητή. Αυτές οι μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την ανάπτυξη μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης με στόχο την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας. Οι εκτιμήσεις από τα μοντέλα παλινδρόμησης αναπαρίστανται χωρικά δημιουργώντας θεματικούς χάρτες για την κατανομή των 10 μεταβλητών δομής βλάστησης, βιομάζα, αφθονία και ποικιλότητα δασικών ειδών, και μικροενδιατήματα.

5.2 Ανάπτυξη μοντέλων και παραγωγή χαρτών

Η ανάπτυξη μοντέλων με τη χρήση φασματικών δεδομένων και δεδομένων πεδίου αφορά στις παραμέτρους α) δομή βλάστησης: πυκνότητα (αριθμός δέντρων ανά εκτάρια και ξυλώδης όγκος), β) βιομάζα, γ) αφθονία ειδών και δ) παρουσία μικροενδιαιτημάτων που σχετίζονται με δέντρα. Ακολουθούν βασικά στοιχεία της μεθοδολογίας και η χαρτογραφική αποτύπωση των δεικτών.

Αναλυτικά αποτελέσματα για τα στάδια ανάπτυξης μοντέλων από φασματικά δεδομένα Sentinel, PlanetScope, και UAV κάμερα παρατίθενται στο Παράρτημα II. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 12) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά ο συντελεστής προσδιορισμού (Coefficient of determination - R^2) και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Root Mean Square Error - RMSE). Σε γενικές γραμμές, υψηλές τιμές R^2 ή χαμηλές τιμές RMSE **υποδηλώνουν συχνά καλή προσαρμογή** μεταξύ του μοντέλου που αναπτύχθηκε και των δεδομένων του δείγματος.

Πίνακας 12 Αποτελέσματα των μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης με τη χρήση εικόνων Sentinel-2, PlanetScope, UAV κάμερα για τις 10 βέλτιστες μεταβλητές

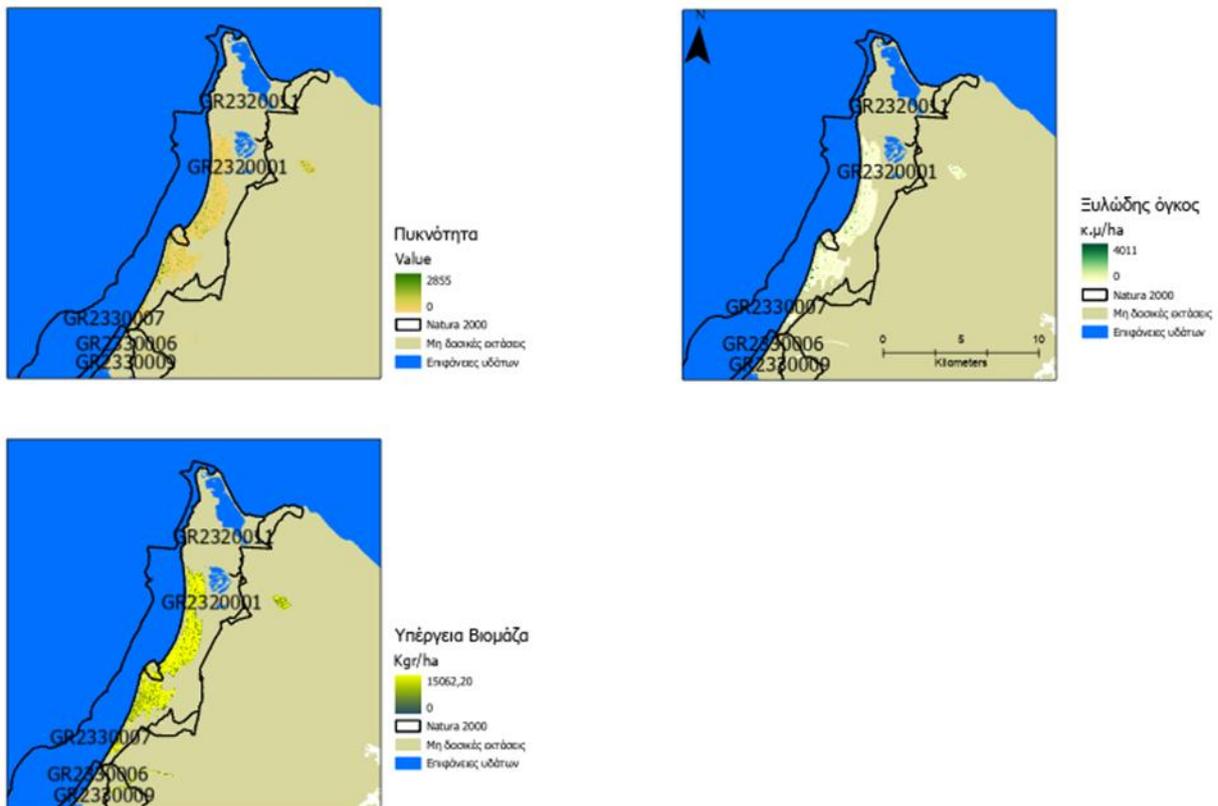
Εικόνες		Sentinel		PlanetScope		UAV κάμερα	
Παράμετρος/μεταβλητές		R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
ΔΟΜΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	Πυκνότητα (N)	<u>0,715</u>	<u>165</u>	0,674	177	0,31	189
	Ξυλώδης όγκος (V)	<u>0,583</u>	<u>113,23</u>	0,446	130,443	0,306	152,92
	Βιομάζα (B)	0,466	4727,4	<u>0,744</u>	<u>3273,816</u>	0,608	4048,74
ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ	Species richness (S)	0,496	0,328	<u>0,804</u>	<u>0,204</u>	0,137	0,402
	Shannon diversity Index (H)	0,662	0,119	<u>0,850</u>	<u>0,079</u>	0,249	0,17
	Simpson's dominance (D2)	0,667	0,198	<u>0,859</u>	<u>0,129</u>	0,187	0,31
ΜΙΚΡΟΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΑ	Σύνολο μικροενδιαιτημάτων (MICRO)	<u>0,51</u>	<u>183</u>	0,147	242	0,508	183
	Κοιλότητες (CV)	<u>0,582</u>	<u>22</u>	0,160	31	0,395	25
	Τραυματισμοί και πληγές (IN)	0,297	20	0,348	19	<u>0,412</u>	<u>18</u>
	Φλοιός (BA)	0,350	50	<u>0,517</u>	<u>43</u>	0,417	47



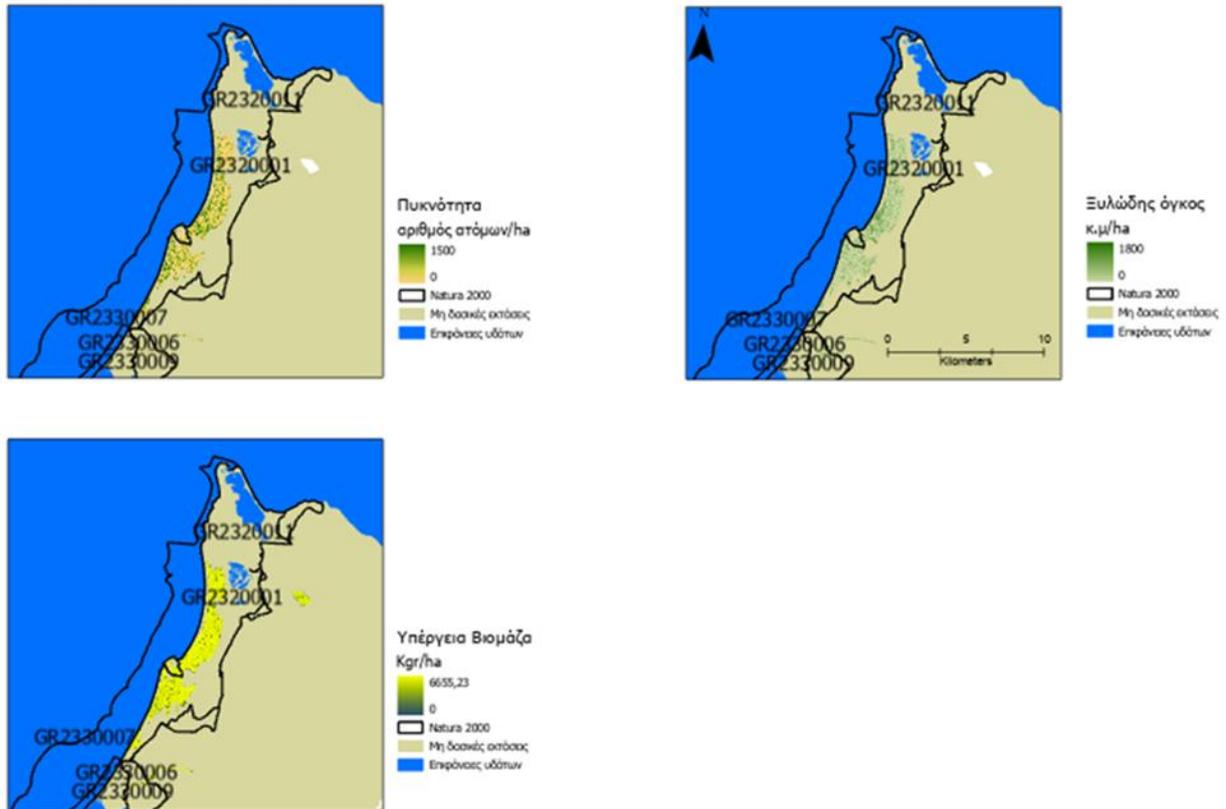
5.2.1 Δείκτες δομής βλάστησης & βιομάζας

Οι παράμετροι της δομής βλάστησης: πυκνότητα (συνολικός αριθμός δέντρων ανά εκτάριο), ξυλώδης όγκος, και υπέργεια βιομάζα, αναπαρίστανται χωρικά δημιουργώντας θεματικούς χάρτες με την κατανομή τους στην πιλοτική περιοχή βάσει της ανάλυσης των δεδομένων τηλεπισκόπησης Sentinel και PlanetScore και των εκτιμήσεων από τα αντίστοιχα μοντέλα παλινδρόμησης (Εικόνες 16, 17) .

Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 18) παρουσιάζονται αποτελέσματα εκτίμησης της βιομάζας από εικόνες PlanetScore για τους τύπους οικοτόπων «Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου (9540)» και «Θίνες με δάση από Pinus pinna ή/και Pinus pinaster (2270)». Ο δείκτης υπολογίζει τη δασική βιομάζα σε κιλά ανά εκτάριο (Kg/ha).

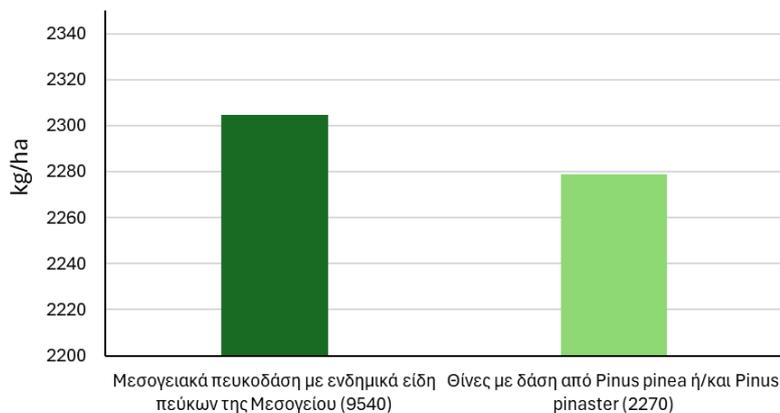


Εικόνα 16 Χάρτογραφική απεικόνιση παραμέτρων (πυκνότητα, ξυλώδη όγκο, βιομάζα) για την περιοχή Εθνικού Δρυμού Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς, με την **χρήση εικόνων Sentinel**



Εικόνα 17 Χάρτες δασικών παραμέτρων (πυκνότητα, ξυλώδη όγκο, βιομάζα) για την περιοχή Εθνικού Δρυμού Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς, με την χρήση εικόνων **PlanetScope**.

Δείκτης Βιομάζας- 2023 ΕΠΚΣ



Εικόνα 18 Δείκτης Βιομάζας κατά τον Αύγουστο 2023, στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου-Στροφυλιάς για τους τύπους οικοτόπων Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου (9540) και Θίνες με δάση από Pinus pinea ή/και Pinus pinaster (2270), με εικόνες PlanetScope.



Οι ακριβείς υπολογισμοί της δασικής βιομάζας είναι ζωτικής σημασίας για τις εκτιμήσεις του ισοζυγίου του άνθρακα των δασών και την κατανόηση της δυναμικής των οικοσυστημάτων για τη βιώσιμη διαχείριση. Η εκτίμηση βιομάζας βασίζεται σε αλλομετρικές εξισώσεις υπολογισμού της υπέρχειας δασικής βιομάζας σε επίπεδο δέντρου, οι οποίες αποτιμούν τη βιομάζα με βάση εύκολα μετρήσιμα χαρακτηριστικά του όπως η στηθαία διάμετρος και το ύψος (που λαμβάνονται στο πεδίο) σε συνδυασμό με δεδομένα παρατήρησης γης. Σε εύκρατα δασικά οικοσυστήματα, αναφέρεται συχνά μια θετική συσχέτιση μεταξύ της βιομάζας και της βιοποικιλότητας (αν και όχι πάντα). Μια παγκόσμια έρευνα σε παγκόσμια κλίμακα από τους Liang et al. (2016), βρήκε μια γενικά θετική σχέση, ανάμεσα στην ποικιλότητα των δέντρων και την παραγωγικότητα της βιομάζας. Στο 99% των επιμέρους δειγματοληπτικών επιφανειών σε παγκόσμια κλίμακα, η μεγαλύτερη ποικιλότητα ειδών δέντρων συνδέθηκε με υψηλότερη βιομάζα ή ανάπτυξη του δάσους (αν και παρατηρήθηκε μια σταδιακή μείωση σε αυξανόμενα επίπεδα ποικιλότητας). Το πλεονέκτημα χρήσης της βιομάζας ως ένα δείκτη βιοποικιλότητας έγκειται στη σχετική εύκολη μέτρησή της (ως τυπική μεταβλητή σε διαχειριστικά σχέδια, αλλά και με μεθόδους τηλεπισκόπησης). Η σχέση ωστόσο είναι πολύπλοκη, επηρεάζεται από άλλους παράγοντες όπως η δομή του δάσους, η ηλικία, οι πρακτικές διαχείρισης, και μπορεί ακόμα να παρουσιάζει trade-offs για διαφορετικές ομάδες ειδών. Περιορισμοί υφίστανται ως προς το ότι η βιοποικιλότητα είναι πολυδιάστατη και επομένως κανένας μεμονωμένος δείκτης ή στατιστικό μέτρο (συμπεριλαμβανομένης της βιομάζας) δεν μπορεί να την αποτυπώσει πλήρως.

1.1.1 Δείκτες ποικιλότητας

Οι παράμετροι της ποικιλότητας: Species richness (S), Shannon diversity Index (H) και Simpson's dominance (D2) (βλ κεφ. 3.3) αναπαρίστανται χωρικά δημιουργώντας θεματικούς χάρτες με την κατανομή τους στην πιλοτική περιοχή, βάσει της ανάλυσης των δεδομένων τηλεπισκόπησης Sentinel και PlanetScore και των εκτιμήσεων από τα αντίστοιχα μοντέλα παλινδρόμησης (Εικόνες 19, 20). Ο δείκτης κυριαρχίας (dominance) του Simpson (D2) δίνει έμφαση στη συνιστώσα της ομοιογένειας σε αντίθεση με τον δείκτη του Shannon (H), που δίνει έμφαση στη συνιστώσα του πλούτου της ποικιλότητας (Nagendra, 2002). Μεγαλύτερες τιμές του δείκτη D2 υποδηλώνουν και μεγαλύτερη κυριαρχία ενός είδους και άρα μικρότερη ποικιλότητα. Η τιμή του δείκτη D2 κυμαίνεται μεταξύ 1/S και S, όπου S είναι ο συνολικός αριθμός των ειδών.



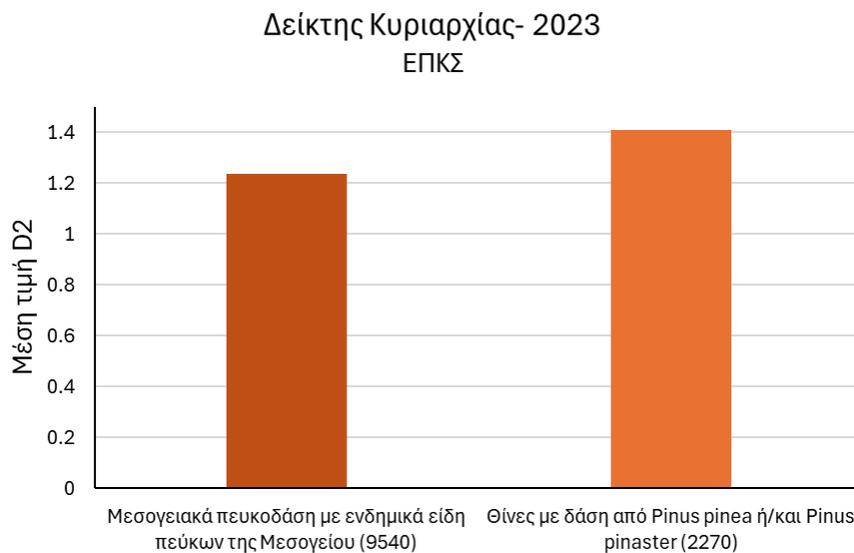
Εικόνα 19 Χάρτες μέτρων βιοποικιλότητας για την περιοχή Εθνικού Δρυμού Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς με την χρήση εικόνας Sentinel



Εικόνα 20 Χάρτες μέτρων βιοποικιλότητας για την περιοχή Εθνικού Δρυμού Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς, με την χρήση εικόνας Planet



Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 21) παρουσιάζονται αποτελέσματα εκτίμησης του Δείκτη Κυριαρχίας, από εικόνες PlanetScore, για τους τύπους οικοτόπων «Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου (9540)» και «Θίνες με δάση από *Pinus pinea* ή/και *Pinus pinaster* (2270)». Ο τύπος οικοτόπου 2270 παρουσίασε μεγαλύτερη μέση τιμή του δείκτη (1,408) από τον τύπο οικοτόπου 2270 (1,237).

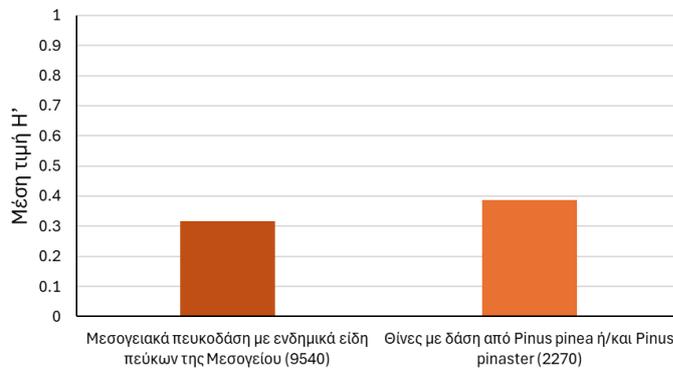


Εικόνα 21 Δείκτης κυριαρχίας (*Simpson dominance*) κατά τον Αύγουστο 2023, στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου-Στροφυλιάς για τους τύπους οικοτόπων Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου (9540) και Θίνες με δάση από *Pinus pinea* ή/και *Pinus pinaster* (2270), με εικόνες PlanetScore.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται αποτελέσματα εκτίμησης του Δείκτη ποικιλότητας ειδών (*Shannon's diversity Index -H'*), από εικόνες PlanetScore, για τους τύπους οικοτόπων «Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου (9540)» και «Θίνες με δάση από *Pinus pinea* ή/και *Pinus pinaster* (2270)». Ο οικοτόπος 2270 παρουσίασε μεγαλύτερη μέση τιμή του δείκτη (0,387) και άρα μεγαλύτερη ποικιλότητα από τον οικοτόπο 9540 (0,315) (Εικόνα 22).



Δείκτης ποικιλότητας δασικών ειδών- 2023
ΕΠΚΣ

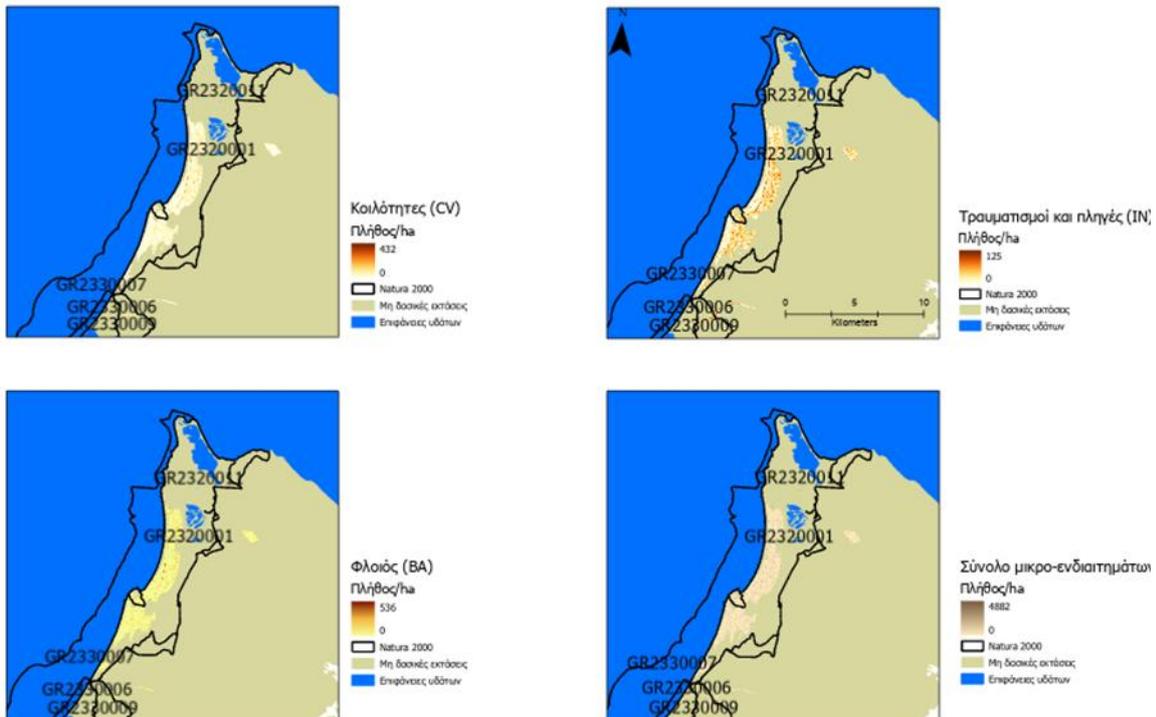


Εικόνα 22 Δείκτης ποικιλότητας δασικών ειδών (κατά τον Αύγουστο 2023, στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου-Στροφυλιάς για τους τύπους οικοτόπων Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου (9540) και Θίνες με δάση από Pinus pinea ή/και Pinus pinaster (2270), με εικόνες PlanetScope.

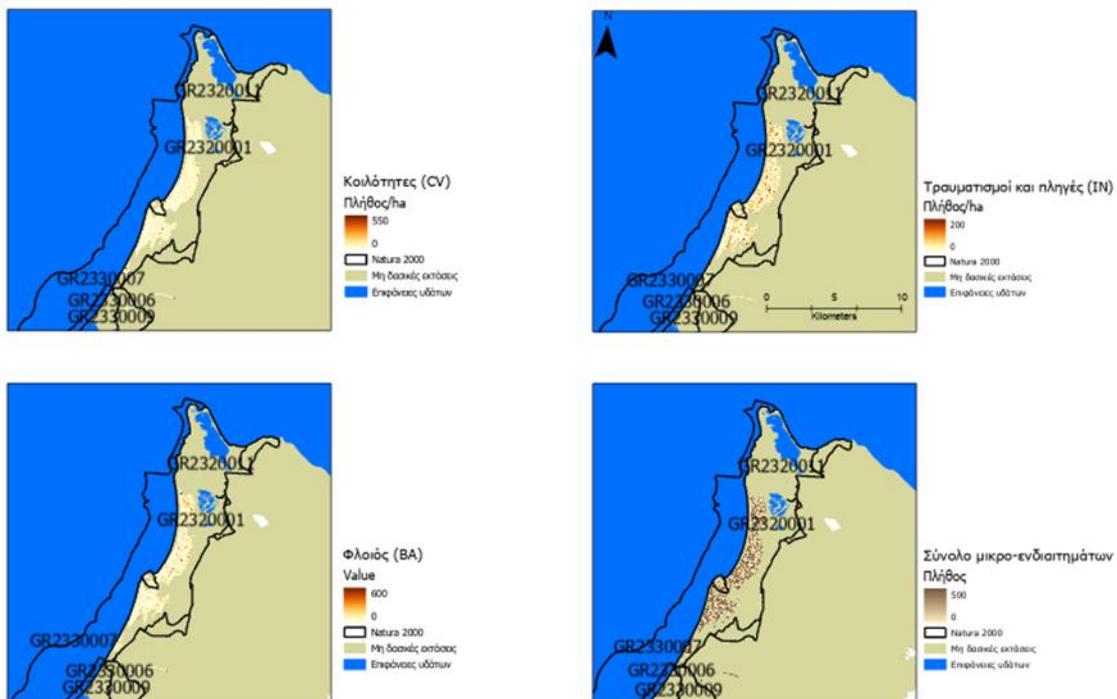
Η ποικιλότητα των δασικών δένδρων μπορεί να παρέχει βασικές πληροφορίες για τη συνολική βιοποικιλότητα. Η αφθονία και η ποικιλότητα στα δασικά είδη δένδρων καθορίζει για παράδειγμα τους πόρους που είναι διαθέσιμοι για τον υπόροφο, επηρεάζει τη χωρική τους διακύμανση, και συνεπώς μπορεί να διαμορφώσει την ποικιλότητα και την αφθονία του υποροφού (Zilliox & Gosselin, 2014). Συνεπώς μπορεί να χρησιμεύσει ως προσεγγιστικός δείκτης για την πολυπλοκότητα των ενδιατημάτων και τη λειτουργική ποικιλότητα. Τα δάση με πολλά είδη δένδρων είναι συνήθως πλουσιότερα σε βιοποικιλότητα από τα δάση με ένα μόνο είδος. Ωστόσο, αυτή η ερμηνεία πρέπει να πάντα να λαμβάνει υπόψη ότι σε ορισμένα φυσικά δασικά οικοσυστήματα, εμφανίζονται μόνο ένα ή δύο είδη δέντρων (Linsler, 2024) καθώς και ότι ένας δείκτης μόνος του δεν μπορεί να καταγράψει ή να εκφράσει το σύνολο της βιοποικιλότητας.

1.1.2 Δείκτες μικροενδιατημάτων

Το σύνολο των μικροενδιατημάτων (βλ. κεφ. 3.4) και τρία επιμέρους μικροενδιατηματα: κοιλότητες, τραυματισμοί και πληγές, φλοιός, αναπαρίστανται χωρικά δημιουργώντας θεματικούς χάρτες με την κατανομή τους στην πιλοτική περιοχή, βάσει της ανάλυσης των δεδομένων τηλεπισκόπησης Sentinel και PlanetScore και των εκτιμήσεων από τα αντίστοιχα μοντέλα παλινδρόμησης (Εικόνες 23, 24). Μεγαλύτερη ακρίβεια επιτεύχθηκε με τη χρήση δεδομένων PlanetScore (SuperDove) Οι δείκτες υπολογίζουν τον αριθμό μικροενδιατημάτων ανά εκτάριο.



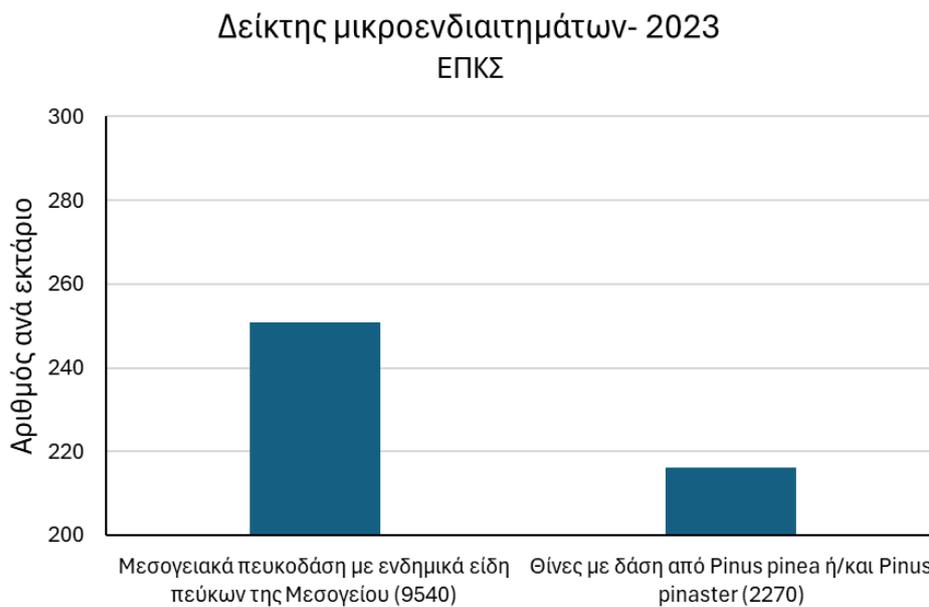
Εικόνα 23 Χάρτες δείκτη **μικρο-ενδιαιτημάτων** (κουιότητες, τραυματισμοί και πληγές, φλοιός, και σύνολο μικρο-ενδιαιτημάτων) για την περιοχή Εθνικού Δρυμού Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς με την χρήση εικόνων **Sentinel**.



Εικόνα 24 Χάρτες δείκτη **μικροενδιαιτημάτων** (κουιότητες, τραυματισμοί και πληγές, παραμόρφωση, και σύνολο μικροενδιαιτημάτων) για την περιοχή Εθνικού Δρυμού Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς, με την χρήση εικόνων **PlanetScope**.



Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 25) παρουσιάζονται αποτελέσματα εκτίμησης του Δείκτη για το σύνολο των μικροενδιαιτημάτων, από εικόνες PlanetScore, για τους τύπους οικοτόπων «Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου (9540)» και «Θίνες με δάση από *Pinus pinea* ή/και *Pinus pinaster* (2270)». Ο τύπος οικοτόπου 2270 φέρει μικρότερο αριθμό μικροενδιαιτημάτων ανά εκτάριο σε σχέση με τον τύπο οικοτόπου 9540.



Εικόνα 25 Δείκτης μικροενδιαιτημάτων κατά τον Αύγουστο 2023, στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου-Στροφυλιάς για τους τύπους οικοτόπων Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου (9540) και Θίνες με δάση από *Pinus pinea* ή/και *Pinus pinaster* (2270), με εικόνες PlanetScore.

Τα μικροενδιαιτήματα που σχετίζονται με τα δέντρα αναγνωρίζονται ευρέως ως βασικά χαρακτηριστικά για τη βιοποικιλότητα (Bütler et al., 2020). Ένα μικροενδιαιτήμα σχετιζόμενο με τα δέντρα (Tree-related Microhabitat -TreM) είναι ένα διακριτό, καλά οριοθετημένο μορφολογικό χαρακτηριστικό που φέρουν τα ζωντανά και νεκρά δέντρα και αποτελεί κρίσιμο ενδιαίτημα για διάφορα είδη (Larrieu et al., 2021). Η καταγραφή τους συμβάλλει στη διατήρηση και αύξηση της παρουσίας τους μέσω μέτρων διαχείρισης (Bütler et al., 2020).



2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2.1 Δείκτες παρουσίας επιφανειακών υδάτων

Τα επιφανειακά ύδατα είναι ζωτικής σημασίας για τα χερσαία οικοσυστήματα και αποτελούν κρίσιμο δείκτη της περιβαλλοντικής και κλιματικής αλλαγής (Zhang et al., 2019). Το εύρος και η εποχικότητα των επιφανειακών υδάτων (εσωτερικών και παράκτιων) επηρεάζεται τόσο από το κλίμα όσο και από την ανθρώπινη δραστηριότητα (Vögösmarty et al., 2000) και σχετίζονται με το κλίμα (Holgerson and Raymond, 2016), τη βιοποικιλότητα (Gardner et al., 2015) την κατανομή και τη διαμόρφωση οικοτόπων (Li et al., 2023). Παράγοντες όπως η στάθμη των υδάτων, οι χρήσεις γης, ανθρωπογενείς οχλήσεις και η κλιματική αλλαγή επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των υδροτοπικών ενδιατημάτων για τα υδρόβια πτηνά, επηρεάζοντας έτσι το μέγεθος των πληθυσμών τους (X. Wang et al., 2020).

Το Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου Στροφυλιάς συνιστά μωσαϊκό υδροτοπικών τύπων περιλαμβάνοντας τις μεγάλες υδάτινες επιφάνειες των λιμνοθαλασσών Κοτυχίου, Αράξου, της λίμνης Προκόπου, του έλους Λάμια και της αλυκής Λεχαιρών αλλά και μικρότερες υδατοσυλλογές που σχηματίζονται στο δάσος Στροφυλιάς, στα εποχικά πλημμυριζόμενα αλίπεδα, στους καλαμώνες και στα υγρολίβαδα.

Για την εποχική και διαχρονική διακύμανση των επιφανειακών υδάτων έχουν προταθεί αρκετοί φασματικοί δείκτες και έχουν παραχθεί και συναφή προϊόντα από το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Copernicus. Αντιπροσωπευτικά παρατίθενται τα ακόλουθα για το Εθνικό Πάρκο Κοτυχίου Στροφυλιάς και την ευρύτερη περιοχή (Εικόνα 26):

(α) το προϊόν Surface Water Occurrence⁴ (SWO) του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Copernicus το οποίο αποτυπώνει χωρικές και χρονικές μεταβολές της παρουσίας επιφανειακών υδάτων για την περίοδο μεταξύ 1984 και 2021, και έχει παραχθεί από το Joint Research Center της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα δεδομένα του προϊόντος SWO έχουν προέρθει από την ανάλυση εικόνων Landsat, καλύπτουν τα έτη από 1984 έως 2021 και καταγράφουν τα επιφανειακά ύδατα σε μηνιαία βάση, σε χωρική ανάλυση 30 μέτρων (Pekel et al., 2016). Ορισμένες εκτάσεις καλύπτονται από νερό καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου παρατήρησης (το 100% όλων των παρατηρήσεων ταξινομείται ως νερό), άλλες είναι πλημμυρισμένες για λίγους μήνες κάθε χρόνο (συνήα για τους ίδιους μήνες κάθε χρόνο), άλλες μόνο μετά από ακραία φαινόμενα και άλλες ποτέ (Pekel et al., 2016).

(β) το προϊόν υψηλής χωρικής ανάλυσης νερού και υγρασίας (Water and Wetness-WAW) του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Copernicus⁵, το οποίο δείχνει την εμφάνιση νερού και εκτάσεων με υγρασία κατά την χρονική περίοδο 2012 – 2018, σε τέσσερις καθορισμένες κατηγορίες: μόνιμα ύδατα, προσωρινά ύδατα, μόνιμη υγρασία και προσωρινή υγρασία, και παρέχεται ως εικόνες raster χωρικής ανάλυσης 10μ.

(γ) ο φασματικός δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Νερού (Normalized Difference Water Index - NDWI) είναι ένας δείκτης για την διάκριση και οριοθέτηση των χαρακτηριστικών ανοικτών υδάτων, ενώ μπορεί επίσης να παρέχει εκτιμήσεις θολότητας υδάτινων σωμάτων (McFEETERS, 1996). Ο NDWI εκμεταλλεύεται την υψηλή ανακλαστικότητα του νερού στο πράσινο μήκος κύματος, την χαμηλή

⁴ <https://global-surface-water.appspot.com/>

⁵ https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-water-and-wetness/water-and-wetness-status-2018#general_info



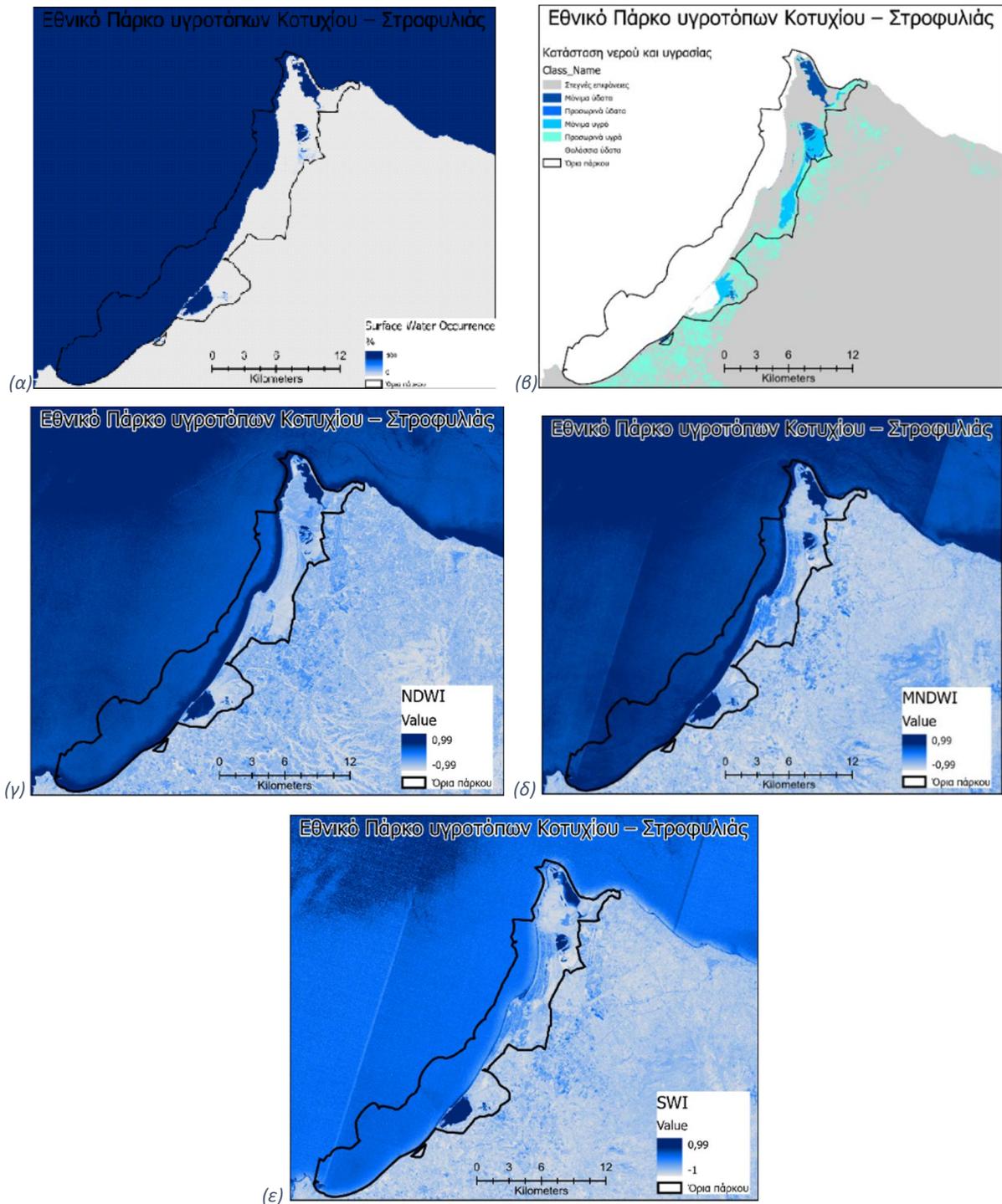
ανακλαστικότητα των υδάτινων περιοχών στο εγγύς υπέρυθρο, αλλά ταυτόχρονα λαμβάνει υπόψη την μεγάλη του ανακλαστικότητα του εγγύς υπέρυθρου στη χερσαία βλάστηση. Στην Εικόνα 26 (γ) παρουσιάζεται ο δείκτης NDWI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023.

(δ) ο φασματικός τροποποιημένος κανονικοποιημένος δείκτης νερού (Modified Normalized Difference Water Index -MNDWI) (Χυ, 2006) είναι μια τροποποίηση του NDWI (McFEETERS, 1996) που χρησιμοποιεί το κοντίνο υπέρυθρο αντί το εγγύς υπέρυθρο. Ο MNDWI μπορεί να ενισχύσει τα χαρακτηριστικά των επιφανειακών υδάτων, ενώ μειώνει το θόρυβο λόγω της ύπαρξης δομημένων περιοχών, βλάστησης και εδάφους (Χυ, 2006, Pan et al., 2020). Στην Εικόνα 26 (δ) παρουσιάζεται ο δείκτης όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023.

(ε) ο φασματικός δείκτης νερού Sentinel-2 (Sentinel-2 Water Index -SWI), ο οποίος αναπτύχθηκε για τα φασματικά χαρακτηριστικά Sentinel-2 (Jiang et al., 2020). Στην Εικόνα 26 (ε) παρουσιάζεται ο δείκτης όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023.

Στο Παράρτημα III παρατίθενται στοιχεία για τα φασματικά δεδομένα και τη ροή εργασιών που ακολουθήθηκε στο ELBIOS για την πιλοτική περιοχή του Εθνικού Πάρκου υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.

Ακολουθεί παρουσίαση των αποτελεσμάτων για δύο εκ των δεικτών παρουσίας επιφανειακών υδάτων.



Εικόνα 26 Παρουσία επιφανειακών υδάτων (α) Surface Water Occurrence, (β) Water and Wetness, (γ) Normalized Difference Water Index, (δ) Modified Normalized Difference Water Index, (ε) Sentinel-2 Water Index –SWI.

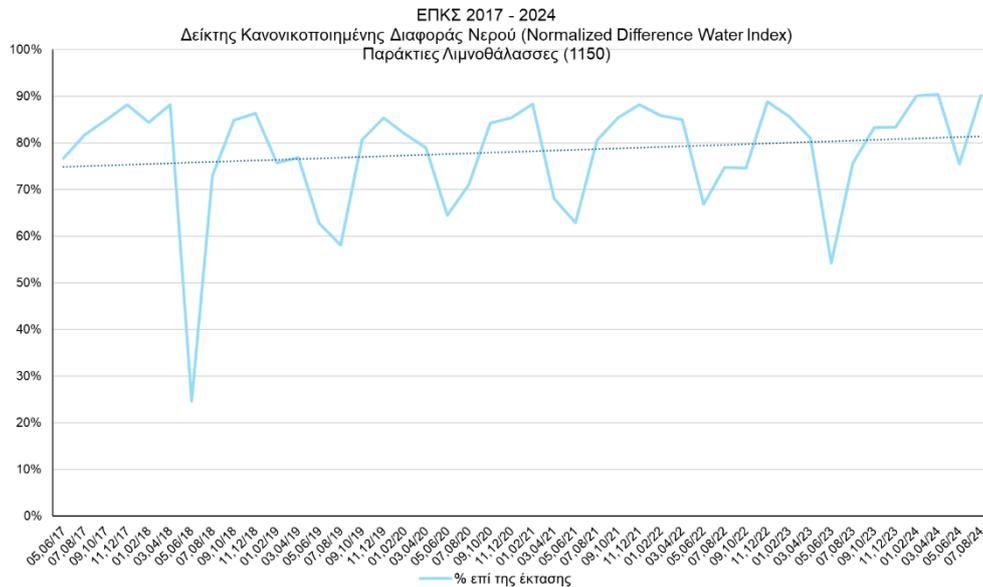


2.1.1 Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Νερού (Normalized Difference Water Index –NDWI)

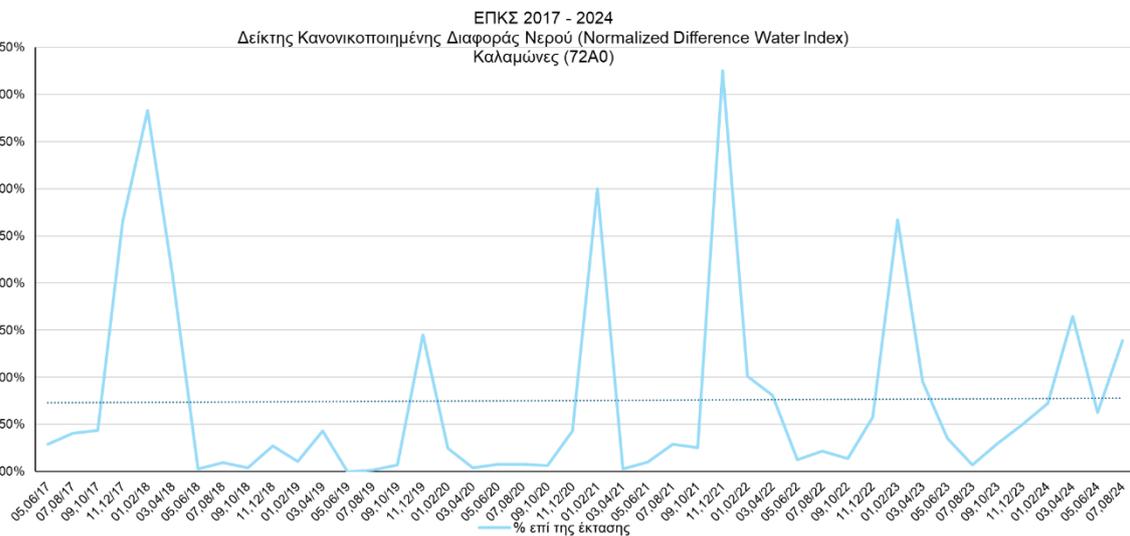
Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Νερού (Normalized Difference Water Index –NDWI) (McFeeters, 1996) αποτελεί μια χωρική απεικόνιση της παρουσίας/απουσίας επιφανειακών υδάτων. Επιλέχτηκε λόγω της υψηλής ακρίβειάς του στη διάκριση των υδάτινων περιοχών, χάρη «μείωση» του θορύβου που προκύπτει από το έδαφος και τη βλάστηση. Στις τιμές του φασματικού δείκτη εφαρμόζεται ένα κατώτατο όριο (threshold), για τον εντοπισμό της επιφάνειας της Γης που καλύπτεται από επιφανειακά ύδατα. Ορίζεται ως η κανονικοποιημένη διαφορά του πράσινου (Green) και εγγύς υπέρυθρου διαύλου (NIR). Λαμβάνει τιμές μεταξύ -1 έως 1. Οι θετικές τιμές είναι ένδειξη ύπαρξης νερού, ενώ οι αρνητικές ένδειξη απουσίας νερού και υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

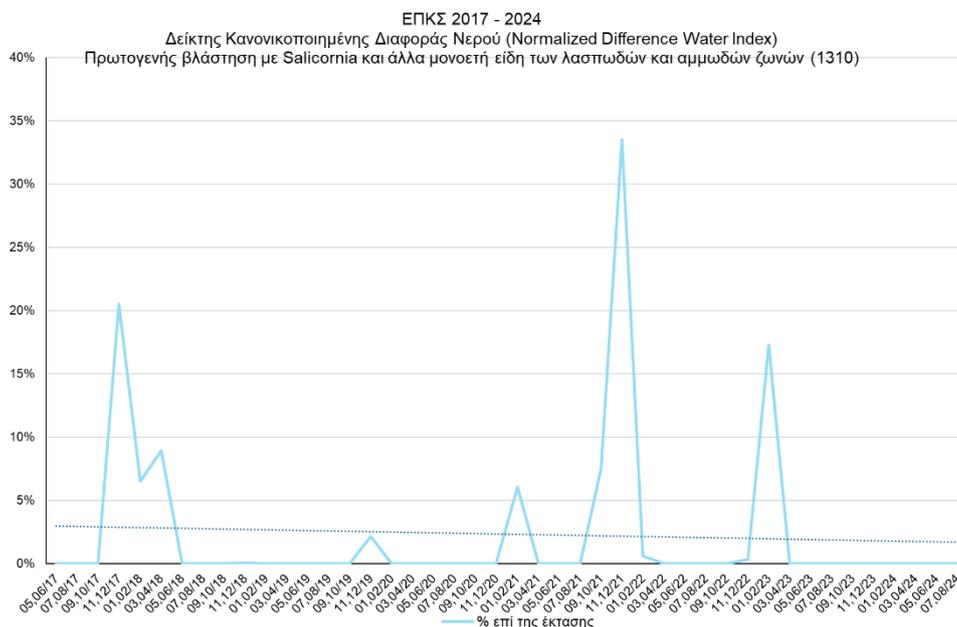
Ακολουθούν ενδεικτικά διαγράμματα (Εικόνες 27 έως 31) των χωροχρονικών μεταβολών του δείκτη για επιλεγμένους τύπους οικοτόπων, ως ποσοστό κάλυψης από ύδατα. Κατά την χρονική περίοδο 2017-2024 το ποσοστό κάλυψης σε νερό για τον τύπο οικοτόπου «Παράκτιες Λιμνοθάλασσες» (1150) κυμαίνεται από 24,69% έως 90,41%. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται κατά τους θερινούς μήνες ενώ οι υψηλότερες τους χειμερινούς. Στον τύπο οικοτόπου «Καλαμώνες» (72A0), τα ποσοστά κάλυψης σε νερό είναι σημαντικά μικρότερα και κυμαίνονται από 0-4,25%. Οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται τις περιόδους Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου 2018 και Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου 2021. Αντίστοιχα, για τον τύπο οικοτόπου «Πρωτογενής βλάστηση με Salicornia και άλλα μονοετή είδη των λασπωδών και αμμωδών ζωνών» (1310) το ποσοστό κάλυψης σε νερό κυμαίνεται από 0-33,55% με τη μέγιστη τιμή να σημειώνεται την περίοδο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου 2021. Για τον τύπο οικοτόπου «Υδάτινη επιφάνεια που δεν καλύπτεται από βλάστηση» (3190) τα ποσοστά κυμαίνονται από 7,15% έως 77,65%. Το χαμηλότερο ποσοστό παρατηρείται κατά την περίοδο Μαΐου- Ιουνίου 2018, ενώ το υψηλότερο κατά την περίοδο Μαρτίου-Απριλίου 2024. Τέλος, ο τύπος οικοτόπου «Μεσογειακά αλίπεδα (Juncetalia maritimi)» (1410) παρουσιάζει συνολικά χαμηλό ποσοστό κάλυψης από επιφανειακά ύδατα καθ' όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο. Πιο συγκεκριμένα, τα ποσοστά κυμαίνονται από 0% έως 2,05%, με το μέγιστο ποσοστό να παρατηρείται την περίοδο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου 2017.



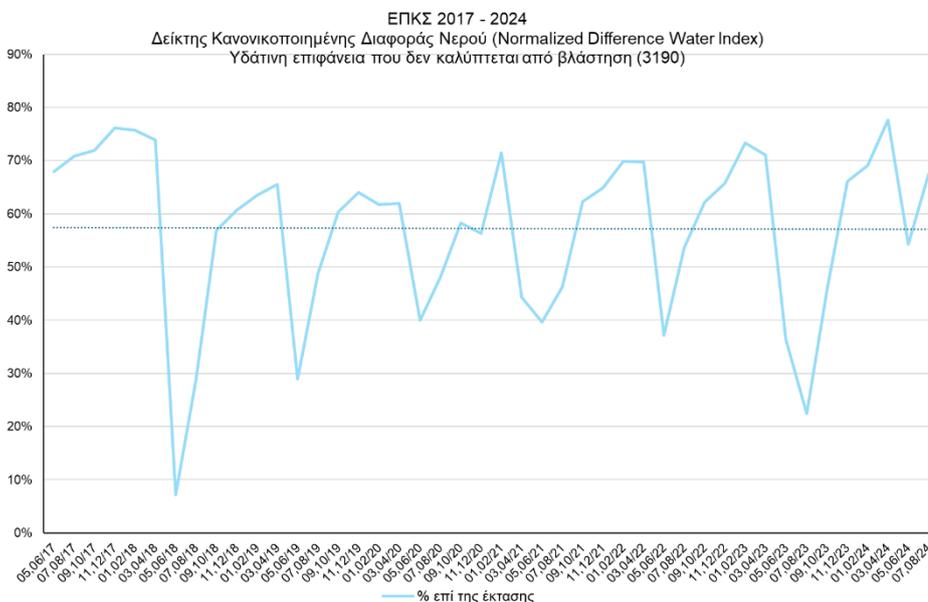
Εικόνα 27 Εποχική μεταβολή του δείκτη «Παρουσίας νερού» κατά την χρονική περίοδο 2017-2024, σύμφωνα με την αυτοματοποιημένη ταξινόμηση του φασματικού δείκτη NDWI για τον τύπο οικοτόπου «Παράκτιες Λιμνοθάλασσες» (1150) στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (ΕΠΚΣ).



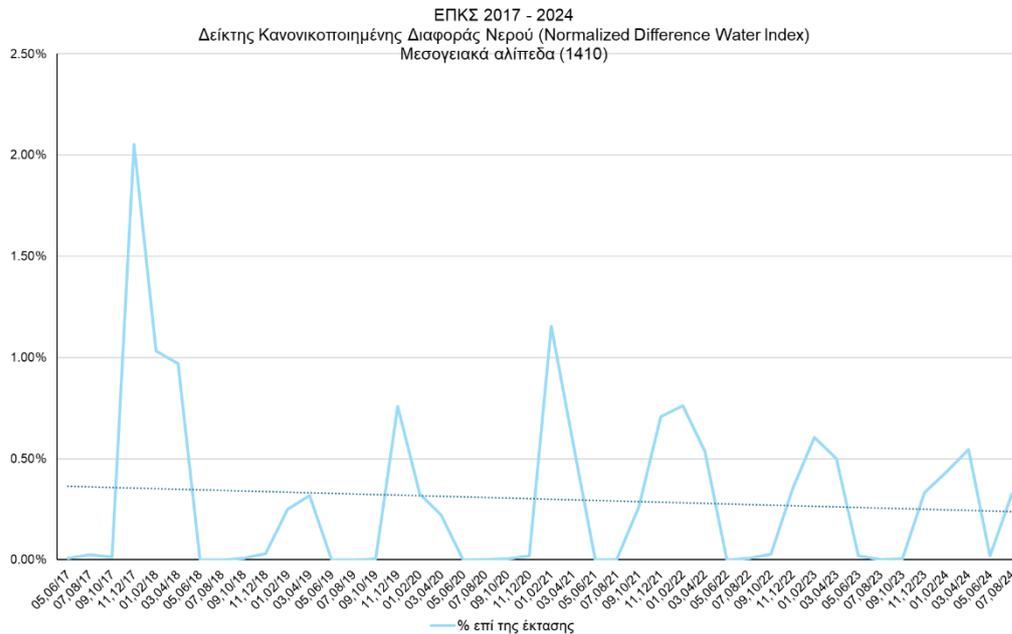
Εικόνα 28 Εποχική μεταβολή του δείκτη «Παρουσίας νερού» κατά την χρονική περίοδο 2017-2024, σύμφωνα με την αυτοματοποιημένη ταξινόμηση του φασματικού δείκτη NDWI, για τον τύπο οικοτόπου «Καλαμώνες» (72A0) στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (ΕΠΚΣ).



Εικόνα 29 Εποχική μεταβολή της παρουσίας του δείκτη «Παρουσίας νερού» κατά την χρονική περίοδο 20217-2024, σύμφωνα με την αυτοματοποιημένη ταξινόμηση του φασματικού δείκτη NDWI, για τον τύπο οικοτόπου «Πρωτογενής βλάστηση με *Salicornia* και άλλα μονοετή είδη των λασπωδών και αμμωδών ζωνών» (1310) στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (ΕΠΚΣ).



Εικόνα 30 Εποχική μεταβολή του δείκτη «Παρουσίας νερού» κατά την χρονική περίοδο 20217-2024, σύμφωνα με την αυτοματοποιημένη ταξινόμηση του φασματικού δείκτη NDWI για τον τύπο οικοτόπου «Υδάτινη επιφάνεια που δεν καλύπτεται από βλάστηση» (3190) στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (ΕΠΚΣ).



Εικόνα 31 Εποχική μεταβολή του δείκτη «Παρουσίας νερού» κατά τη χρονική περίοδο 2017-2024, σύμφωνα με την αυτοματοποιημένη ταξινόμηση του φασματικού δείκτη NDWI, για τον τύπο οικοτόπου «Μεσογειακά αλίπεδα (*Juncetalia maritimi*)» (1410) στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (ΕΠΚΣ).

Η οικολογική κατάσταση και η παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών σε υγροτοπικά οικοσυστήματα εξαρτάται από την παρουσία νερού (Cherry, 2011). Η χωροχρονική δυναμική της παρουσίας νερού σε υγροτοπικά οικοσυστήματα διέπεται από πολλούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η τοπογραφία, οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις με έργα υποδομών και αλλαγές χρήσεων γης, καθώς και τα καιρικά φαινόμενα, όπως οι ξηρασίες, η πλημμύρες κ.α. (Salimi et al., 2021). Αυτές οι χωροχρονικές διακυμάνσεις επηρεάζουν την κατάσταση των ειδών της χλωρίδας και πανίδας στα υγροτοπικά οικοσυστήματα, ενώ μπορούν να έχουν επιπτώσεις και σε κοινωνικοοικονομικό επίπεδο. Ως εκ τούτου, η παρακολούθηση της δυναμικής των επιφανειακών υδάτων σε υγροτοπικά οικοσυστήματα είναι αναγκαία για την ολιστική διαχείριση των οικοσυστημάτων (Nahlik & Fennessy, 2016). Περαιτέρω, η συστηματική χωροχρονική παρακολούθηση των αλλαγών και των πιέσεων που προκύπτουν σε υγροτοπικά οικοσυστήματα, μπορεί να συμβάλει στην επιλογή των βέλτιστων μέτρων και την κατανομή πόρων για τη βελτίωση της οικολογικής κατάστασης και την αντιμετώπιση που οδηγούν σε τυχόν μη κανονικά χωροχρονικά πρότυπα (Abinaya et al., 2025).



2.1.2 Τροποποιημένος Κανονικοποιημένος Δείκτης Νερού

Ο Τροποποιημένος Κανονικοποιημένος Δείκτης Νέρου (Modified Normalized Difference Water Index –MNDWI) χρησιμοποιείται στην τηλεπισκόπηση για την ανίχνευση, χαρτογράφηση και παρακολούθηση υδάτινων σωμάτων (πχ λίμνες, ποτάμια) και εδαφικής υγρασίας. Αναπτύχθηκε από τον Xu H. (2007) ως τροποποίηση του φασματικού δείκτη νερού NDWI (McFeeters, 1996) με σκοπό την ενίσχυση των φασματικών χαρακτηριστικών των υδάτων, μειώνοντας την επίδραση άλλων καλύψεων γης, όπως η δόμηση, η βλάστηση και το έδαφος (Xu, 2006)(Pan et al., 2020).

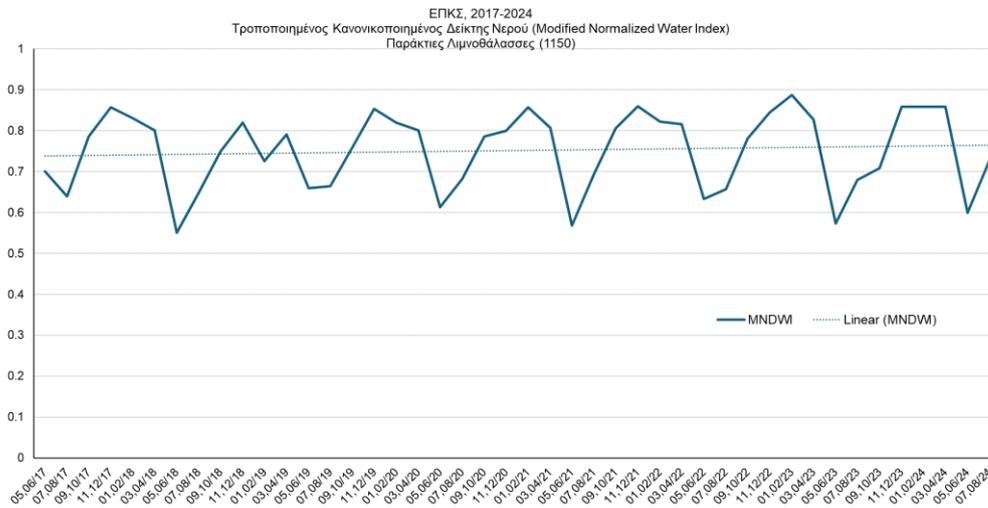
Ο δείκτης MNDWI έχει εφαρμοστεί ευρέως για την παραγωγή χαρτών υδάτινων σωμάτων σε διάφορες κλίμακες (Du et al., 2016).

Η εξίσωση υπολογισμού του MNDWI για εικόνες Sentinel 2 είναι:

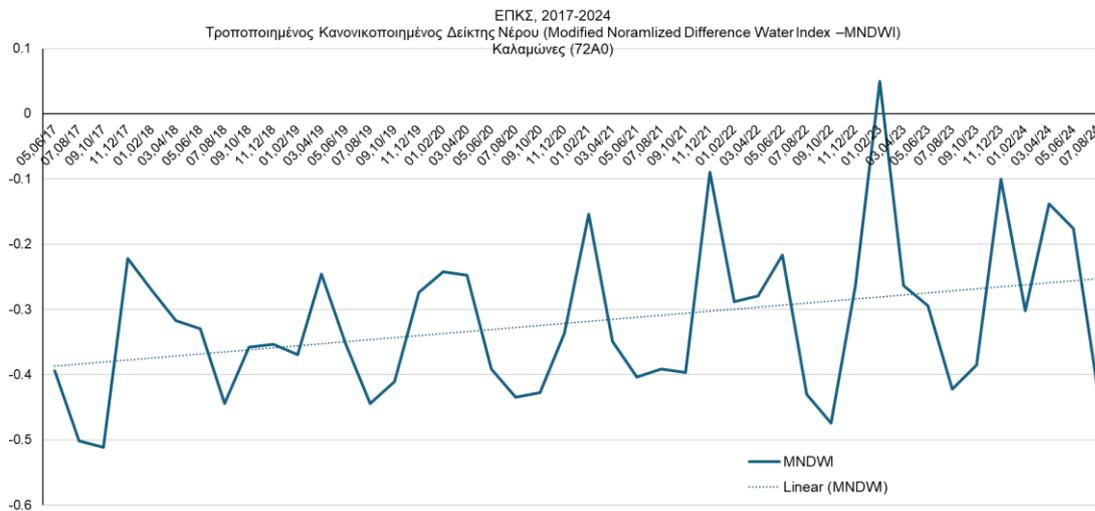
$$MNDWI = \frac{Green - SWIR_2}{Green + SWIR_2}$$

Οι τιμές αυτού του δείκτη κυμαίνονται από -1 έως 1. Οι θετικές τιμές μεγαλύτερες από 0,6 αντιστοιχούν σε υδάτινα σώματα. (Khalid et al., 2021) (Xu, 2006).

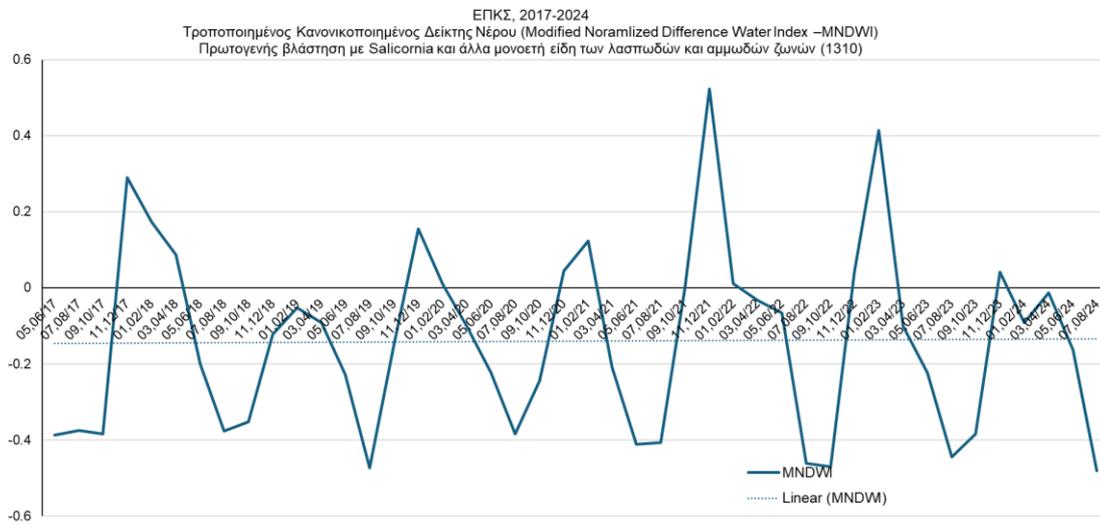
Στα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνες 32 έως 36) παρουσιάζονται η μέση τιμή των μέγιστων του δείκτη ενδεικτικά για πέντε τύπους οικοτόπων, χρησιμοποιώντας το διανυσματικό επίπεδο της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε «Τύποι χερσαίων οικοτόπων στις Ειδικές Ζώνες Διατήρησης (ΕΖΔ) και στους Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)» του Ευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου Natura 2000. Κατά την χρονική περίοδο 2017-2024 οι τιμές του δείκτη MNDWI κυμαίνονται από 0,55 έως 0,89 για τον τύπο οικοτόπων «Παράκτιες Λιμνοθάλασσες» (1150), από -0,51 έως -0,09 για τον τύπο οικοτόπων «Καλαμώνες» (72A0), από -0,48 έως 0,52 για τον τύπο οικοτόπων «Πρωτογενής βλάστηση με *Salicornia* και άλλα μονοετή είδη των λασπωδών και αμμωδών ζωνών» (1310), από 0,15 έως 0,72 για τον τύπο οικοτόπων «Υδάτινη επιφάνεια που δεν καλύπτεται από βλάστηση» (3190) και από -0,53 έως -0,1 για τον τύπο οικοτόπων «Μεσογειακά αλίπεδα (*Juncetalia maritimi*)» (1410). Οι μεγαλύτερες τιμές του δείκτη και στους πέντε τύπους οικοτόπων παρατηρούνται στις περισσότερες περιπτώσεις κατά τα δίμηνα Νοέμβριος-Δεκέμβριος, Ιανουάριος- Φεβρουάριος και Μάρτιος- Απρίλιος. Αντίθετα οι μικρότερες τιμές παρατηρούνται κατά τη θερινή περίοδο. Οι τύποι οικοτόπων «Παράκτιες Λιμνοθάλασσες» (1150) και «Υδάτινη επιφάνεια που δεν καλύπτεται από βλάστηση» (3190) παρουσιάζουν θετικές τιμές καθ' όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο, υποδεικνύοντας την παρουσία νερού η οποία κυμαίνεται εποχικά. Οι τύποι οικοτόπων «Καλαμώνες» (72A0) και «Μεσογειακά αλίπεδα» (*Juncetalia maritimi*) (1410) παρουσιάζουν αρνητικές τιμές καθ' όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο υποδεικνύοντας την απουσία νερού. Τέλος, ο οικοτόπος «Πρωτογενής βλάστηση με *Salicornia* και άλλα μονοετή είδη των λασπωδών και αμμωδών ζωνών» (1310) παρουσιάζει αρνητικές τιμές κατά τους θερινούς μήνες και θετικές κατά τους χειμερινούς.



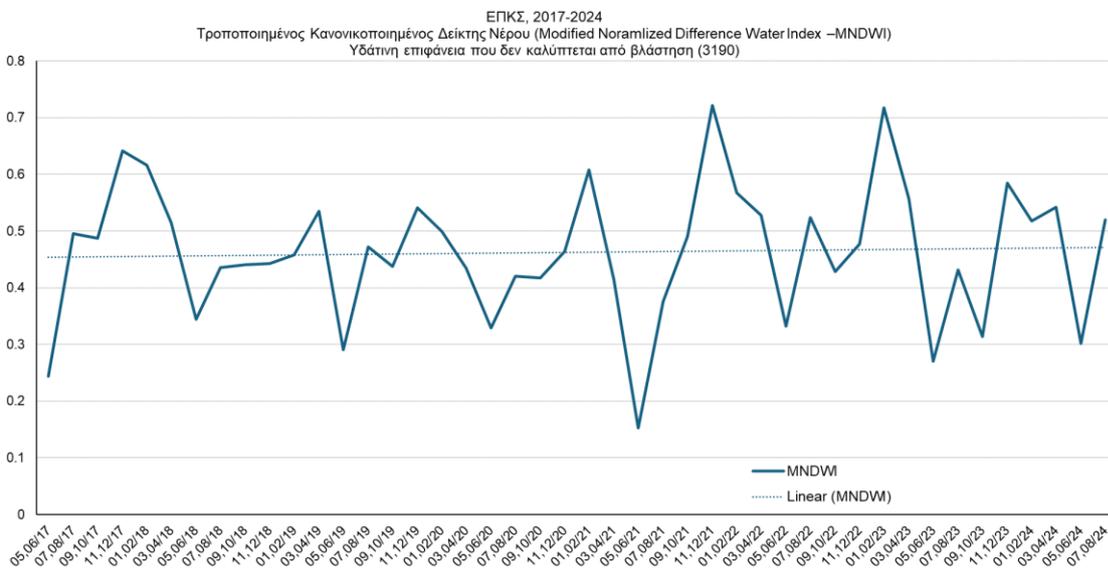
Εικόνα 32 Δείκτης MNDWI για τον τύπο οικοτόπου Παράκτιες Λιμνοθάλασσες (1150) στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς κατά τη χρονική περίοδο 2017- 2024.



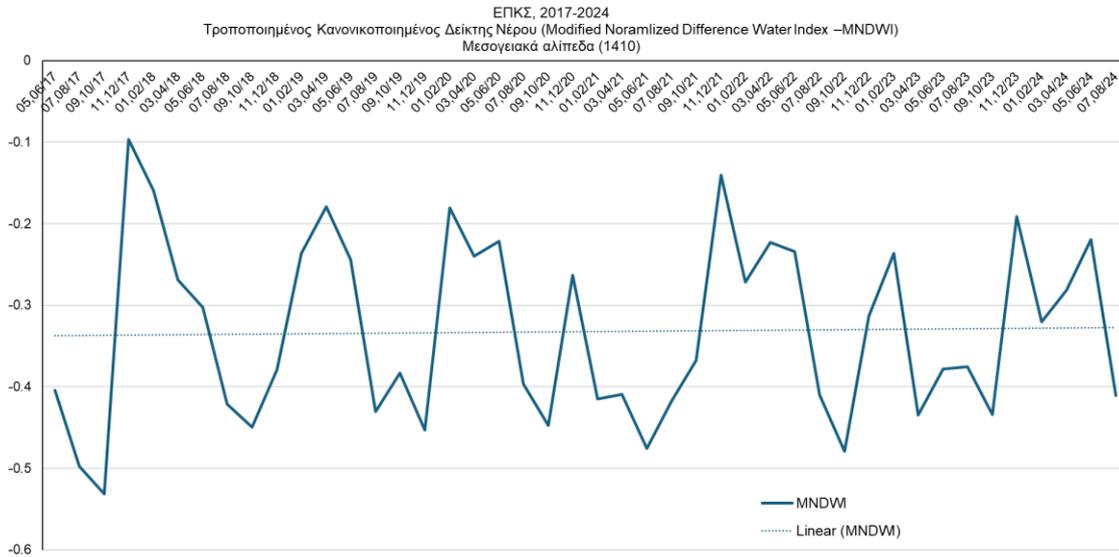
Εικόνα 33 Δείκτης MNDWI για τον τύπο οικοτόπου Καλαμώνες (72A0) στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς κατά τη χρονική περίοδο 2017- 2024.



Εικόνα 34 Δείκτης MNDWI για τον τύπο οικοτόπου Πρωτογενής βλάστηση με *Salicornia* και άλλα μονοετή είδη των λασπωδών και αμμωδών ζωνών (1310) στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς κατά τη χρονική περίοδο 2017-2024.



Εικόνα 35 Δείκτης MNDWI για τον τύπο οικοτόπου Υδάτινη επιφάνεια που δεν καλύπτεται από βλάστηση (3190) στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς κατά τη χρονική περίοδο 2017- 2024.



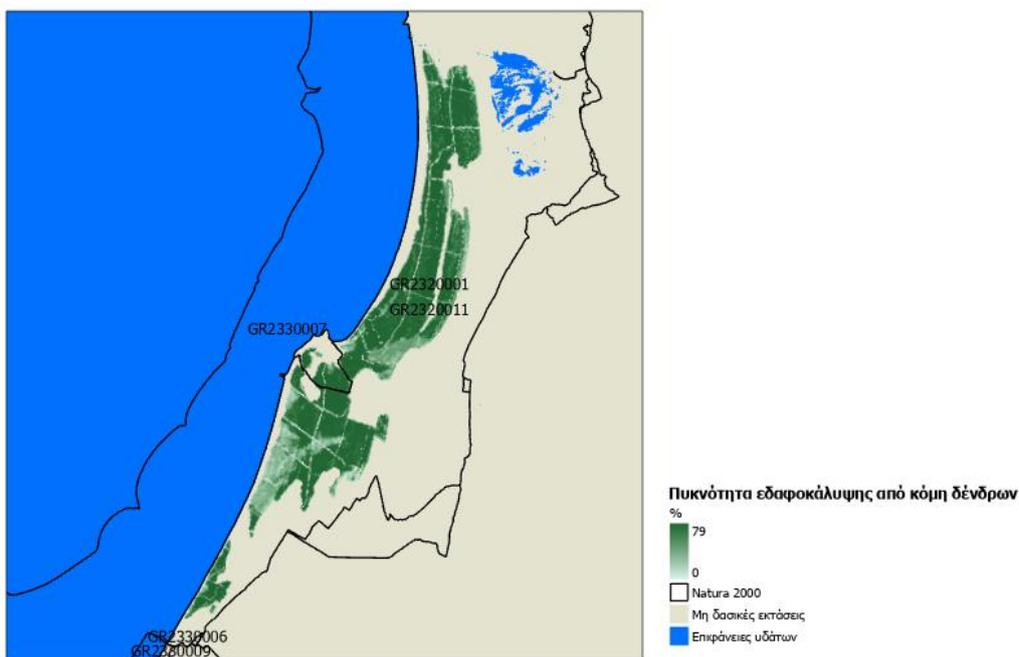
Εικόνα 36 Δείκτης MNDWI για τον τύπο οικοτόπου Μεσογειακά αλίπεδα (*Juncetalia maritimi*) (1410) στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς κατά τη χρονική περίοδο 2017- 2024.

Προηγούμενες μελέτες, έχουν δείξει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της έκτασης και της ποιότητας των ενδιαιτημάτων σε υγροτοπικά οικοσυστήματα και του μεγέθους των πληθυσμών της ορνιθοπανίδας (Cerde-Reña & Rau, 2023; C. Wang et al., 2021). Παράγοντες όπως η ξηρασία ή ακόμα και η σημαντική μειωμένη υγρασία, έχουν πολύπλευρες αρνητικές επιπτώσεις στα είδη της χλωρίδας και της πανίδας. Οδηγούν για παράδειγμα σε εκτεταμένη μείωση των υγροτοπικών εκτάσεων και απώλεια ενδιαιτημάτων και, ως εκ τούτου, σε μείωση του πληθυσμού των υδρόβιων πουλιών, επηρεάζοντας επίσης τη διαβίωση και την αναπαραγωγή τους (Pearse et al., 2024). Μελέτες έχουν δείξει για παράδειγμα, ότι μετά από φαινόμενα ξηρασίας, οι πληθυσμοί των υδρόβιων πτηνών διασκορπίστηκαν σε περιφερειακές περιοχές εκτός του πυρήνα του υγροτόπου για να αντιμετωπίσουν τις αρνητικές επιπτώσεις της ξηρασίας στην ποιότητα των φυσικών ενδιαιτημάτων τους (Feng et al., 2025).



2.2 Δείκτης πυκνότητας εδαφοκάλυψης από την κόμη δένδρων

Η πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων (Tree Cover Density-TCD), ορίζεται ως η κάθετη προβολή της κόμης των δέντρων σε μια οριζόντια επιφάνεια της γης (Vallecillo et al., 2022). Εκφράζεται σε τιμές εύρους μεταξύ 0 και 100% και παρουσιάζεται η μέση τιμή του ενδεικτικά για διάφορους τύπους χερσαίων οικοτόπων. Στο Παράρτημα IV παρατίθενται στοιχεία για τα φασματικά δεδομένα και τη ροή εργασιών που ακολουθήθηκε στο ELBIOS για την παραγωγή του μοντέλου του δείκτη και του θεματικού χάρτη (Εικόνα 37).



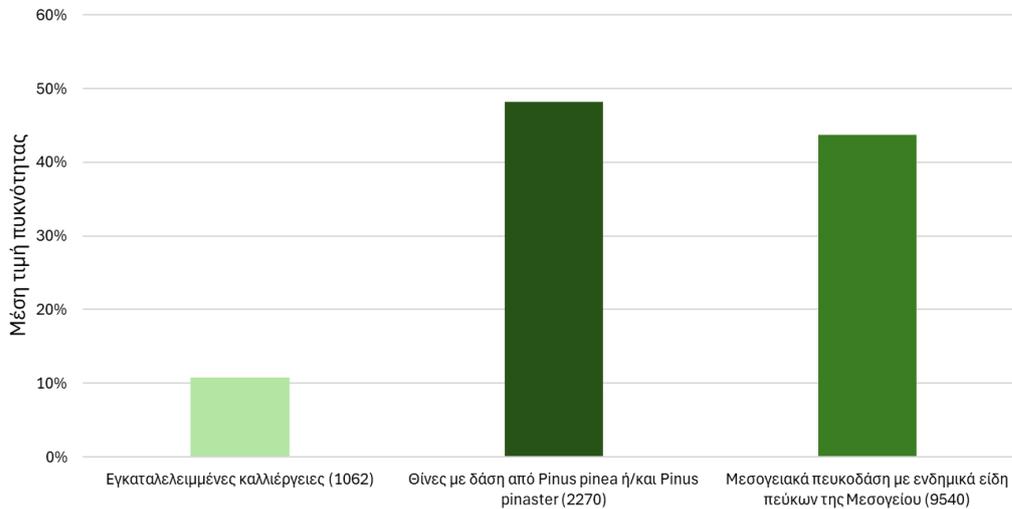
Εικόνα 37 Πυκνότητα εδαφοκάλυψης από κόμη δέντρων

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται, για το έτος 2020, η μέση τιμή του δείκτη για τρεις οικοτόπους του Εθνικού Πάρκου υγροτόπων Κοτυχίου- Στροφιλιάς. Η μέση τιμή του δείκτη κυμαίνεται από 10,80% έως 48,20%. Τη μικρότερη πυκνότητα παρουσιάζει ο οικοτόπος Εγκαταλελειμμένες καλλιέργειες (1062). Υψηλότερα ποσοστά παρουσιάζουν οι οικοτόποι «Θίνες με δάση από *Ranos pinea* ή/και *Pinus pinaster*» (2270) (48,20%) και «Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου» (9540) (43,71%) (Εικόνα 38).



Δείκτης πυκνότητας εδαφοκάλυψης από κόμη δένδρων- 2020

ΕΠΚΣ



Εικόνα 38 Δείκτης πυκνότητας εδαφοκάλυψης από την κόμη δένδρων, κατά το έτος 2020, εντός της προστατευόμενης περιοχής του Εθνικού Πάρκου υγροτόπων Κοτυχίου- Στροφιλιάς για τους οικοτόπους Εγκαταλελειμμένες καλλιέργειες (1062), Θίνες με δάση από Pinus pinea ή/και Pinus pinaster (2270) και Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου (9540).

Ο δείκτης της πυκνότητας εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων (ΤCD) είναι ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό που περιγράφει τη δομή του δασικού οικοσυστήματος, επηρεάζοντας μεταξύ των άλλων τις βιογεωχημικές διεργασίες, τα ενδαιτήματα, την παραγωγικότητα και την αποθήκευση άνθρακα (Vallecillo et al., 2022). Οι αλλαγές στην πυκνότητα εδαφοκάλυψης έχουν συσχετιστεί με την απώλεια και την αύξηση των δασών, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τη δομή και την κατάσταση των δασών (Dantas de Paula et al., 2016) (Hansen et al., 2013) (Miles et al., 2006). Επηρεάζει επίσης την ανάπτυξη και την επιβίωση των φυτών, και έχει χρησιμοποιηθεί στην αξιολόγηση ενδαιτημάτων άγριας ζωής (Jennings, 1999). Αποτελεί έναν από τους σημαντικούς δείκτες που χρησιμοποιούνται για τους δασικούς πόρους και τη διαχείριση (Urquiza, 1998). Επιπλέον, σχετίζεται άμεσα ή έμμεσα με τη διάβρωση του εδάφους, την υποβάθμιση των υδάτινων πόρων, τη δέσμευση άνθρακα, την απώλεια της βιοποικιλότητας και τους κινδύνους από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η αλλαγή της πυκνότητας εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων μπορεί να είναι αποτέλεσμα φυσικών ή/και ανθρωπογενών παραγόντων.

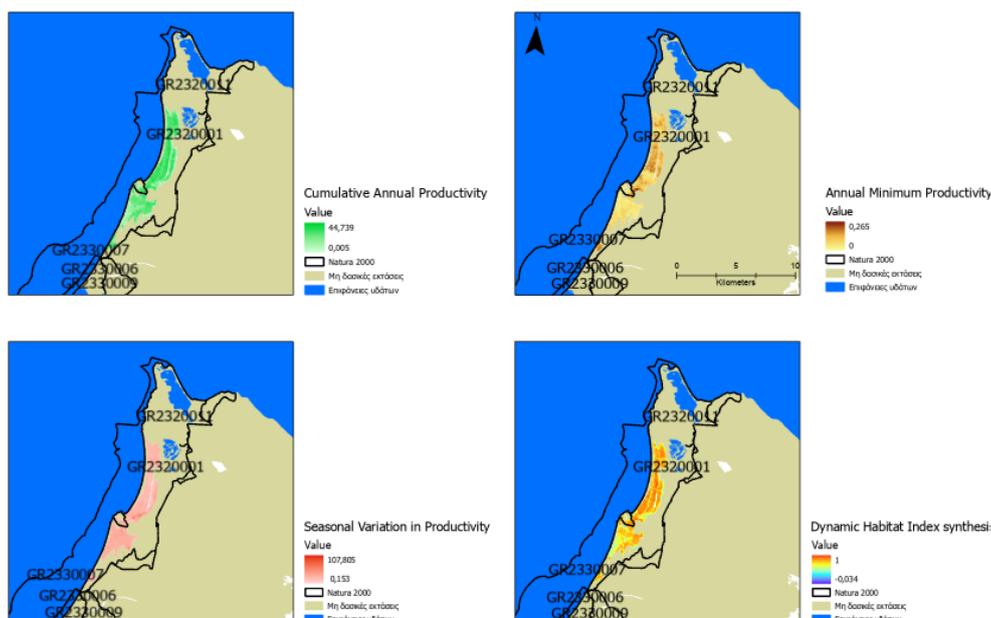


2.3 Δυναμικοί δείκτες ενδιαιτημάτων

Οι δυναμικοί δείκτες ενδιαιτημάτων DHIs (Dynamic Habitat Index-DHI) αναπτύχθηκαν για την πρόβλεψη του πλούτου των ειδών (Radeloff et al., 2019) και θεωρούνται πλέον ισχυροί προγνωστικοί δείκτες βιοποικιλότητας (Hobi et al., 2021)(Radeloff et al., 2019)(Wu and Liang, 2018). Αποτελούν μέτρα παραγωγικότητας της βλάστησης κατά τη διάρκεια ενός έτους και έχουν αναπτυχθεί με τη χρήση τηλεπισκοπικών προϊόντων, όπως οι φασματικοί δείκτες βλάστησης (πχ NDVI, EVI) και οι βιοφυσικές παράμετροι (πχ fAPAR, GPP, LAI). Οι δείκτες αυτοί συντίθενται για την οπτικοποίησή τους σε έναν τελικό δείκτη. Ο τελικός δείκτης περιλαμβάνει τις εξής συνιστώσες (Coops et al., 2009; Hobi et al., 2017; Radeloff et al., 2019; Zhang et al., 2016):

- την αθροιστική ετήσια παραγωγικότητα (Cumulative Annual Productivity-DHICum), όπου οι τιμές παραγωγικότητας αθροίζονται για όλες τις χρονικές περιόδους κατά τη διάρκεια ενός έτους
- την ετήσια ελάχιστη παραγωγικότητα (Annual Minimum Productivity -DHImin), η οποία αναφέρεται στην ελάχιστη τιμή παραγωγικότητας εντός ενός έτους
- και την εποχιακή διακύμανση της παραγωγικότητας (Seasonal Variation in Productivity -DHIvar), η οποία δείχνει την εποχικότητα της παραγωγικότητας υπολογίζοντας τον συντελεστή μεταβλητότητας μέσω της τυπικής απόκλισης (σ) και του μέσου όρου (μ) κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Στο Παράρτημα V παρατίθενται στοιχεία για τα φασματικά δεδομένα και τη ροή εργασιών που ακολουθήθηκε στο ELBIOS για την παραγωγή του μοντέλου του δείκτη και του θεματικού χάρτη (Εικόνα 39).

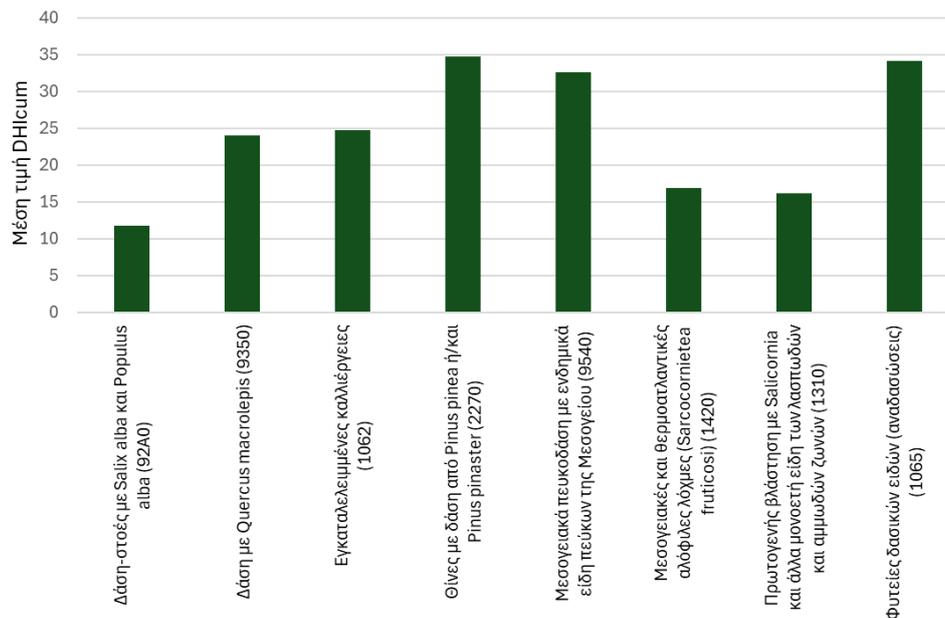


Εικόνα 39 Δυναμικοί δείκτες ενδιαιτημάτων

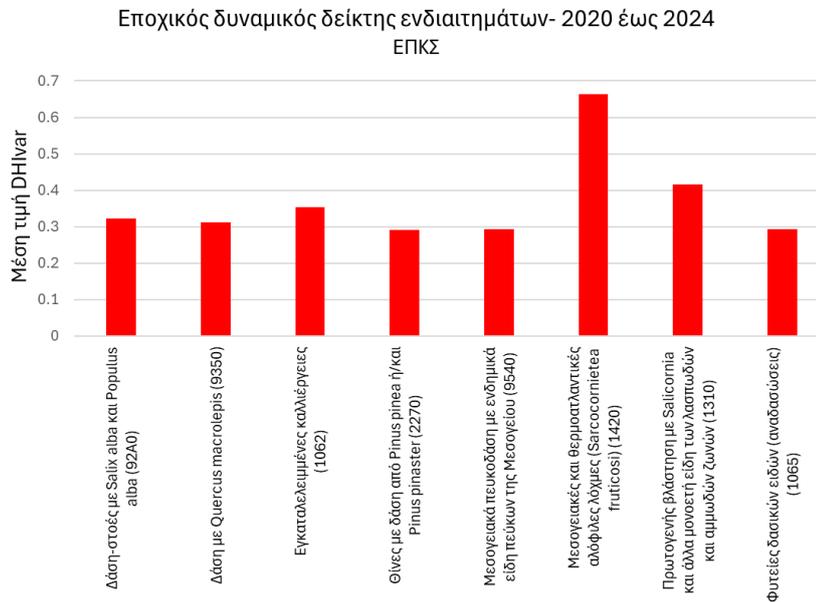


Παρακάτω ακολουθούν διαγράμματα, για τη χρονική περίοδο 2020-2024, με τις μέσες τιμές των δεικτών: Αθροιστικός δυναμικός δείκτης ενδιαιτημάτων (DHI_{cum}), Εποχικός δυναμικός δείκτης ενδιαιτημάτων (DHI_{var}), Ελάχιστος δυναμικός δείκτης ενδιαιτημάτων (DHI_{min}) για οκτώ τύπους οικοτόπων του Εθνικού Πάρκου υγροτόπων Κοτυχίου- Στροφυλιάς. Οι μέσες τιμές κυμαίνονται από 11,726- 34,722, από 0,290- 0,633 και 0,042-0,110 αντίστοιχα. Τη μεγαλύτερη αθροιστική ετήσια παραγωγικότητα παρουσιάζει ο οικοτόπος Θίνες με δάση από *Pinus pinea* ή/και *Pinus pinaster* (2270), ενώ σημαντικά μικρότερη τιμή παρουσιάζει ο οικοτόπος Πρωτογενής βλάστηση με *Salicornia* και άλλα μονοετή είδη των λασπωδών και αμμωδών ζωνών (1310). Τη μεγαλύτερη εποχική ετήσια παραγωγικότητα παρουσιάζει ο οικοτόπος Μεσογειακές και θερμοατλαντικές αλόφιλες λόχμες (*Sarcocornietea fruticosi*) (1420). Τη μεγαλύτερη ελάχιστη ετήσια παραγωγικότητα παρουσιάζει ο οικοτόπος Δάση-στοές με *Salix alba* και *Populus alba* (92A0), ενώ τη μικρότερη ο οικοτόπος Εγκαταλελειμμένες καλλιέργειες (1062) (Εικόνα 40, 41, 42).

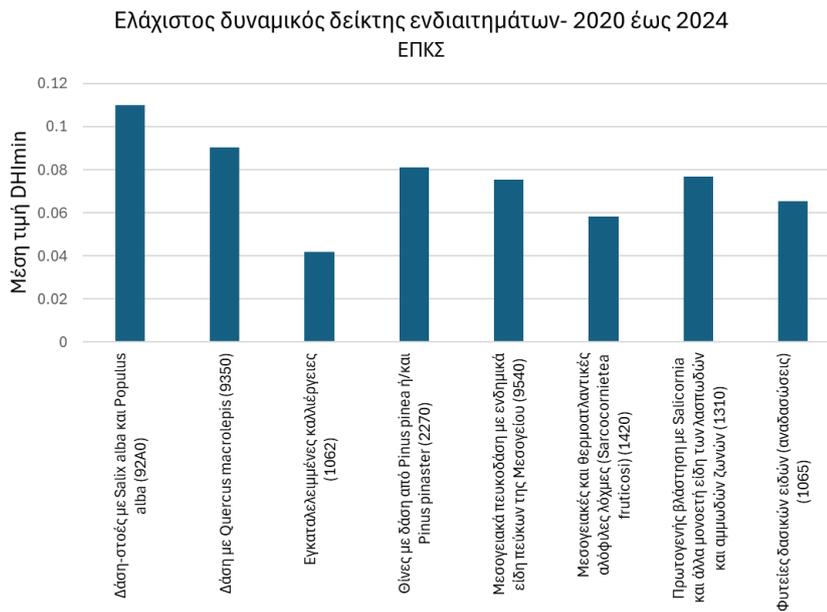
Αθροιστικός δυναμικός δείκτης ενδιαιτημάτων- 2020 έως 2024
ΕΠΚΣ



Εικόνα 40 Αθροιστικός δυναμικός δείκτης ενδιαιτημάτων, κατά τη χρονική περίοδο 2020-2024, για τύπους οικοτόπων στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου-Στροφυλιάς.



Εικόνα 41 Εποχικός δυναμικός δείκτης ενδίατημάτων, κατά τη χρονική περίοδο 2020-2024, για τύπους οικοτόπων στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου-Στροφυλιάς.



Εικόνα 42 Ελάχιστος δυναμικός δείκτης ενδίατημάτων, κατά τη χρονική περίοδο 2020-2024, για τύπους οικοτόπων στο Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Κοτυχίου-Στροφυλιάς.

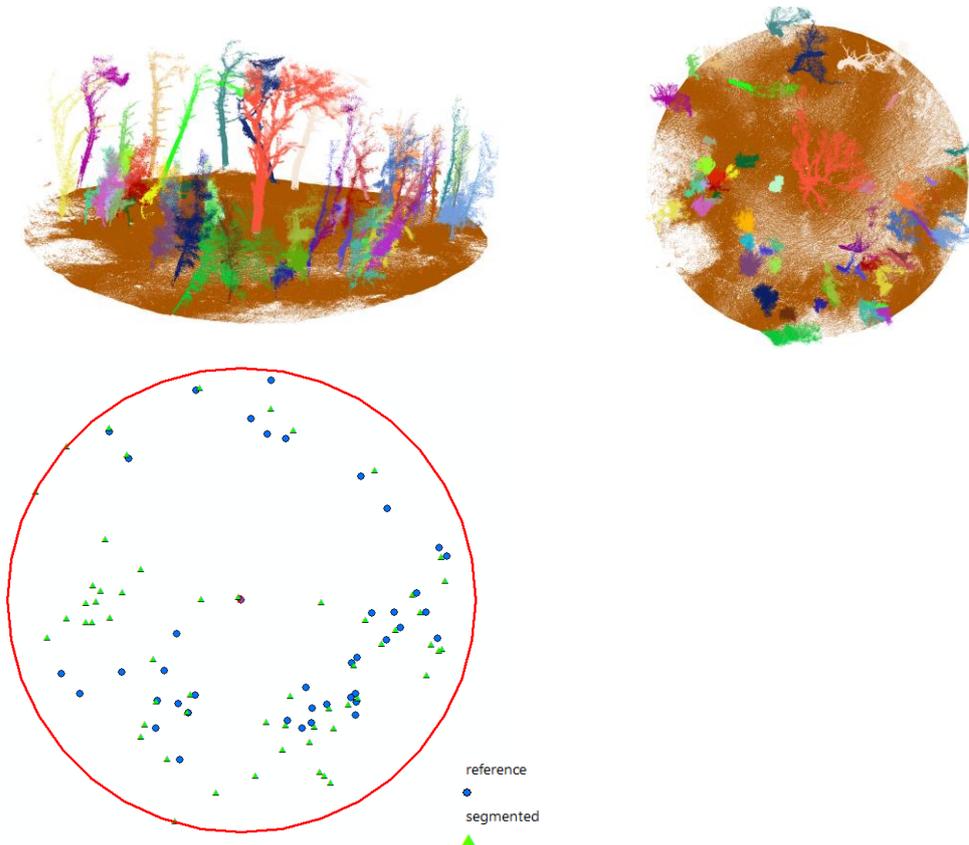
Οι δυναμικοί δείκτες ενδίατημάτων έχουν αποδειχθεί ισχυροί προγνωστικοί δείκτες βιοποικιλότητας, σε εθνικό επίπεδο, σε χώρες όπως ο Καναδάς, οι ΗΠΑ, η Ταϊλάνδη και η Κίνα αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο (Zhu & Guo, 2022).



Παράρτημα Ι: 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις μετρήσεις επίγειων δεδομένων με κλασικές μεθόδους

Δειγματοληπτική επιφάνεια P01

Στην Εικόνα παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Παρατηρείται ότι σε συγκεκριμένα υποτμήματα της δειγματοληπτικής επιφάνειας, οι πραγματικές θέσεις των δένδρων όπως αυτές μετρήθηκαν με την κλασική προσέγγιση στο πεδίο, είναι πιο πυκνά συγκεντρωμένες προς το κάτω και δεξιό τεταρτημόριο, ενώ τα εξαγόμενα δένδρα είναι πιο διάσπαρτα, με μερική συγκέντρωση προς το κάτω δεξιό τεταρτημόριο. Επίσης, παρατηρείται ότι υπάρχουν περιοχές με λιγότερα περισσότερα δένδρα σε σύγκριση με τις «πραγματικές» θέσεις των δένδρων στο αριστερό τεταρτημόριο, χωρίς όμως να υφίστανται στις μετρήσεις πεδίου. Αυτό οφείλετε στο γεγονός ότι είναι μικρά δένδρα με στηθιαία διάμετρο πολύ μικρή (< 7cm), τα οποία δένδρα δεν μετρήθηκαν στο πεδίο.

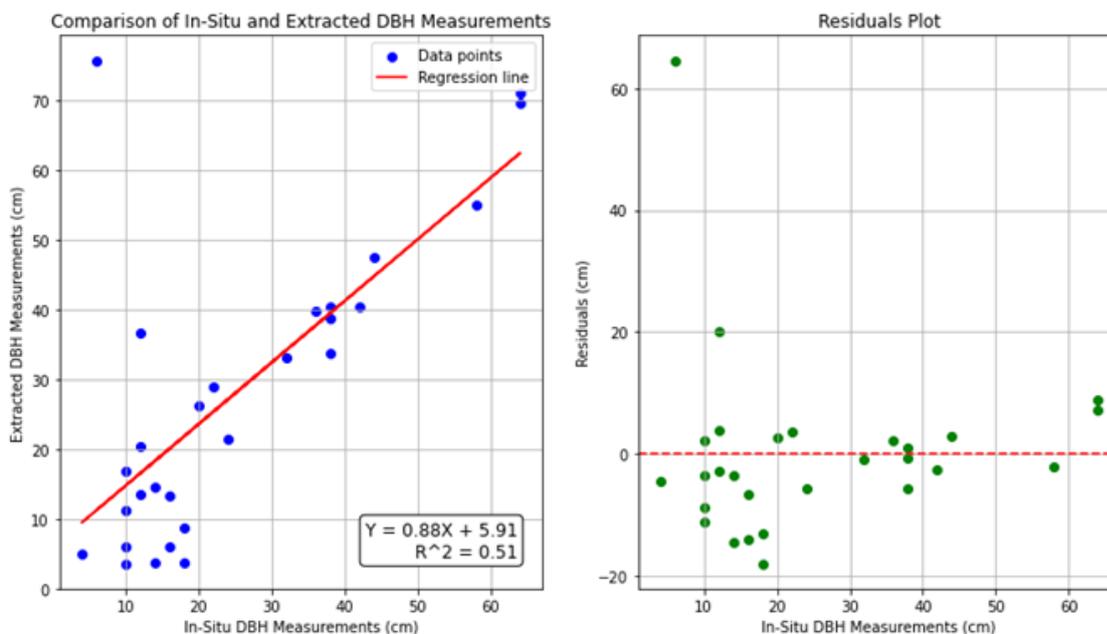


Εικόνα 43: Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης την «πραγματική» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια (P01)



Η Εικόνα 44 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε στο πεδίο με κλασικές μεθόδους) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest (Ενότητα 7.3.3 D B4.3).. Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.51, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 51% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η χαμηλή τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης δεν μπορεί να προβλέψει ικανοποιητικά τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH. Αλλά και η διασπορά των σημείων δεδομένων γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης υποδηλώνει μέτρια συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και αυτών με καινοτόμες μεθόδους μέσω της κατάτμησης του νέφους σημείων. Όπως παρατηρείται στο αριστερό γράφημα υπάρχουν ορισμένα σημεία δεδομένων (δένδρα), τα οποία αποκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή παλινδρόμησης, γεγονός που υποδηλώνει πιθανές ακραίες τιμές η πρόσθετη μεταβλητότητα.

Όσον αφορά το γράφημα των υπολοίπων (residuals), παρατηρείται ότι κατανέμονται τόσο πάνω όσο και κάτω από την κόκκινη γραμμή, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει τόσο θετικά όσο και αρνητικά σφάλματα. Η διασπορά των υπολοίπων εμφανίζεται σχετικά ανομοιόμορφη σε όλο το εύρος των επιτόπιων μετρήσεων, αλλά υπάρχουν αξιοσημείωτες συστάδες υπολοίπων, που υποδεικνύουν περιοχές όπου το μοντέλο υποπροβλέπει σταθερά. Δεν παρουσιάζεται όμως κάποιο πρότυπο που να υποδεικνύει τη μη καταλληλότητα της γραμμικής συσχέτισης που εξετάστηκε.

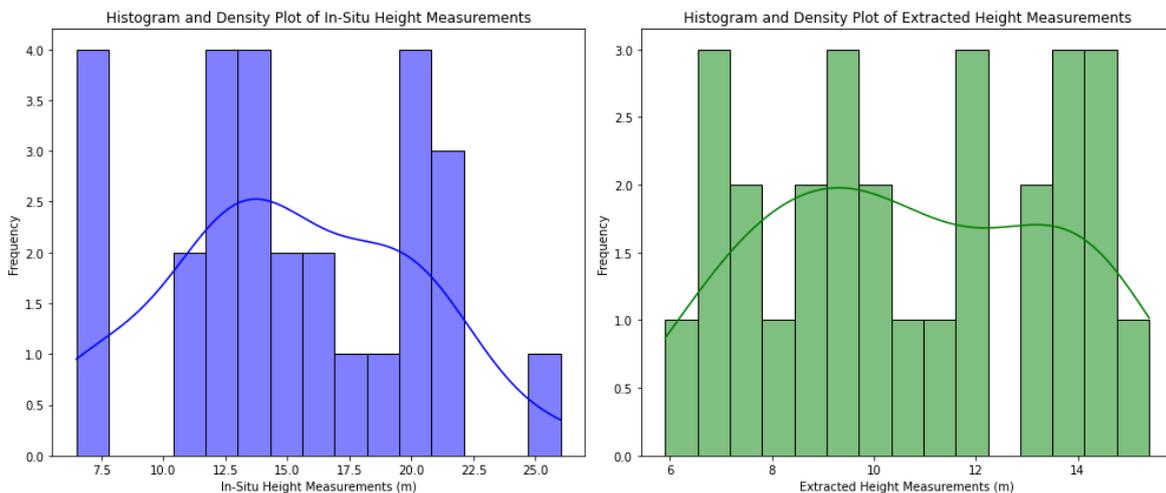


Εικόνα 44: Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για την 2η δειγματοληπτική περιοχή (Επιφάνεια 2-P01): Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των με κλασικές μεθόδους μετρήσεων και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.



Στην Εικόνα 45 παρουσιάζεται το ιστόγραμμα κατανομής του ύψους των δένδρων πεδίου σε συνδυασμό με ένα διάγραμμα πυκνότητας (αριστερή εικόνα), ενώ εμφανίζονται οι αντίστοιχες πληροφορίες για τις εξαγόμενες τιμές ύψους δένδρων (δεξιά εικόνα). Οι επίγειες μετρήσεις ύψους δένδρων παρουσιάζουν ως κορυφές γύρω στα 12.5 και 20 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή μπλε καμπύλη) αναδεικνύει αυτές τις κορυφές, υποδηλώνοντας ότι υπάρχουν δύο κοινές περιοχές ύψους στα δεδομένα. Η διμορφική φύση του διαγράμματος πυκνότητας υποδηλώνει ότι υπάρχουν δύο διακριτές ομάδες ή μοτίβα στις επιτόπιες μετρήσεις.

Οι εξαγόμενες μετρήσεις ύψους παρουσιάζουν κορυφές γύρω στα 7.5, 12.5 και 15 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή πράσινη καμπύλη) δείχνει αυτές τις πολλαπλές κορυφές, υποδηλώνοντας αρκετές κοινές περιοχές ύψους εντός των εξαγόμενων δεδομένων. Συγκριτικά, παρατηρείται ότι οι εξαγόμενες μετρήσεις παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές ύψους δένδρων σε σχέση με τις μετρημένες του πεδίου.

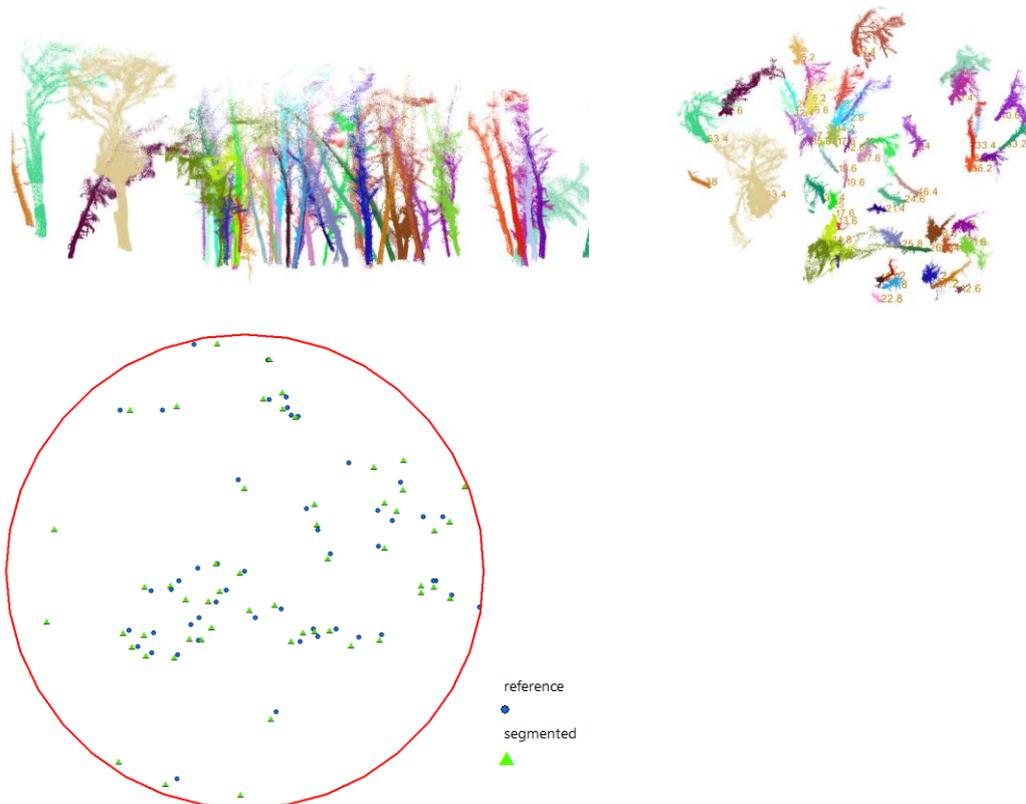


Εικόνα 45: Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων



Δειγματοληπτική επιφάνεια P02

Στην Εικόνα 46 παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Παρατηρείται ότι στο σύνολο των υποτμημάτων της δειγματοληπτικής επιφάνειας, παρουσιάζεται συγκέντρωση (πυκνότητα) εξαγόμενων δένδρων σε σύγκριση με τα στοιχεία αναφοράς από τις κλασικές επίγειες μετρήσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει σχεδόν ορθή εκτίμηση ή ομαδοποίηση δένδρων. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες περιοχές περισσότερα εξαγόμενα δένδρα σε σύγκριση με τις «πραγματικές» θέσεις των δένδρων όπως αυτές μετρήθηκαν με την κλασική προσέγγιση στο πεδίο, υποδεικνύοντας ότι έχουν υπερεκτιμηθεί από την κατάτμηση δένδρα λόγω έντονου φυλλώματος σε γειτονικά δένδρα.

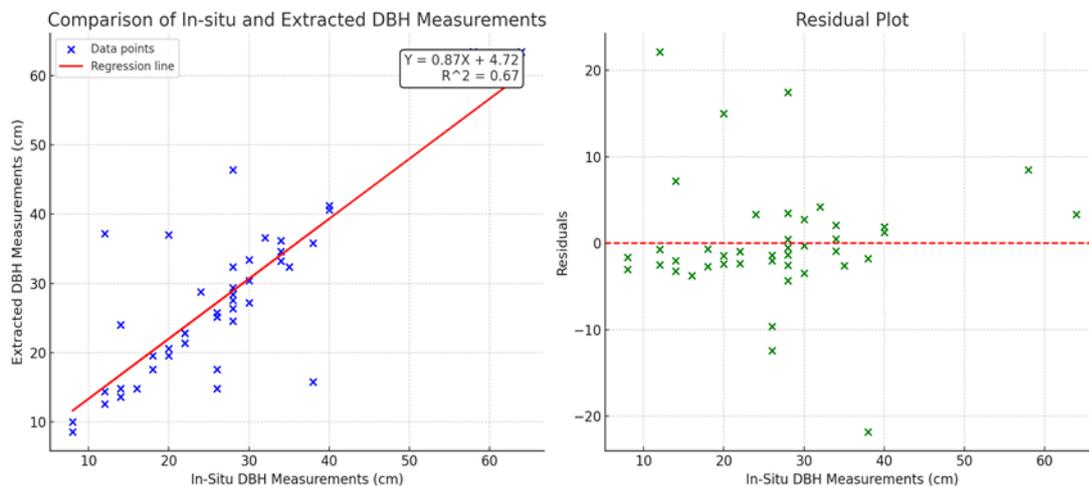


Εικόνα 46 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης την «πραγματική» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια (P02)

Η Εικόνα 47 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε στο πεδίο με κλασικές μεθόδους) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.67, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 67% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η μεσαία



προς υψηλή τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης μπορεί να προβλέψει ικανοποιητικά τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH. Αλλά και η διασπορά των σημείων δεδομένων γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης υποδηλώνει μέτρια συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων πεδίου με κλασικές μεθόδους και αυτών με καινοτόμες μεθόδους μέσω της κατάτμησης του νέφους σημείων. Όπως παρατηρείται στο αριστερό γράφημα υπάρχουν μερικά σημεία δεδομένων (δένδρα), τα οποία αποκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή παλινδρόμησης, γεγονός που υποδηλώνει πιθανές ακραίες τιμές η πρόσθετη μεταβλητότητα. Όσον αφορά το γράφημα των υπολοίπων (residuals), παρατηρείται ότι κατανέμονται τόσο πάνω όσο και κάτω από την κόκκινη γραμμή, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει τόσο θετικά όσο και αρνητικά σφάλματα. Η διασπορά των υπολοίπων εμφανίζεται σχετικά ομοιόμορφη σε όλο το εύρος των επιτόπιων μετρήσεων, αλλά υπάρχουν αξιοσημείωτες συστάδες υπολοίπων, που υποδεικνύουν περιοχές όπου το μοντέλο υπο- ή υπερ-προβλέπει σταθερά. Δεν παρουσιάζεται όμως κάποιο πρότυπο που να υποδεικνύει τη μη καταλληλότητα της γραμμικής συσχέτισης που εξετάστηκε.



Εικόνα 47 Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας σθηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της σθηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για Επιφάνεια ΡΟ2: Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH

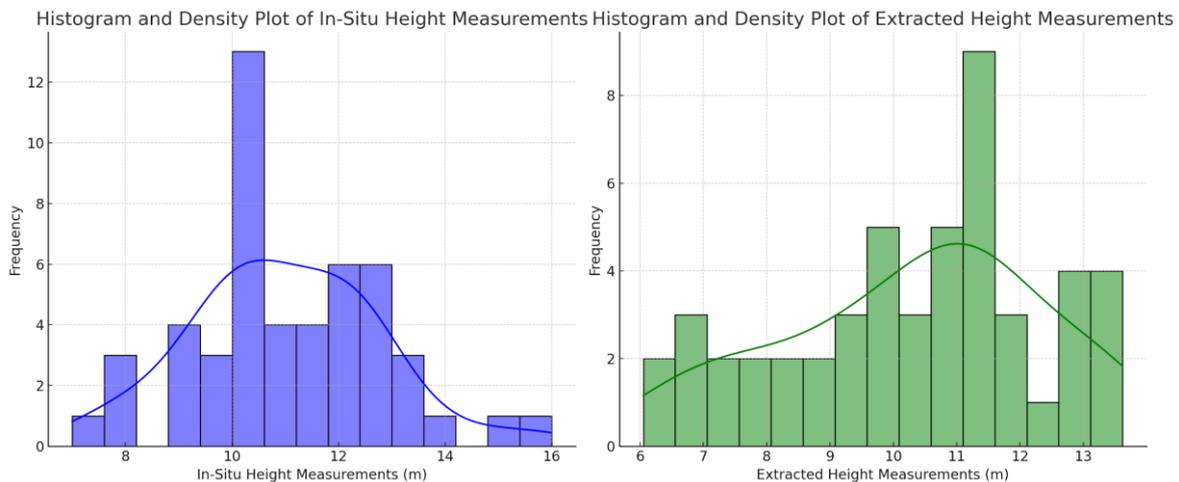
Η Εικόνα 48 παρουσιάζεται το ιστόγραμμα κατανομής του ύψους των δένδρων πεδίου σε συνδυασμό με ένα διάγραμμα πυκνότητας (αριστερή εικόνα), ενώ εμφανίζονται οι αντίστοιχες πληροφορίες για τις εξαγόμενες τιμές ύψους δένδρων (δεξιά εικόνα). Στην αριστερή εικόνα, παρατηρείται ότι τα δεδομένα πεδίου στην πλειονότητά τους συγκεντρώνουν τιμές ύψους μεταξύ 9 και 13 μέτρων, με την υψηλότερη συχνότητα να συναντάται γύρω στα 10 μέτρα. Επίσης, υπάρχουν ορισμένες μετρήσεις που εκτείνονται έως τα 16 μέτρα, αλλά είναι λιγότερο συχνές, ενώ υπάρχει μια τάση προς τις υψηλότερες τιμές με λιγότερες παρατηρήσεις στις ακραίες τιμές. Η καμπύλη πυκνότητας παρουσιάζει κορυφή γύρω στα 10-11 μέτρα, που υποδηλώνει τη μέση τιμή ύψους δένδρων σε αυτή τη συστάδα. Η καμπύλη στενεύει τόσο προς τα χαμηλότερα όσο και προς τα υψηλότερα άκρα, υποδηλώνοντας μια μονοτροπική κατανομή με πιθανή ελαφρά δεξιά κλίση.

Στην δεξιά εικόνα, τα δεδομένα φαίνεται να είναι πιο διασκορπισμένα σε σύγκριση με τις επιτόπιες μετρήσεις. Οι μετρήσεις κυμαίνονται από περίπου 6 έως 13 μέτρα, ενώ την υψηλότερη συχνότητα



την συναντάμε στα 11 μέτρα. Υπάρχουν λιγότερες παρατηρήσεις στα ακραία άκρα, ιδίως γύρω στα 6-7 μέτρα και πάνω από τα 12 μέτρα. Όσον αφορά την καμπύλη πυκνότητας αυτή παρουσιάζει μια κορυφή γύρω στα 11 μέτρα - παρόμοια με το ιστόγραμμα, ενώ υπάρχει μια αξιοσημείωτη πτώση μεταξύ 11 και 12 μέτρων και ακολουθεί μια μικρή άνοδο προς τα 13 μέτρα. Η κατανομή είναι πιο ακανόνιστη σε σύγκριση με τις επιτόπιες μετρήσεις, με πολλαπλές κορυφές και κοιλάδες, υποδεικνύοντας ενδεχομένως μια πολυτροπική κατανομή ή μεγαλύτερη μεταβλητότητα στα δεδομένα.

Από την ανάλυση των παραπάνω δεδομένων προκύπτει ότι η κεντρική τάση των μετρήσεων ύψους είναι παρόμοια. Οι επιτόπιες μετρήσεις εμφανίζονται πιο συγκεντρωμένες με μια σαφή κορυφή, ενώ οι μετρήσεις που εξάγονται είναι πιο διασκορπισμένες με πολλαπλές κορυφές. Επίσης, φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη μεταβλητότητα στις εξαγόμενες μετρήσεις σε σύγκριση με τις μετρήσεις πεδίου, όπως αποδεικνύεται από την εξάπλωση και το σχήμα του διαγράμματος πυκνότητας.

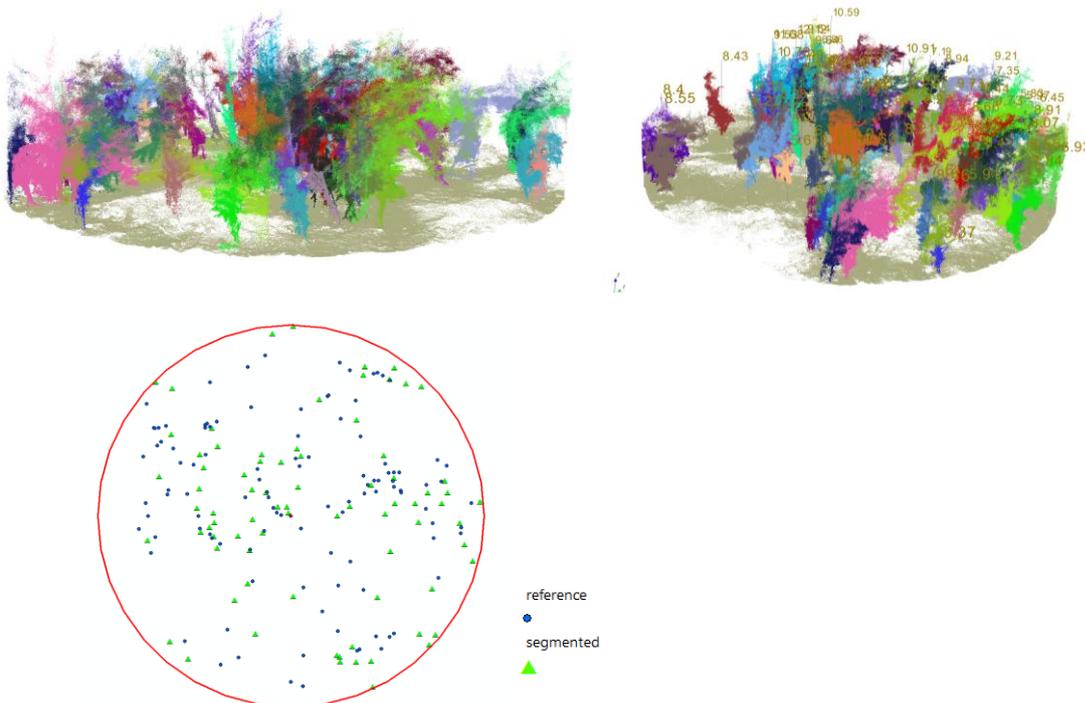


Εικόνα 48 Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων



Δειγματοληπτική επιφάνεια P03

Στην Εικόνα 49 παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Παρατηρείται ότι σε συγκεκριμένα υποτμήματα της δειγματοληπτικής επιφάνειας, παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση (πυκνότητα) εξαγόμενων δένδρων σε σύγκριση με τα στοιχεία αναφοράς από τις κλασικές επίγειες μετρήσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει πιθανή υπερ-εκτίμηση ή ομαδοποίηση δένδρων σε ορισμένες περιοχές. Αντίθετα, υπάρχουν περιοχές με λιγότερα εξαγόμενα δένδρα σε σύγκριση με τις «πραγματικές» θέσεις των δένδρων όπως αυτές μετρήθηκαν με την κλασική προσέγγιση στο πεδίο, υποδεικνύοντας ότι έχουν υποεκτιμηθεί από την κατάτμηση δένδρα λόγω της πυκνότητας του υπορόφου, του χαμηλού ύψους έναρξης της κόμης και της μικρής απόστασης μεταξύ των κορμών των δένδρων. Επίσης, εμφανίζονται μοτίβα ομαδοποίησης των μπλε κουκκίδων (πραγματικές θέσεις) και των πράσινων τριγώνων (εξαγόμενες θέσεις) τα οποία δεν συμπίπτουν απόλυτα, υποδεικνύοντας ότι υπάρχουν πιθανές αποκλίσεις στον τρόπο με τον οποίο τα εξαγόμενα δεδομένα αναπαριστούν τη χωρική κατανομή των δεδομένων αναφοράς.



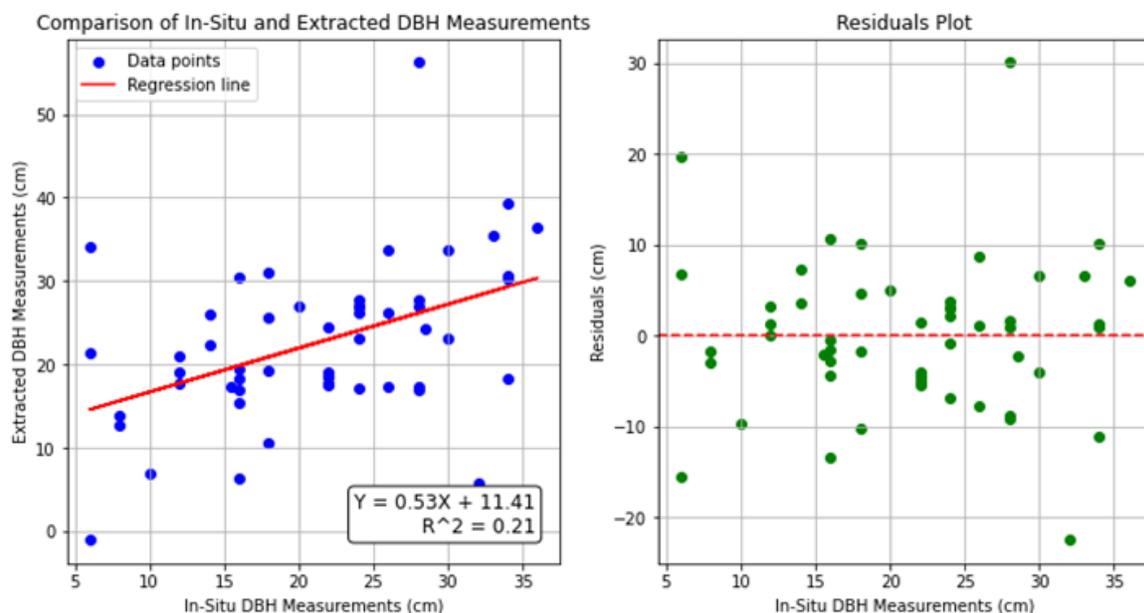
Εικόνα 49 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης την «πραγματική» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια (P03).

Η Εικόνα 50 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της σθηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε με κλασικές μεθόδους στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest (Ενότητα 7.3.3 D B4.3). Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.21, το οποίο



υποδηλώνει ότι περίπου το 21% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η χαμηλή τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης δεν μπορεί να προβλέψει ικανοποιητικά τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH. Αλλά και η διασπορά των σημείων δεδομένων γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης υποδηλώνει μέτρια συσχέτιση μετράζυ των μετρήσεων πεδίου με κλασικές μεθόδους και αυτών με καινοτόμες μεθόδους μέσω της κατάτμησης του νέφους σημείων. Όπως παρατηρείται στο αριστερό γράφημα υπάρχουν ορισμένα σημεία δεδομένων (δένδρα), τα οποία αποκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή παλινδρόμησης, γεγονός που υποδηλώνει πιθανές ακραίες τιμές η πρόσθετη μεταβλητότητα.

Όσον αφορά το γράφημα των υπολοίπων (residuals), παρατηρείται ότι κατανέμονται τόσο πάνω όσο και κάτω από την κόκκινη γραμμή, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει τόσο θετικά όσο και αρνητικά σφάλματα. Η διασπορά των υπολοίπων εμφανίζεται σχετικά ομοιόμορφη σε όλο το εύρος των επιτόπιων μετρήσεων, αλλά υπάρχουν αξιοσημείωτες συστάδες υπολοίπων, που υποδεικνύουν περιοχές όπου το μοντέλο υπο- ή υπερ-προβλέπει σταθερά. Δεν παρουσιάζεται όμως κάποιο πρότυπο που να υποδεικνύει τη μη καταλληλότητα της γραμμικής συσχέτισης που εξετάστηκε.

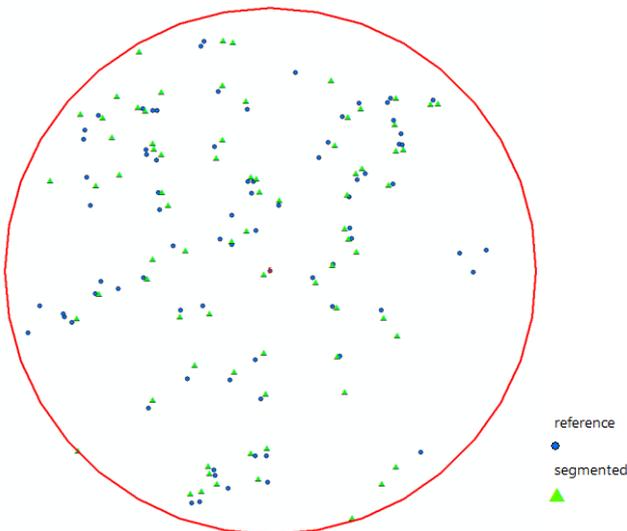
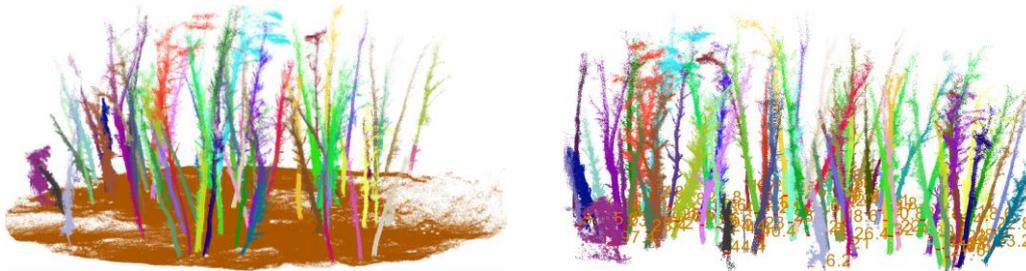


Εικόνα 50 Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για την επιφάνεια P03. Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH..



Δειγματοληπτική επιφάνεια P04

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 51) παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Παρατηρείται ότι σε συγκεκριμένα υποτμήματα της δειγματοληπτικής επιφάνειας, παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση (πυκνότητα) εξαγόμενων δένδρων σε σύγκριση με τα στοιχεία αναφοράς από τις κλασικές επίγειες μετρήσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει πιθανή υπερ-εκτίμηση ή ομαδοποίηση δένδρων σε ορισμένες περιοχές. Αντίθετα, υπάρχουν περιοχές με λιγότερα εξαγόμενα δένδρα σε σύγκριση με τις «πραγματικές» θέσεις των δένδρων όπως αυτές μετρήθηκαν με την κλασική προσέγγιση στο πεδίο, υποδεικνύοντας ότι έχουν υποεκτιμηθεί από την κατάτμηση δένδρα λόγω της πυκνότητας του υπορόφου, του χαμηλού ύψους έναρξης της κόμης και της μικρής απόστασης μεταξύ των κορμών των δένδρων. Επίσης, εμφανίζονται μοτίβα ομαδοποίησης των μπλε κουκκίδων (πραγματικές θέσεις) και των πράσινων τριγώνων (εξαγόμενες θέσεις) τα οποία δεν συμπίπτουν απόλυτα, υποδεικνύοντας ότι υπάρχουν πιθανές αποκλίσεις στον τρόπο με τον οποίο τα εξαγόμενα δεδομένα αναπαριστούν τη χωρική κατανομή των δεδομένων αναφοράς.



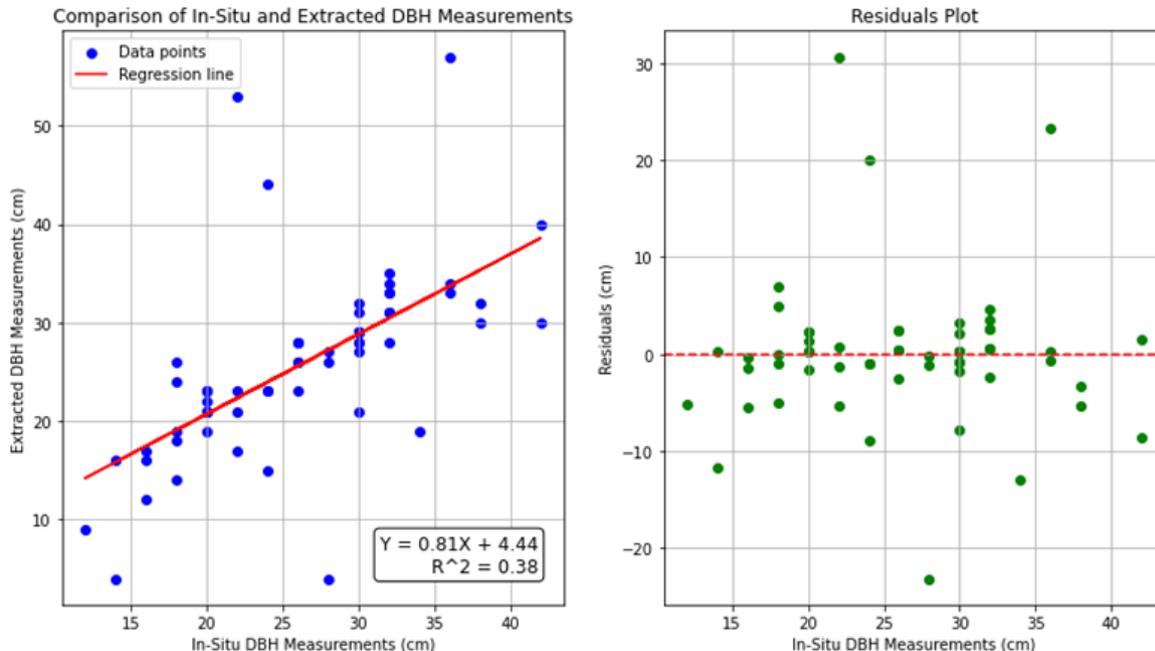
Εικόνα 51: Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης την «πραγματική» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια P04

Η Εικόνα 52 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε με κλασικές μεθόδους στο



πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.38, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 38% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η χαμηλή τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης δεν μπορεί να προβλέψει ικανοποιητικά τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH. Αλλά και η διασπορά των σημείων δεδομένων γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης υποδηλώνει μέτρια συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων πεδίου με κλασικές μεθόδους και αυτών με καινοτόμες μεθόδους μέσω της κατάτμησης του νέφους σημείων. Όπως παρατηρείται στο αριστερό γράφημα υπάρχουν ορισμένα σημεία δεδομένων (δένδρα), τα οποία αποκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή παλινδρόμησης, γεγονός που υποδηλώνει πιθανές ακραίες τιμές η πρόσθετη μεταβλητότητα.

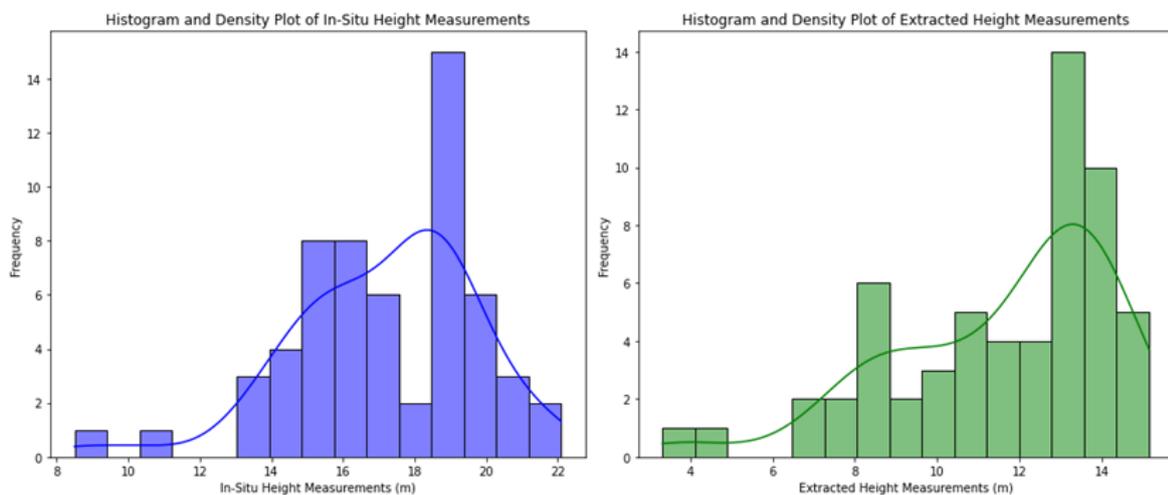
Όσον αφορά το γράφημα των υπολοίπων (residuals), παρατηρείται ότι κατανέμονται τόσο πάνω όσο και κάτω από την κόκκινη γραμμή, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει τόσο θετικά όσο και αρνητικά σφάλματα. Η διασπορά των υπολοίπων εμφανίζεται σχετικά ομοιόμορφη σε όλο το εύρος των επιτόπιων μετρήσεων, αλλά υπάρχουν αξιοσημείωτες συστάδες υπολοίπων, που υποδεικνύουν περιοχές όπου το μοντέλο υπο- ή υπερ-προβλέπει σταθερά. Δεν παρουσιάζεται όμως κάποιο πρότυπο που να υποδεικνύει τη μη καταλληλότητα της γραμμικής συσχέτισης που εξετάστηκε.



Εικόνα 52: Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για την δειγματοληπτική περιοχή P04: Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH



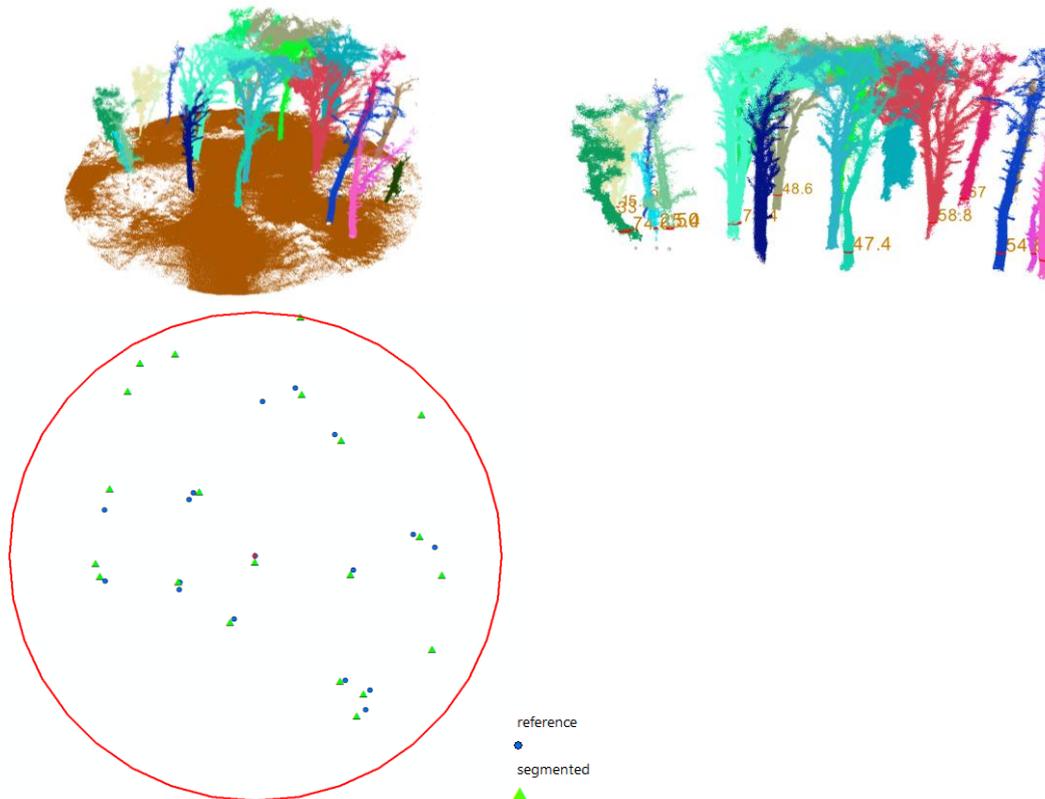
Η Εικόνα 53 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας το ιστόγραμμα κατανομής μεταξύ των μετρήσεων ύψους από τις επίγειες μετρήσεις ύψους και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις ύψους παρουσιάζουν μια σχετικά ομοιόμορφη κατανομή με ελαφρά κλίση προς υψηλότερες τιμές, με κορύφωση γύρω στα 18 μέτρα, υποδεικνύοντας ότι αυτή είναι η πιο συχνή μέτρηση ύψους στα δεδομένα. Το διάγραμμα πυκνότητας επιβεβαιώνει την ένδειξη του ιστογράμματος για μια κύρια κορυφή γύρω στα 18 μέτρα, με δευτερεύουσες κορυφές γύρω στα 14-16 μέτρα. Αντίθετα, οι εξαγόμενες μετρήσεις ύψους παρουσιάζουν μια κορυφή γύρω στα 13-14 μέτρα, υποδεικνύοντας ότι αυτή είναι η πιο κοινή μέτρηση ύψους στα δεδομένα. Υπάρχουν επίσης αξιοσημείωτες συχνότητες γύρω από τα 8-10 μέτρα και τα 12 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας επιβεβαιώνει την ένδειξη του ιστογράμματος



Εικόνα 53: Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων

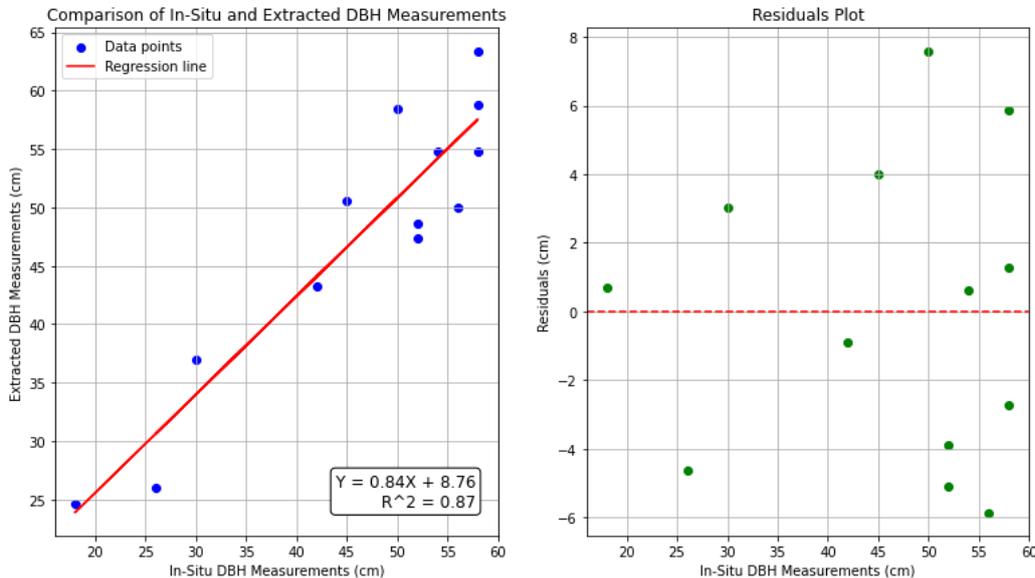
Δειγματοληπτική επιφάνεια P05

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 54) παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Παρατηρείται ότι σε συγκεκριμένα υποτμήματα της δειγματοληπτικής επιφάνειας, παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση (πυκνότητα) εξαγόμενων δένδρων (πχ. βόρειο δυτικό τεταρτημόριο) σε σύγκριση με τα στοιχεία αναφοράς από τις κλασικές επίγειες μετρήσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει πιθανή υπερ-εκτίμηση ή ομαδοποίηση δένδρων σε ορισμένες περιοχές. Αντίθετα, υπάρχουν περιοχές με λιγότερα εξαγόμενα δένδρα σε σύγκριση με τις «πραγματικές» θέσεις των δένδρων όπως αυτές μετρήθηκαν με την κλασική προσέγγιση στο πεδίο.



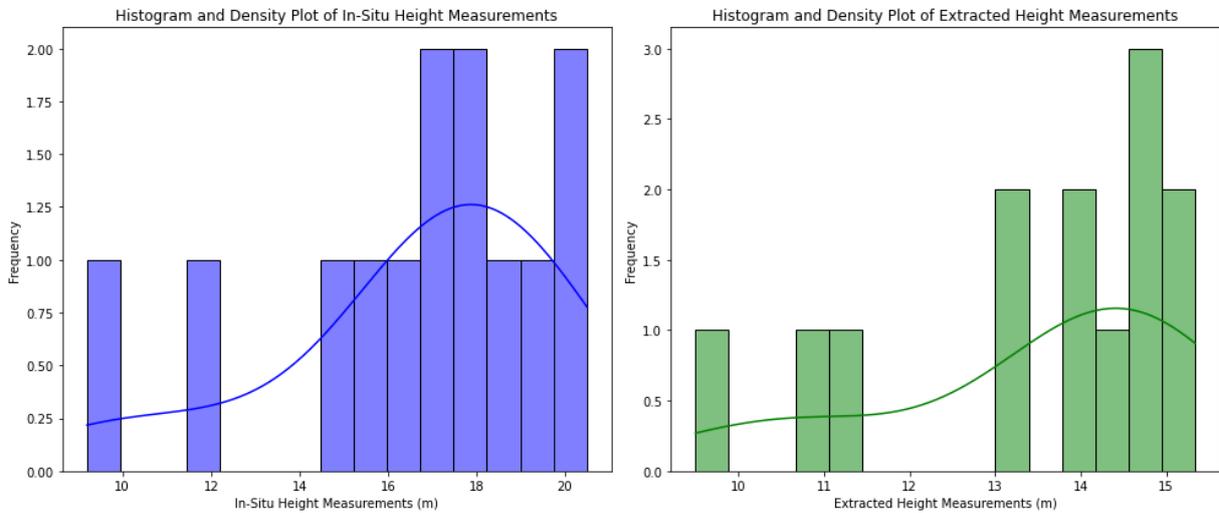
Εικόνα 54 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης την «πραγματική» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια P05

Η Εικόνα 55 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της σθηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε με κλασικές μεθόδους στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.87, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 87% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η υψηλή τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης μπορεί να προβλέψει πολύ ικανοποιητικά τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH.



Εικόνα 55 Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για την επιφάνεια PO5: Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.

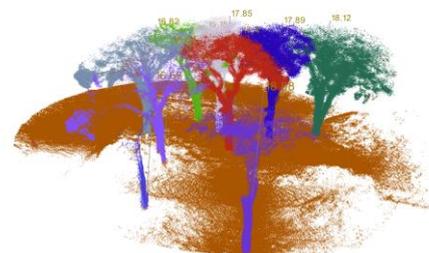
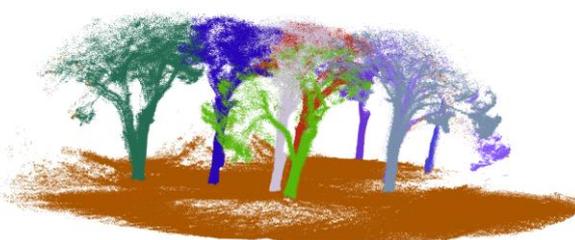
Η Εικόνα 56 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας το ιστόγραμμα κατανομής μεταξύ των μετρήσεων ύψους από τις επίγειες μετρήσεις ύψους και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Συγκεκριμένα, οι επίγειες μετρήσεις ύψους παρουσιάζουν μια σχετικά ομοιόμορφη κατανομή με ελαφρά κλίση προς υψηλότερες τιμές, με κορύφωση γύρω στα 18 με 20 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας δείχνει μια ομαλή καμπύλη με μια αξιοσημείωτη κορυφή σε αυτές τις υψηλότερες μετρήσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι επιτόπιες μετρήσεις είναι πιο συγκεντρωμένες σε αυτό το εύρος. Αντίθετα, οι εξαγόμενες μετρήσεις ύψους παρουσιάζουν μια διπολική κατανομή με κορυφές γύρω στα 11 και 15 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας τονίζει αυτές τις δύο ξεχωριστές κορυφές, υποδεικνύοντας ότι τα εξαγόμενα ύψη καταγράφονται συνήθως σε αυτές τις συγκεκριμένες περιοχές. Αυτό υποδηλώνει μια πιο ποικίλη κατανομή σε σύγκριση με τις επιτόπιες μετρήσεις.

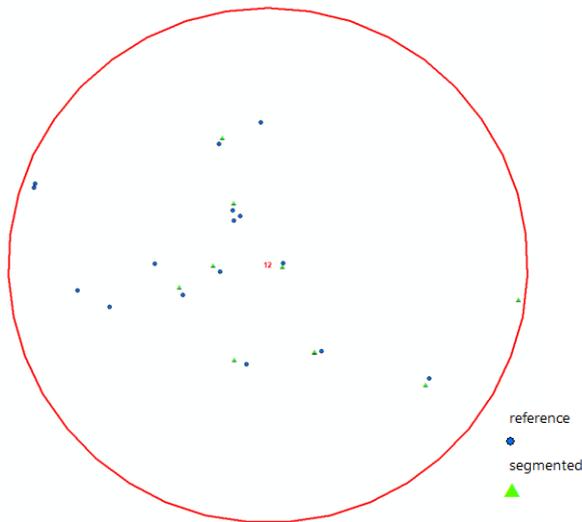


Εικόνα 56 Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων

Δειγματοληπτική επιφάνεια P06

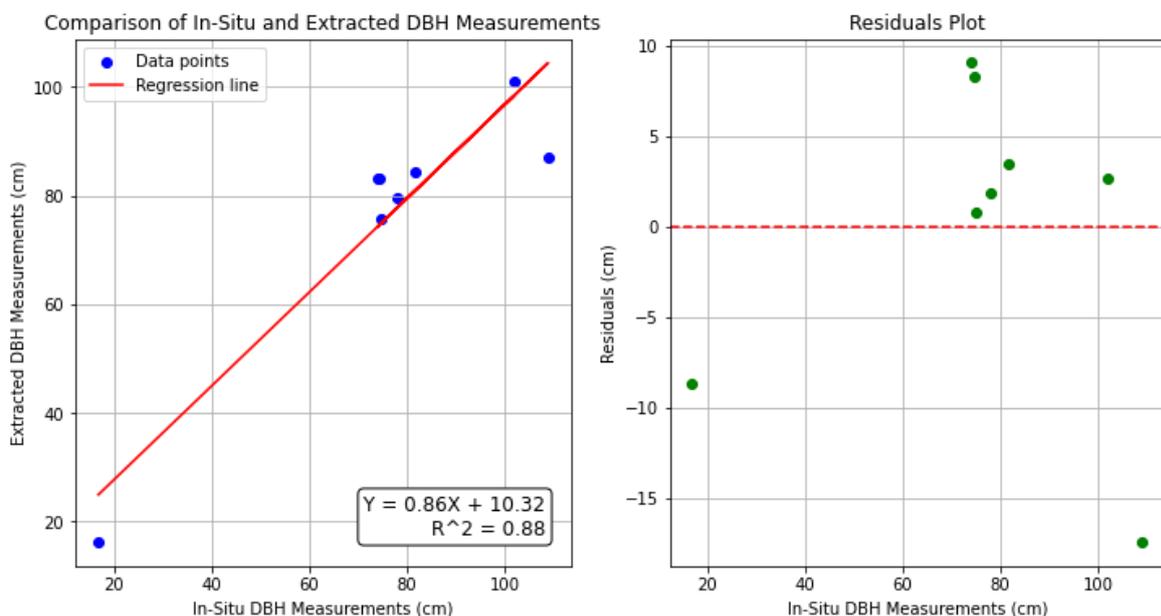
Στην Εικόνα 57 παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Παρατηρείται ότι σε συγκεκριμένα υποτμήματα της δειγματοληπτικής επιφάνειας, παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση (πυκνότητα) εξαγόμενων δένδρων σε σύγκριση με τα στοιχεία αναφοράς από τις κλασικές επίγειες μετρήσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει πιθανή υπερ-εκτίμηση ή ομαδοποίηση δένδρων σε ορισμένες περιοχές. Αντίθετα, υπάρχουν περιοχές με λιγότερα εξαγόμενα δένδρα σε σύγκριση με τις «πραγματικές» θέσεις των δένδρων όπως αυτές μετρήθηκαν με την κλασική προσέγγιση στο πεδίο, υποδεικνύοντας ότι έχουν υποεκτιμηθεί από την κατάτμηση δένδρα λόγω της πυκνότητας του υπορόφου, του χαμηλού ύψους έναρξης της κόμης και της μικρής απόστασης μεταξύ των κορμών των δένδρων.





Εικόνα 57 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης την «πραγματική» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια (P06)

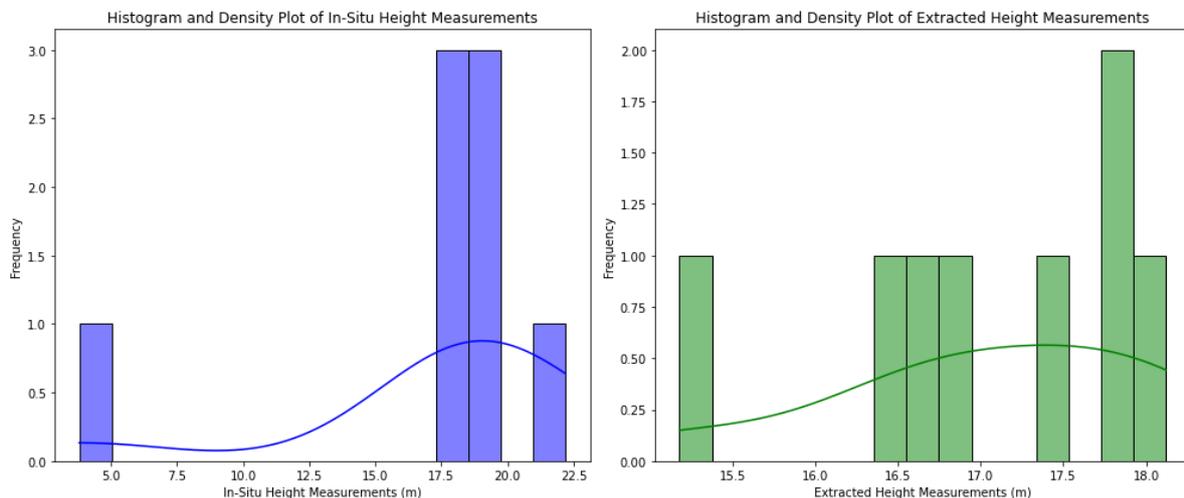
Η παρακάτω εικόνα (Εικόνα 58) περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε με κλασικές μεθόδους στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.88, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 88% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις.





Εικόνα 58 Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για την 6η δειγματοληπτική περιοχή (Επιφάνεια 12-P06): Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.

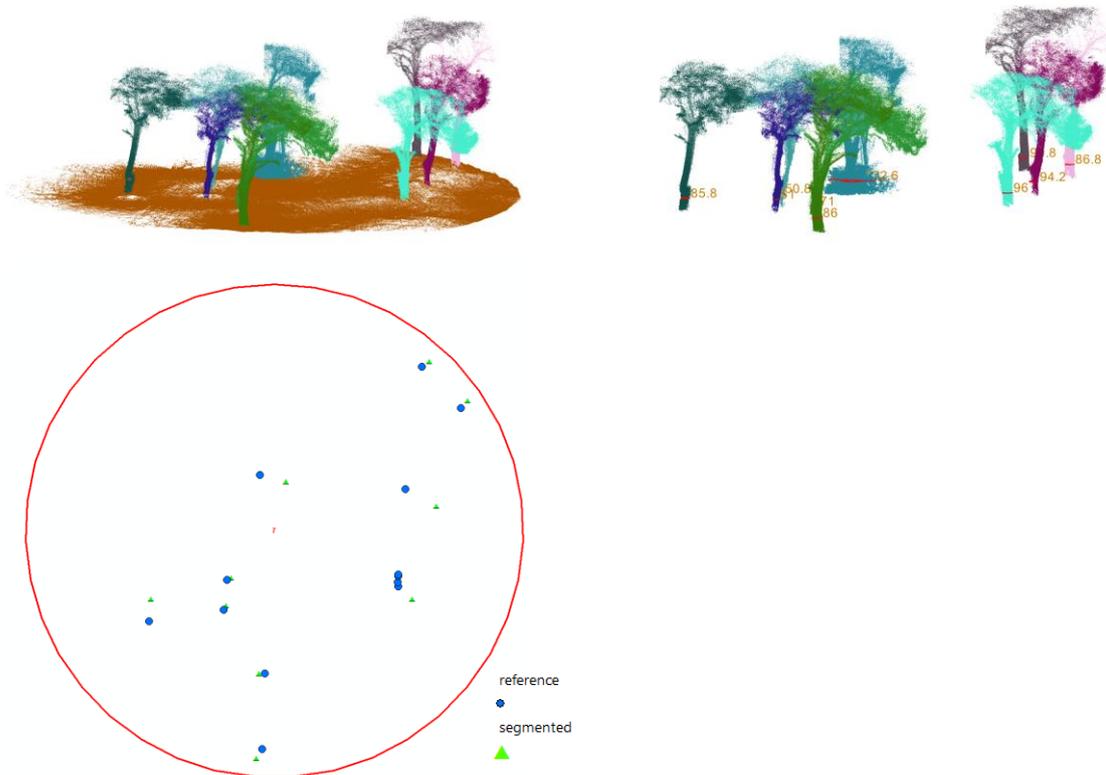
Η παρακάτω εικόνα (Εικόνα 59) περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας το ιστόγραμμα κατανομής μεταξύ των μετρήσεων ύψους από τις επίγειες μετρήσεις ύψους και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Συγκεκριμένα, στην αριστερή εικόνα, παρατηρείται ότι τα δεδομένα πεδίου παρουσιάζουν δύο κορυφές, γύρω στα 17.5 και 20 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή μπλε καμπύλη) αναδεικνύει αυτές τις κορυφές, υποδηλώνοντας ότι υπάρχουν δύο κοινές περιοχές ύψους στα δεδομένα in-situ, ενώ υπάρχει αρκετή διασπορά στις επιτόπιες μετρήσεις ύψους, η οποία κυμαίνεται από περίπου 17.5 μέτρα. Στην δεξιά εικόνα, παρατηρείται ότι η κατανομή των εξαγόμενων μετρήσεων ύψους είναι ελαφρώς λοξή προς τα δεξιά, με μια αξιοσημείωτη κορυφή γύρω στα 18 μέτρα.



Εικόνα 59 Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων

Δειγματοληπτική επιφάνεια P07

Στην Εικόνα 60 παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Οι θέσεις των δένδρων πεδίου (μπλε κύκλοι) παρουσιάζουν παρόμοια χωρική κατανομή με μικρές διαφοροποιήσεις σε σχέση με τις αντίστοιχες θέσεις των εξαγόμενων δένδρων (πράσινα τρίγωνα). Εμφανίζονται μοτίβα ομαδοποίησης των μπλε κουκκίδων (πραγματικές θέσεις) και των πράσινων τριγώνων (εξαγόμενες θέσεις) τα οποία δεν συμπίπτουν απόλυτα, υποδεικνύοντας ότι υπάρχουν πιθανές αποκλίσεις στον τρόπο με τον οποίο τα εξαγόμενα δεδομένα αναπαριστούν τη χωρική κατανομή των δεδομένων αναφοράς.



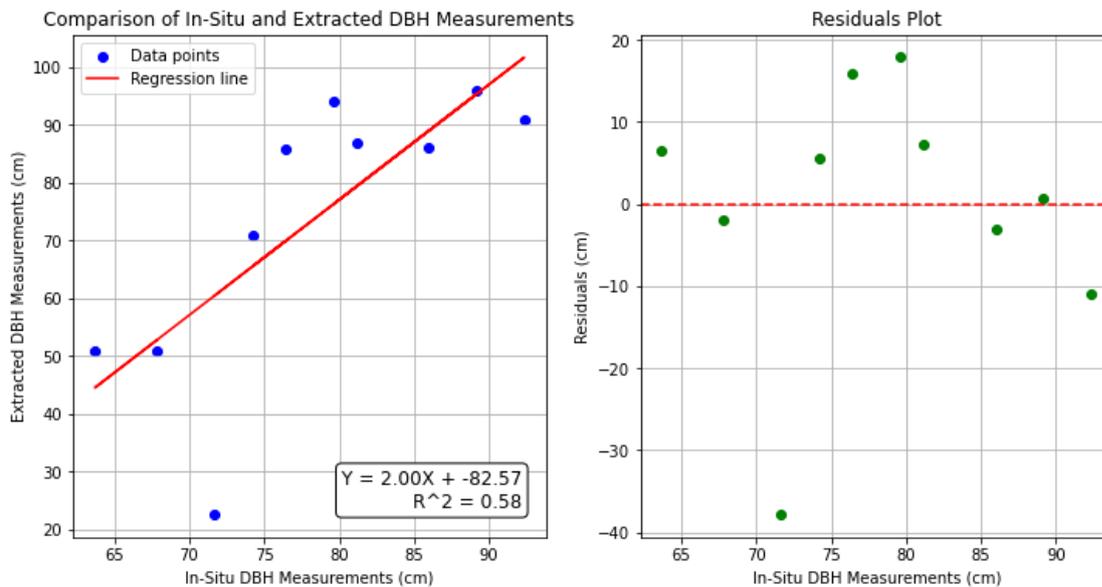
Εικόνα 60 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης την «πραγματική» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια P07

Η Εικόνα 61 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της σθηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε με κλασικές μεθόδους στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.58, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 58% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η χαμηλή τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης μπορεί να προβλέψει μερικώς τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH. Αλλά και η διασπορά των σημείων δεδομένων γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης υποδηλώνει μέτρια συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων πεδίου με κλασικές μεθόδους και αυτών με καινοτόμες μεθόδους μέσω της κατάτμησης του νέφους σημείων. Όπως παρατηρείται στο αριστερό γράφημα υπάρχουν ορισμένα σημεία δεδομένων (δένδρα), τα οποία αποκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή παλινδρόμησης, γεγονός που υποδηλώνει πιθανές ακραίες τιμές η πρόσθετη μεταβλητότητα.

Όσον αφορά το γράφημα των υπολοίπων (residuals), παρατηρείται ότι κατανέμονται τόσο πάνω όσο και κάτω από την κόκκινη γραμμή, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει τόσο θετικά όσο και αρνητικά

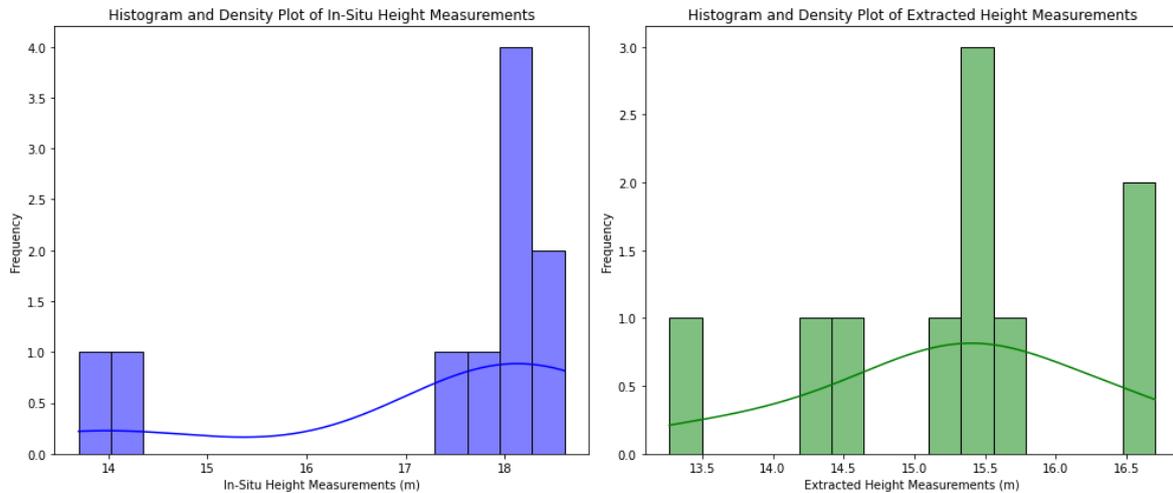


σφάλματα. Η διασπορά των υπολοίπων εμφανίζεται σχετικά ομοιόμορφη σε όλο το εύρος των επιτόπιων μετρήσεων, αλλά υπάρχουν αξιοσημείωτες συστάδες υπολοίπων, που υποδεικνύουν περιοχές όπου το μοντέλο υπο- ή υπερ-προβλέπει σταθερά. Δεν παρουσιάζεται όμως κάποιο πρότυπο που να υποδεικνύει τη μη καταλληλότητα της γραμμικής συσχέτισης που εξετάστηκε.



Εικόνα 61: Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για Επιφάνεια 7A-P07: Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.

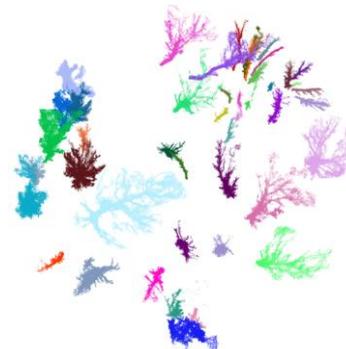
Η Εικόνα 62 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας το ιστόγραμμα κατανομής μεταξύ των μετρήσεων ύψους από τις επίγειες μετρήσεις ύψους και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Συγκεκριμένα, στην αριστερή εικόνα, παρατηρείται ότι οι επίγειες μετρήσεις ύψους παρουσιάζουν μια δεξιά κεκλιμένη κατανομή με μια σημαντική κορυφή γύρω στα 18 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή μπλε καμπύλη) αναδεικνύει αυτή την κορυφή, υποδεικνύοντας ότι οι πιο συχνές επιτόπιες μετρήσεις ύψους είναι γύρω στα 18 μέτρα. Στην δεξιά εικόνα, παρατηρείται ότι οι εξαγόμενες μετρήσεις ύψους παρουσιάζουν μια διμορφική κατανομή με αξιοσημείωτες κορυφές γύρω στα 15 και 16.5 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή πράσινη καμπύλη) υποδεικνύει αυτές τις κορυφές, υποδηλώνοντας ότι υπάρχουν δύο κοινές περιοχές ύψους εντός των εξαγόμενων δεδομένων. Οι ευδιάκριτες διαφορές στα σχήματα της κατανομής και στις κεντρικές τάσεις ενδέχεται να υποδηλώνουν αποκλίσεις μετρήσεων μεταξύ των επιτόπου και των εξαγόμενων μεθόδων

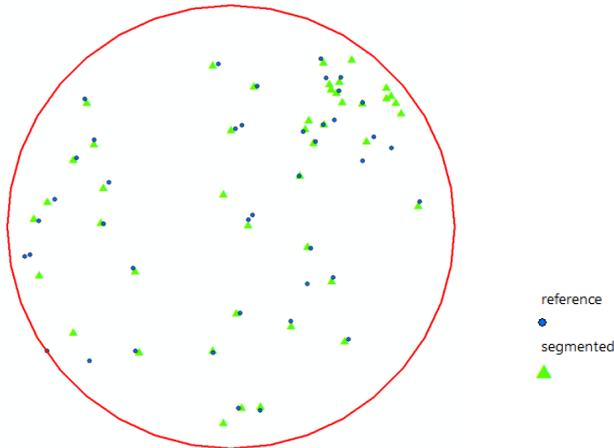


Εικόνα 62: Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην Επιφάνεια P07 σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων

Δειγματοληπτική επιφάνεια P08

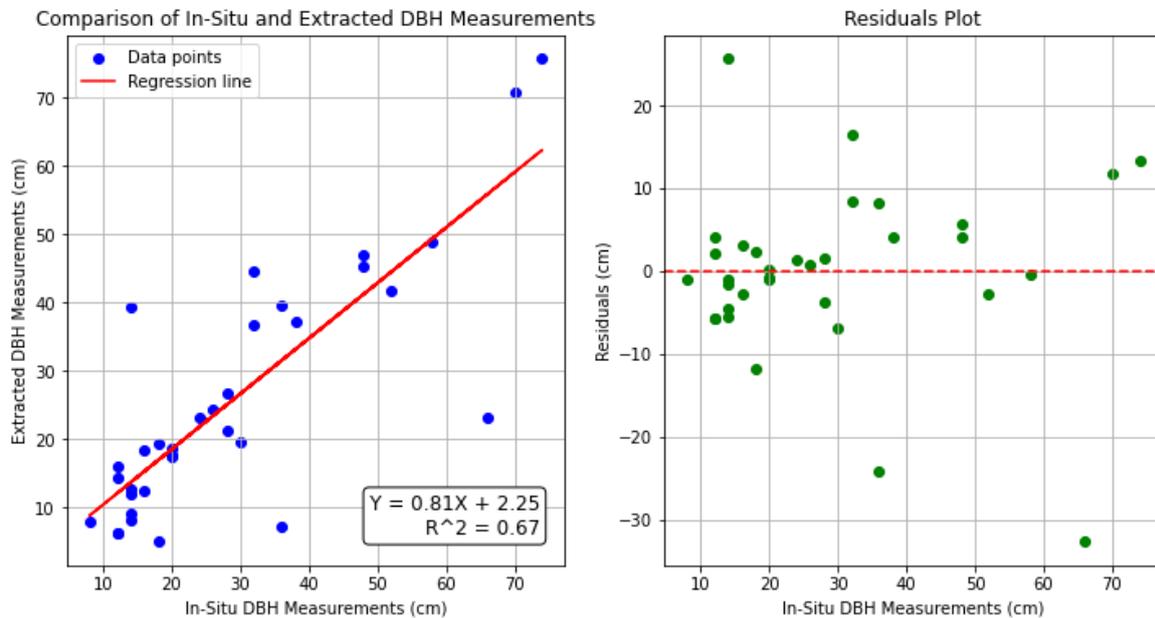
Στην Εικόνα 63 παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Παρατηρείται ότι σε συγκεκριμένα υποτμήματα της δειγματοληπτικής επιφάνειας, παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση (πυκνότητα) εξαγόμενων δένδρων σε σύγκριση με τα στοιχεία αναφοράς από τις κλασικές επίγειες μετρήσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει πιθανή υπερ-εκτίμηση ή ομαδοποίηση δένδρων σε ορισμένες περιοχές. Αντίθετα, υπάρχουν περιοχές με λιγότερα εξαγόμενα δένδρα σε σύγκριση με τις «πραγματικές» θέσεις των δένδρων όπως αυτές μετρήθηκαν με την κλασική προσέγγιση στο πεδίο, υποδεικνύοντας ότι έχουν υποεκτιμηθεί από την κατάτμηση δένδρα λόγω της πυκνότητας του υπορόφου, του χαμηλού ύψους έναρξης της κόμης και της μικρής απόστασης μεταξύ των κορμών των δένδρων. Επίσης, εμφανίζονται μοτίβα ομαδοποίησης των μπλε κουκκίδων (πραγματικές θέσεις) και των πράσινων τριγώνων (εξαγόμενες θέσεις) τα οποία δεν συμπίπτουν απόλυτα, υποδεικνύοντας ότι υπάρχουν πιθανές αποκλίσεις στον τρόπο με τον οποίο τα εξαγόμενα δεδομένα αναπαριστούν τη χωρική κατανομή των δεδομένων αναφοράς.





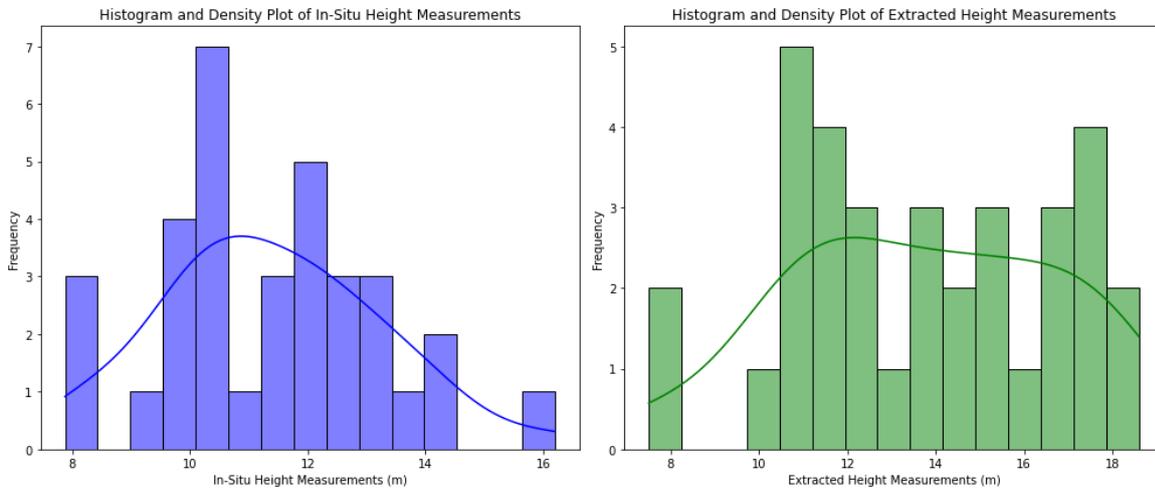
Εικόνα 63: Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης την «πραγματική» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια P08

Η Εικόνα 64 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε με κλασικές μεθόδους στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.67, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 67% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η μέτρια τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης δεν μπορεί να προβλέψει ικανοποιητικά τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH. Αλλά και η διασπορά των σημείων δεδομένων γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης υποδηλώνει μέτρια συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων πεδίου με κλασικές μεθόδους και αυτών με καινοτόμες μεθόδους μέσω της κατάτμησης του νέφους σημείων. Όπως παρατηρείται στο αριστερό γράφημα υπάρχουν ορισμένα σημεία δεδομένων (δένδρα), τα οποία αποκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή παλινδρόμησης, γεγονός που υποδηλώνει πιθανές ακραίες τιμές ή πρόσθετη μεταβλητότητα. Όσον αφορά το γράφημα των υπολοίπων (residuals), παρατηρείται ότι κατανομονται τόσο πάνω όσο και κάτω από την κόκκινη γραμμή, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει τόσο θετικά όσο και αρνητικά σφάλματα. Δεν παρουσιάζεται όμως κάποιο πρότυπο που να υποδεικνύει τη μη καταλληλότητα της γραμμικής συσχέτισης που εξετάστηκε.



Εικόνα 64: Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για τη δειγματοληπτική περιοχή P08. Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.

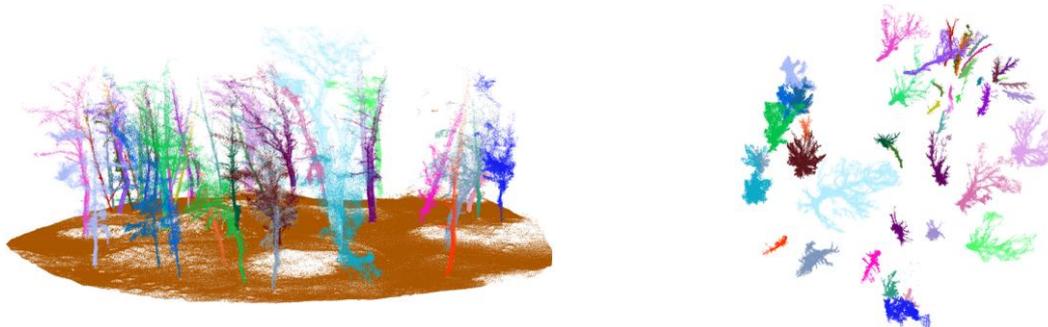
Η Εικόνα 65 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας το ιστόγραμμα κατανομής μεταξύ των μετρήσεων ύψους από τις επίγειες μετρήσεις ύψους και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Συγκεκριμένα, στην αριστερή εικόνα, παρατηρείται ότι τα δεδομένα πεδίου παρουσιάζουν δύο κορυφές, γύρω στα 10 και 14 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή μπλε καμπύλη) αναδεικνύει αυτές τις κορυφές, υποδηλώνοντας ότι υπάρχουν δύο κοινές περιοχές ύψους στα δεδομένα in-situ, ενώ υπάρχει αρκετή διασπορά στις επιτόπιες μετρήσεις ύψους, η οποία κυμαίνεται από περίπου 8 έως 16 μέτρα. Στην δεξιά εικόνα, παρατηρείται ότι η κατανομή των εξαγόμενων μετρήσεων ύψους είναι ελαφρώς λοξή προς τα δεξιά, με μια αξιοσημείωτη κορυφή γύρω στα 12 μέτρα. Επίσης, το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή πράσινη καμπύλη) υποδεικνύει μια πρωταρχική κορυφή γύρω στα 12 μέτρα, με σταδιακή μείωση προς υψηλότερες μετρήσεις. Το ιστόγραμμα δείχνει ότι τα εξαγόμενα ύψη γύρω στα 12 μέτρα είναι τα πιο συχνά, ακολουθούμενα από μια μικρότερη κορυφή γύρω στα 18 μέτρα. Συγκριτικά, παρατηρείται ότι τόσο οι επί τόπου όσο και οι εξαγόμενες μετρήσεις ύψους παρουσιάζουν μεταβλητότητα σε παρόμοιο εύρος (περίπου 8 έως 19 μέτρα). Και οι δύο κατανομές έχουν κεντρικές κορυφές, αν και τα επί τόπου δεδομένα παρουσιάζουν μια πιο έντονη διπολική κατανομή, ενώ τα εξαγόμενα δεδομένα παρουσιάζουν μια ενιαία κύρια κορυφή. Οι διαφορές στα σχήματα της κατανομής και στις κεντρικές τάσεις υποδηλώνουν αποκλίσεις μετρήσεων μεταξύ των μεθόδων in-situ και ταξινομημένων δένδρων.

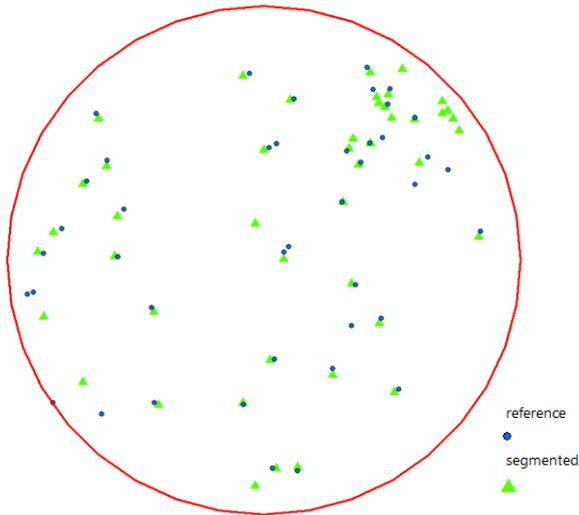


Εικόνα 65: Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια – περιοχή κοντά κεντρικό - σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων

Δειγματοληπτική επιφάνεια P09

Στην παρακάτω Εικόνα 66 παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Παρατηρείται ότι σε ορισμένα υποτμήματα της δειγματοληπτικής επιφάνειας, παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση (πυκνότητα) εξαγόμενων δένδρων σε σύγκριση με τα στοιχεία αναφοράς από τις κλασικές επίγειες μετρήσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει πιθανή υπερ-εκτίμηση ή ομαδοποίηση δένδρων σε ορισμένες περιοχές. Αντίθετα, υπάρχουν περιοχές με λιγότερα εξαγόμενα δένδρα σε σύγκριση με τις «πραγματικές» θέσεις των δένδρων όπως αυτές μετρήθηκαν με την κλασική προσέγγιση στο πεδίο, υποδεικνύοντας ότι έχουν υποεκτιμηθεί από την κατάτμηση δένδρα λόγω της πυκνότητας του υπορόφου, του χαμηλού ύψους έναρξης της κόμης και της μικρής απόστασης μεταξύ των κορμών των δένδρων. Επίσης, εμφανίζονται μοτίβα ομαδοποίησης των μπλε κουκκίδων (πραγματικές θέσεις) και των πράσινων τριγώνων (εξαγόμενες θέσεις) τα οποία δεν συμπίπτουν απόλυτα, υποδεικνύοντας ότι υπάρχουν πιθανές αποκλίσεις στον τρόπο με τον οποίο τα εξαγόμενα δεδομένα αναπαριστούν τη χωρική κατανομή των δεδομένων αναφοράς.

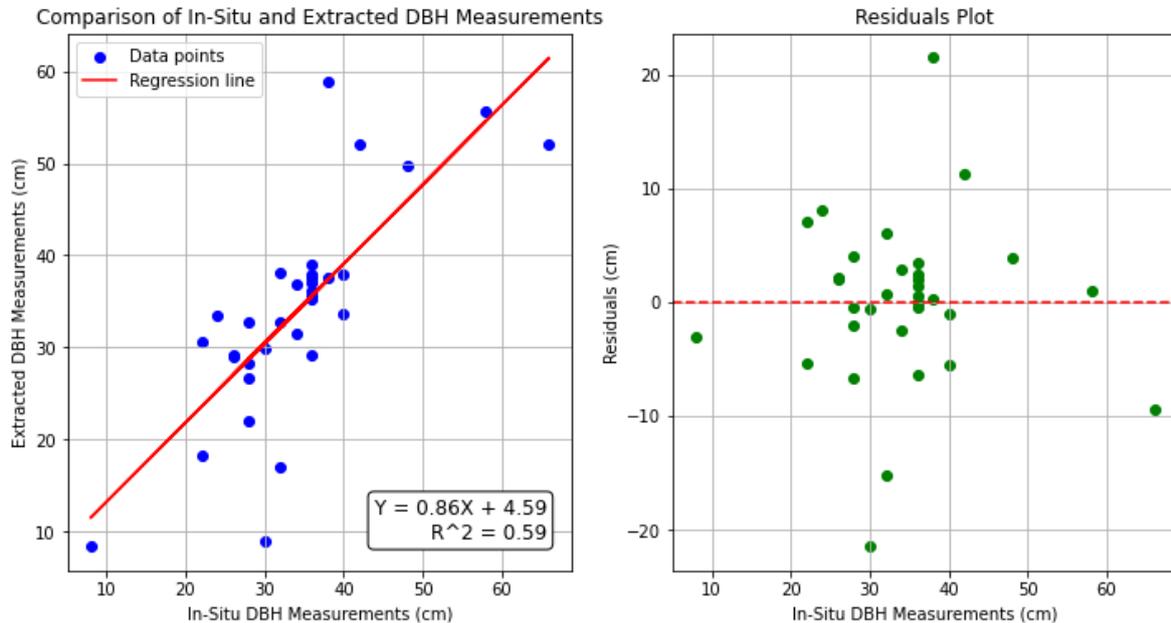




Εικόνα 66 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης με την «πραγματική (reference)» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια P09

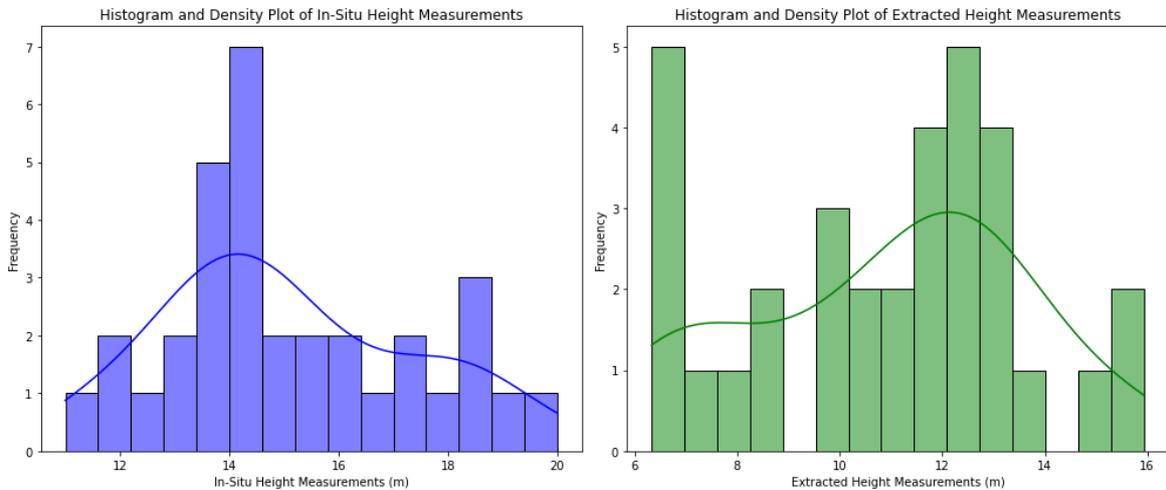
Η Εικόνα 67 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε με κλασικές μεθόδους στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.59, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 59% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η χαμηλή τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης δεν μπορεί να προβλέψει ικανοποιητικά τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH. Αλλά και η διασπορά των σημείων δεδομένων γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης υποδηλώνει μέτρια συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων πεδίου με κλασικές μεθόδους και αυτών με καινοτόμες μεθόδους μέσω της κατάτμησης του νέφους σημείων. Όπως παρατηρείται στο αριστερό γράφημα υπάρχουν ορισμένα σημεία δεδομένων (δένδρα), τα οποία αποκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή παλινδρόμησης, γεγονός που υποδηλώνει πιθανές ακραίες τιμές ή πρόσθετη μεταβλητότητα.

Όσον αφορά το γράφημα των υπολοίπων (residuals), παρατηρείται ότι κατανέμονται τόσο πάνω όσο και κάτω από την κόκκινη γραμμή, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει τόσο θετικά όσο και αρνητικά σφάλματα. Η διασπορά των υπολοίπων εμφανίζεται σχετικά ομοιόμορφη σε όλο το εύρος των επιτόπιων μετρήσεων, αλλά υπάρχουν αξιοσημείωτες συστάδες υπολοίπων, που υποδεικνύουν περιοχές όπου το μοντέλο υπο- ή υπερ-προβλέπει σταθερά. Δεν παρουσιάζεται όμως κάποιο πρότυπο που να υποδεικνύει τη μη καταλληλότητα της γραμμικής συσχέτισης που εξετάστηκε.



Εικόνα 67 Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για την Επιφάνεια ΡΟ). Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH

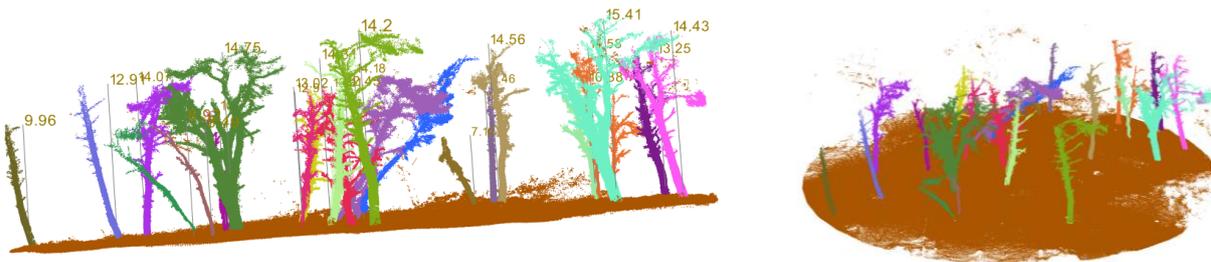
Η παραπάνω Εικόνα 68 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας το ιστόγραμμα κατανομής μεταξύ των μετρήσεων ύψους από τις επίγειες μετρήσεις ύψους και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Συγκεκριμένα, στην αριστερή εικόνα, παρατηρείται ότι οι επίγειες μετρήσεις ύψους παρουσιάζουν μια ελαφρώς δεξιά κεκλιμένη κατανομή με κορυφή γύρω στα 14 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή μπλε καμπύλη) υποδεικνύει μια μοναδική εξέχουσα κορυφή, η οποία υποδηλώνει ότι η πιο κοινή επιτόπια μέτρηση ύψους είναι γύρω στα 14 μέτρα. Υπάρχουν αρκετές μετρήσεις γύρω στα 12 μέτρα και μια άλλη μικρότερη κορυφή γύρω στα 18 μέτρα. Στην δεξιά εικόνα, τα δεδομένα φαίνεται να παρουσιάζουν μια κάπως διμορφική κατανομή με κορυφές γύρω στα 12 και 14 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή πράσινη καμπύλη) υποδηλώνει πολλαπλές κορυφές, υποδεικνύοντας ότι υπάρχουν δύο κοινές περιοχές ύψους εντός των εξαγόμενων δεδομένων. Το ιστόγραμμα δείχνει δύο σημαντικές κορυφές στα εξαγόμενα ύψη γύρω στα 12 μέτρα και 14 μέτρα. Αυτή η διμορφική κατανομή υποδηλώνει ότι υπάρχουν δύο επικρατούσες περιοχές ύψους για τις εξαγόμενες μετρήσεις. Τόσο οι επιτόπιες όσο και οι εξαγόμενες μετρήσεις ύψους έχουν κεντρικές κορυφές, αλλά τα επιτόπια δεδομένα έχουν μια μοναδική κυρίαρχη κορυφή, ενώ τα εξαγόμενα δεδομένα παρουσιάζουν μια διμορφική κατανομή.

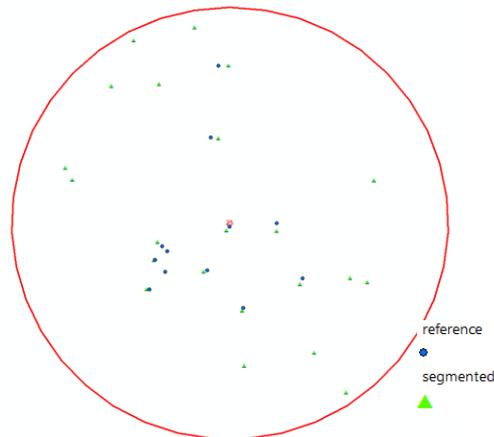


Εικόνα 68 Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια – περιοχή κοντά θάλασσα - σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων

Δειγματοληπτική επιφάνεια P10

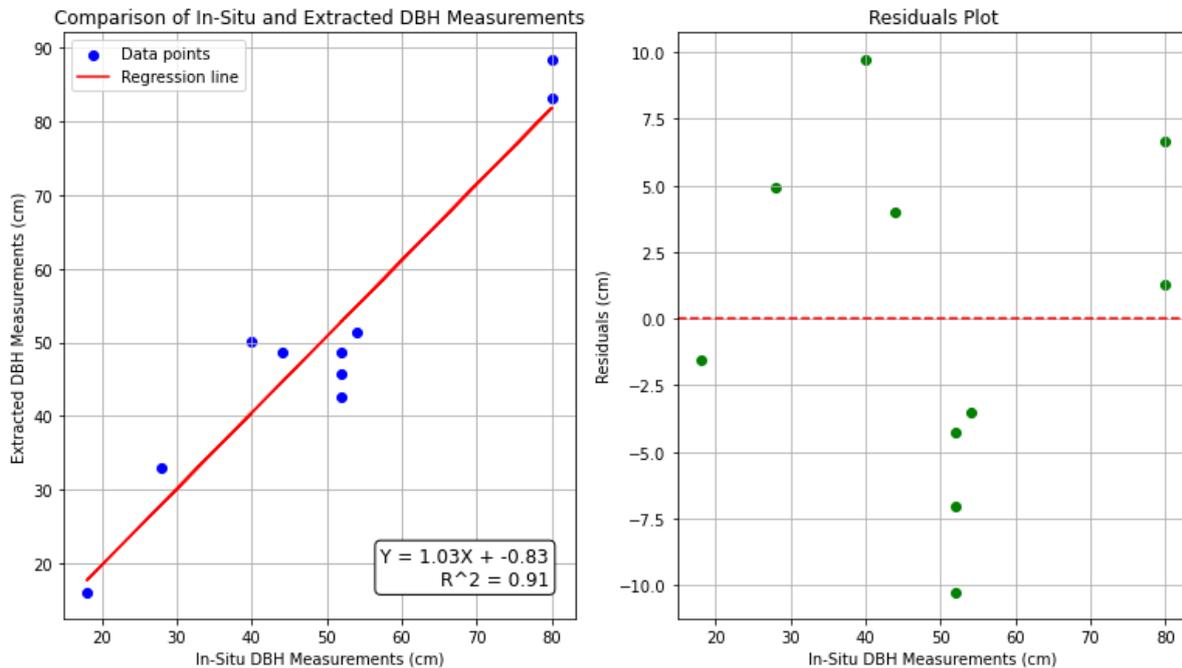
Στην Εικόνα 69 παρουσιάζεται η 3Δ μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Παρατηρείται ότι σε συγκεκριμένα υποτμήματα της δειγματοληπτικής επιφάνειας, παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση (πυκνότητα) εξαγόμενων δένδρων σε σύγκριση με τα στοιχεία αναφοράς από τις κλασικές επίγειες μετρήσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει πιθανή υπερ-εκτίμηση ή ομαδοποίηση δένδρων σε ορισμένες περιοχές. Επίσης, εμφανίζονται μοτίβα ομαδοποίησης των μπλε κουκκίδων (πραγματικές θέσεις) και των πράσινων τριγώνων (εξαγόμενες θέσεις) τα οποία δεν συμπίπτουν απόλυτα, υποδεικνύοντας ότι υπάρχουν πιθανές αποκλίσεις στον τρόπο με τον οποίο τα εξαγόμενα δεδομένα αναπαριστούν τη χωρική κατανομή των δεδομένων αναφοράς.





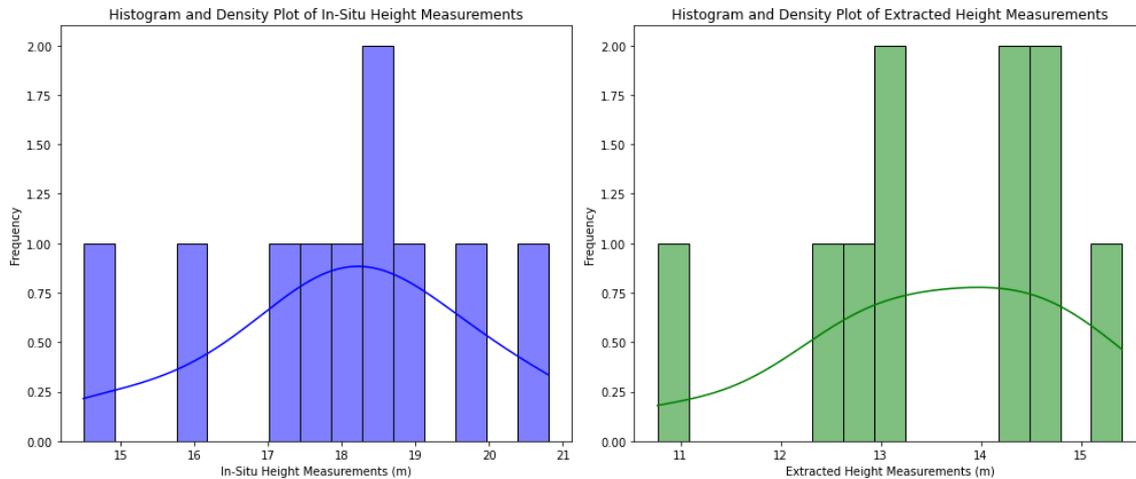
Εικόνα 69 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης την «πραγματική» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια #12 (P10)

Η Εικόνα 70 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε με κλασικές μεθόδους στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.91, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 91% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η υψηλή τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης δεν μπορεί να προβλέψει ικανοποιητικά τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH. Όπως παρατηρείται στο αριστερό γράφημα υπάρχουν ορισμένα σημεία δεδομένων (δένδρα), τα οποία συγκλίνουν σημαντικά με τη γραμμή παλινδρόμησης, γεγονός που υποδηλώνει όχι ακραίες τιμές ή πρόσθετη μεταβλητότητα. Όσον αφορά το γράφημα των υπολοίπων (residuals), παρατηρείται ότι κατανέμονται τόσο πάνω όσο και κάτω από την κόκκινη γραμμή, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει τόσο θετικά όσο και αρνητικά σφάλματα. Επίσης, δεν παρουσιάζεται κάποιο πρότυπο που να υποδεικνύει τη μη καταλληλότητα της γραμμικής συσχέτισης που εξετάστηκε.



Εικόνα 70: Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για την δειγματοληπτική περιοχή (Επιφάνεια 1-P10): Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.

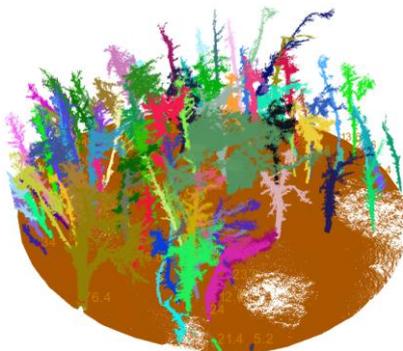
Η Εικόνα 71 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας το ιστόγραμμα κατανομής μεταξύ των μετρήσεων ύψους από τις επίγειες μετρήσεις ύψους και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Συγκεκριμένα, στην αριστερή εικόνα παρατηρείται ότι τα δεδομένα πεδίου παρουσιάζουν δύο κορυφές από 15 μέτρα έως 21 μέτρα. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή μπλε καμπύλη) αναδεικνύει αυτές τις κορυφές, υποδηλώνοντας ότι υπάρχουν μία κοινή κορυφή στα δεδομένα in-situ, ενώ υπάρχει αρκετή διασπορά στις επιτόπιες μετρήσεις ύψους, η οποία κυμαίνεται από περίπου 18 μέτρα. Στην δεξιά εικόνα, παρατηρείται ότι η κατανομή των εξαγόμενων μετρήσεων ύψους είναι ελαφρώς λοξή προς τα δεξιά με αξιοσημείωτες κορυφές γύρω στα 13 και 14 μέτρα.

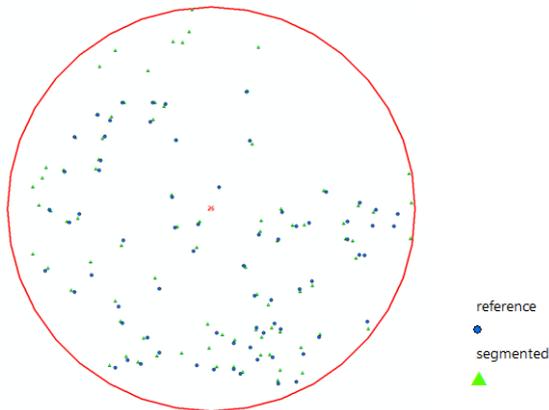


Εικόνα 71: Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων

Δειγματοληπτική επιφάνεια P11

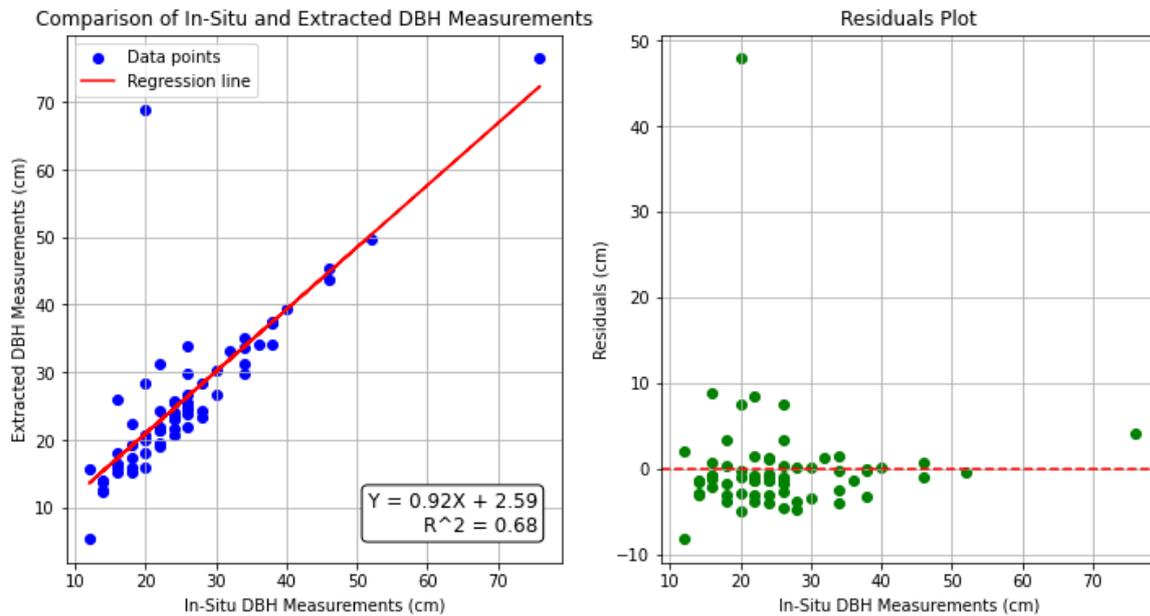
Στην Εικόνα 72 παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Παρατηρείται ότι σε μερικά υπομήματα της δειγματοληπτικής επιφάνειας, παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση (πυκνότητα) εξαγόμενων δένδρων σε σύγκριση με τα στοιχεία αναφοράς από τις κλασικές επίγειες μετρήσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει πιθανή υπερ-εκτίμηση ή ομαδοποίηση δένδρων σε ορισμένες περιοχές. Αντίθετα, υπάρχουν λίγες περιοχές με λιγότερα εξαγόμενα δένδρα σε σύγκριση με τις «πραγματικές» θέσεις των δένδρων όπως αυτές μετρήθηκαν με την κλασική προσέγγιση στο πεδίο, υποδεικνύοντας ότι έχουν υποεκτιμηθεί από την κατάτμηση δένδρα λόγω της πυκνότητας του υπορόφου, του χαμηλού ύψους έναρξης της κόμης και της μικρής απόστασης μεταξύ των κορμών των δένδρων. Επίσης, εμφανίζονται μοτίβα ομαδοποίησης των μπλε κουκκίδων (πραγματικές θέσεις) και των πράσινων τριγώνων (εξαγόμενες θέσεις) τα οποία δεν συμπίπτουν απόλυτα, υποδεικνύοντας ότι υπάρχουν πιθανές και μικρές αποκλίσεις στον τρόπο με τον οποίο τα εξαγόμενα δεδομένα αναπαριστούν τη χωρική κατανομή των δεδομένων αναφοράς.





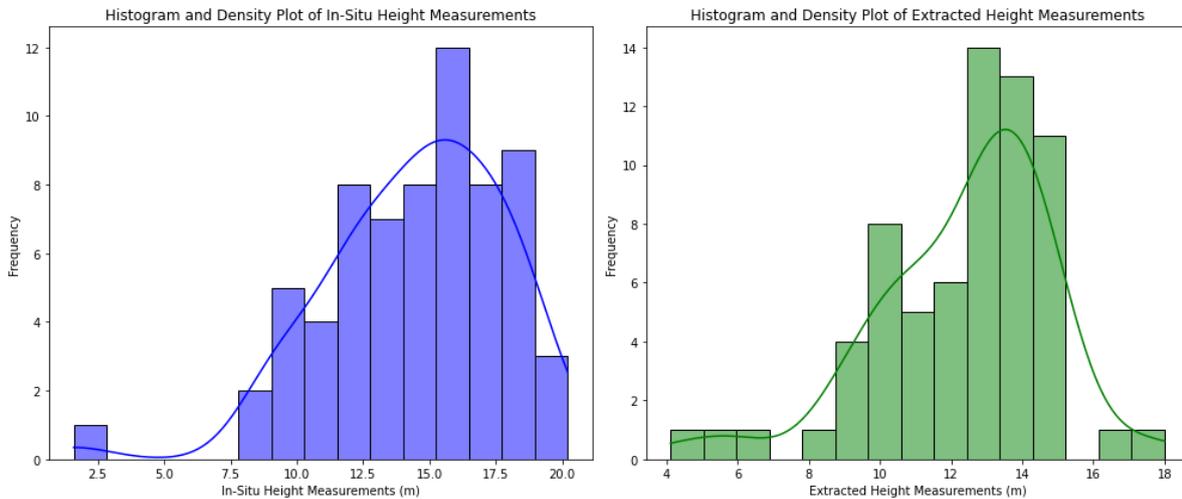
Εικόνα 72: Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης την «πραγματική» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια P11.

Η Εικόνα 73 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε με κλασικές μεθόδους στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.68, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 68% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η μεσαία τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης δεν μπορεί να προβλέψει απόλυτα ικανοποιητικά τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH. Αλλά και η διασπορά των σημείων δεδομένων γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης υποδηλώνει μέτρια συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων πεδίου με κλασικές μεθόδους και αυτών με καινοτόμες μεθόδους μέσω της κατάτμησης του νέφους σημείων. Όπως παρατηρείται στο αριστερό γράφημα υπάρχουν ορισμένα σημεία δεδομένων (δένδρα), τα οποία αποκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή παλινδρόμησης, γεγονός που υποδηλώνει πιθανές ακραίες τιμές ή πρόσθετη μεταβλητότητα. Όσον αφορά το γράφημα των υπολοίπων (residuals), παρατηρείται ότι κατανέμονται τόσο πάνω όσο και κάτω από την κόκκινη γραμμή, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει τόσο θετικά όσο και αρνητικά σφάλματα. Επίσης, η διασπορά των υπολοίπων συγκεντρώνεται κατά βάση στις επιτόπιες μετρήσεις που κλίνουν προς χαμηλό DBH.



Εικόνα 73: Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για τη δειγματοληπτική περιοχή (Επιφάνεια 26-P11): Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH

Η Εικόνα 74 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας το ιστόγραμμα κατανομής μεταξύ των μετρήσεων ύψους από τις επίγειες μετρήσεις ύψους και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Συγκεκριμένα, στην αριστερή εικόνα, παρατηρείται ότι τα δεδομένα πεδίου παρουσιάζουν μια κορυφή γύρω από τα 15 μέτρα, υποδεικνύοντας ότι αυτή είναι η πιο κοινή μέτρηση ύψους στα δεδομένα. Υπάρχει σταδιακή αύξηση της συχνότητας από τα 5 μέτρα έως τα 15 μέτρα, ακολουθούμενη από μείωση έως τα 20 μέτρα. Στην δεξιά εικόνα, παρατηρείται ότι η κατανομή των εξαγόμενων μετρήσεων γύρω στα 13-14 μέτρα, υποδεικνύοντας ότι αυτές είναι οι πιο συχνές μετρήσεις ύψους στα δεδομένα. Επίσης, υπάρχει σταδιακή αύξηση της συχνότητας από τα 5 μέτρα έως τα 13-14 μέτρα, ακολουθούμενη από μείωση έως τα 18 μέτρα.

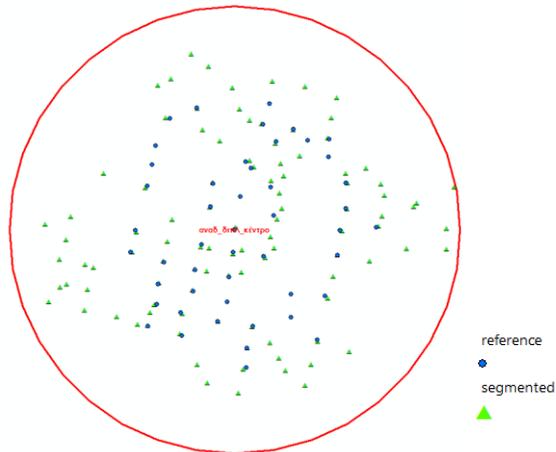


Εικόνα 74: Ιστογράμμο με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων

Δειγματοληπτική επιφάνεια P12

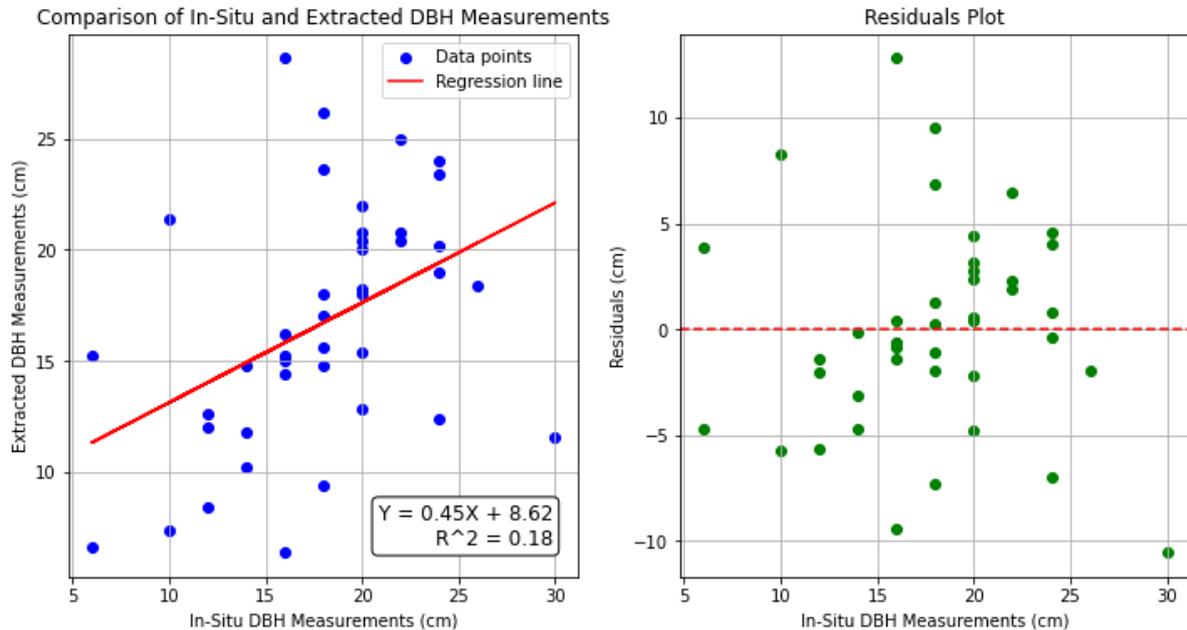
Στην Εικόνα 75 παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Παρατηρείται ότι σε υποτμήματα της δειγματοληπτικής επιφάνειας, παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση (πυκνότητα) εξαγόμενων δένδρων σε σύγκριση με τα στοιχεία αναφοράς από τις κλασικές επίγειες μετρήσεις – κυρίως στο δυτικό και βόρειο τμήμα της επιφάνειας, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει πιθανή υπερεκτίμηση ή ομαδοποίηση δένδρων σε ορισμένες περιοχές. Αντίθετα, υπάρχουν περιοχές με λιγότερα εξαγόμενα δένδρα σε σύγκριση με τις «πραγματικές» θέσεις των δένδρων όπως αυτές μετρήθηκαν με την κλασική προσέγγιση στο πεδίο, υποδεικνύοντας ότι έχουν υποεκτιμηθεί από την κατάτμηση δένδρα λόγω της πυκνότητας του υπορόφου, του χαμηλού ύψους έναρξης της κόμης και της μικρής απόστασης μεταξύ των κορμών των δένδρων. Επίσης, εμφανίζονται μοτίβα ομαδοποίησης των μπλε κουκκίδων (πραγματικές θέσεις) και των πράσινων τριγώνων (εξαγόμενες θέσεις) τα οποία δεν συμπίπτουν απόλυτα, υποδεικνύοντας ότι υπάρχουν πιθανές αποκλίσεις στον τρόπο με τον οποίο τα εξαγόμενα δεδομένα αναπαριστούν τη χωρική κατανομή των δεδομένων αναφοράς.





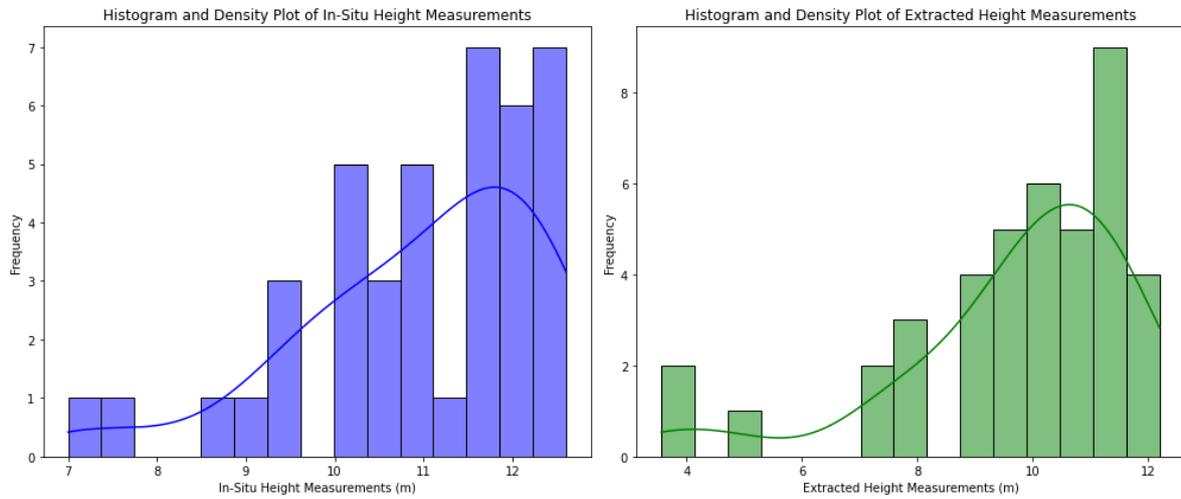
Εικόνα 75 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης την «πραγματική» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια P12

Η Εικόνα 76 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε με κλασικές μεθόδους στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.18, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 18% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η χαμηλή τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης δεν μπορεί να προβλέψει ικανοποιητικά τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH. Αλλά και η διασπορά των σημείων δεδομένων γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης υποδηλώνει χαμηλή συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων πεδίου με κλασικές μεθόδους και αυτών με καινοτόμες μεθόδους μέσω της κατάτμησης του νέφους σημείων. Όπως παρατηρείται στο αριστερό γράφημα υπάρχουν ορισμένα σημεία δεδομένων (δένδρα), τα οποία αποκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή παλινδρόμησης, γεγονός που υποδηλώνει πιθανές ακραίες τιμές ή πρόσθετη μεταβλητότητα. Όσον αφορά το γράφημα των υπολοίπων (residuals), παρατηρείται ότι κατανέμονται τόσο πάνω όσο και κάτω από την κόκκινη γραμμή, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει τόσο θετικά όσο και αρνητικά σφάλματα.



Εικόνα 76: Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για τη δειγματοληπτική περιοχή (Επιφάνεια Αναδασωτέα Δίπλα στο Κεντρικό Δρόμο (P12)). Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.

Η Εικόνα 77 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας το ιστόγραμμα κατανομής μεταξύ των μετρήσεων ύψους από τις επίγειες μετρήσεις ύψους και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Συγκεκριμένα, την αριστερή εικόνα, παρατηρείται ότι τα δεδομένα πεδίου παρουσιάζουν μια κορυφή γύρω από τα 11-12 μέτρα, υποδεικνύοντας ότι αυτές είναι οι πιο κοινές μετρήσεις ύψους στα δεδομένα. Υπάρχει σταδιακή αύξηση της συχνότητας από τα 7 μέτρα έως τα 11 μέτρα, ακολουθούμενη από μείωση μετά τα 12 μέτρα. Στη δεξιά εικόνα, παρατηρείται ότι η κατανομή των εξαγόμενων μετρήσεων κορυφώνεται γύρω στα 10 μέτρα, υποδεικνύοντας ότι αυτή είναι η πιο συχνή μέτρηση ύψους στα δεδομένα. Επίσης, υπάρχει σταδιακή αύξηση της συχνότητας από τα 4 μέτρα έως τα 10 μέτρα, ακολουθούμενη από μείωση μετά τα 12 μέτρα.

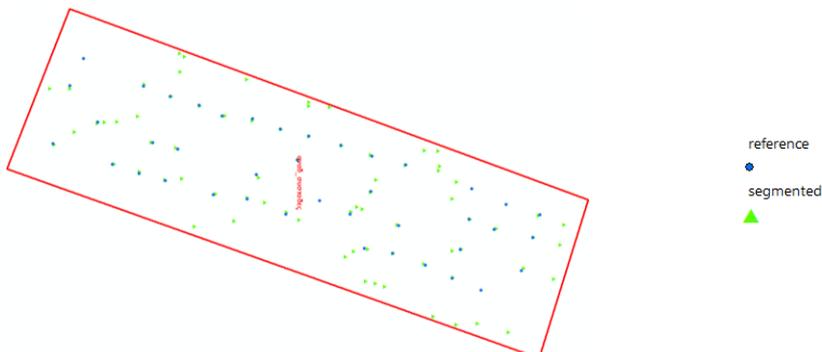
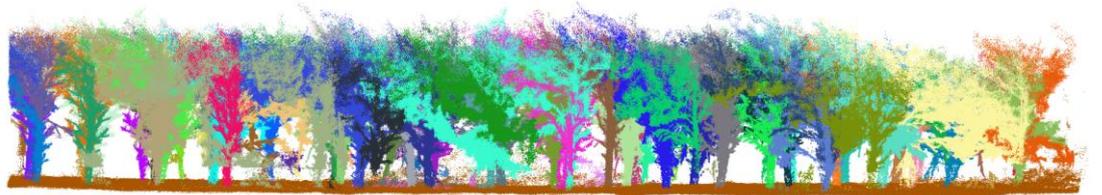


Εικόνα 77 Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων



Δειγματοληπτική επιφάνεια P13

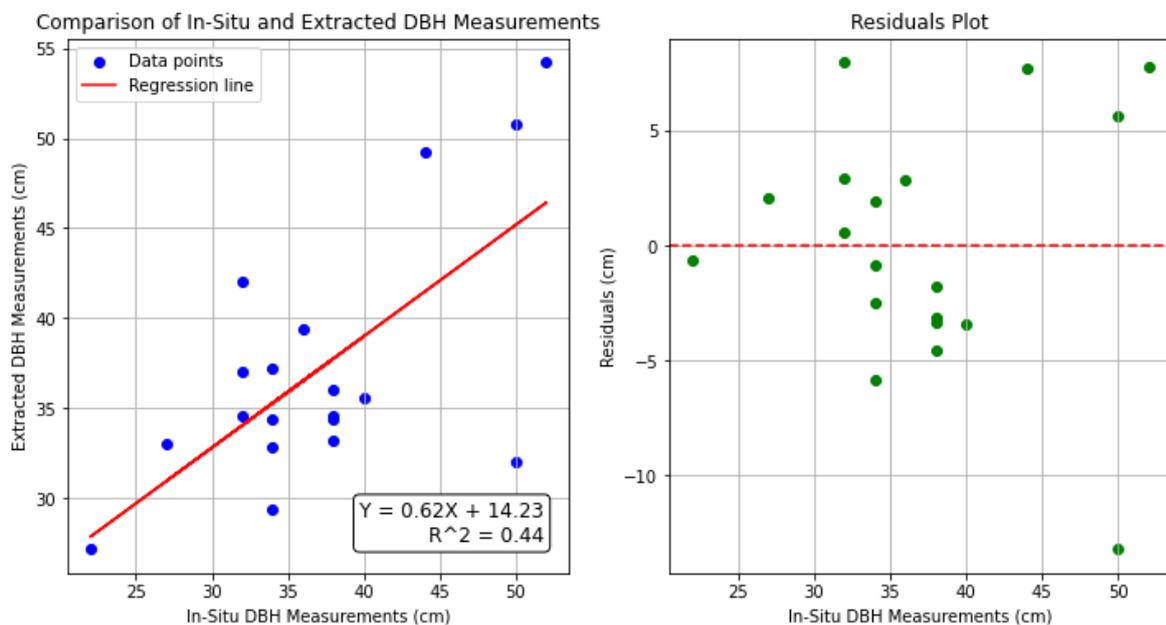
Στην Εικόνα 78 παρουσιάζεται η 3D μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις θέσεις των επίγειων δεδομένων. Παρατηρείται ότι σε συγκεκριμένα υποτμήματα της δειγματοληπτικής επιφάνειας, παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση (πυκνότητα) εξαγόμενων δένδρων σε σύγκριση με τα στοιχεία αναφοράς από τις κλασικές επίγειες μετρήσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει πιθανή υπερ-εκτίμηση ή ομαδοποίηση δένδρων σε ορισμένες περιοχές. Αντίθετα, υπάρχουν περιοχές με λιγότερα εξαγόμενα δένδρα σε σύγκριση με τις «πραγματικές» θέσεις των δένδρων όπως αυτές μετρήθηκαν με την κλασική προσέγγιση στο πεδίο, υποδεικνύοντας ότι έχουν υποεκτιμηθεί από την κατάτμηση δένδρα λόγω της πυκνότητας του υπορόφου, του χαμηλού ύψους έναρξης της κόμης και της μικρής απόστασης μεταξύ των κορμών των δένδρων. Επίσης, εμφανίζονται μοτίβα ομαδοποίησης των μπλε κουκκίδων (πραγματικές θέσεις) και των πράσινων τριγώνων (εξαγόμενες θέσεις) τα οποία δεν συμπίπτουν απόλυτα, υποδεικνύοντας ότι υπάρχουν πιθανές αποκλίσεις στον τρόπο με τον οποίο τα εξαγόμενα δεδομένα αναπαριστούν τη χωρική κατανομή των δεδομένων αναφοράς.



Εικόνα 78: Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων μετά την κατάτμηση του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά). Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζονται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης την «πραγματική» θέση των δένδρων όπως αυτή αποτυπώθηκε με κλασικές επίγειες μετρήσεις στη δειγματοληπτική επιφάνεια P13



Η Εικόνα 79 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε με κλασικές μεθόδους στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest. Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.44, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 44% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις. Αυτή η χαμηλή τιμή R^2 υποδηλώνει ότι το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης δεν μπορεί να προβλέψει ικανοποιητικά τις μετρήσεις πεδίου με κλασικές μεθόδους και ότι άλλοι παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τις εξαγόμενες υπολογιστικά μετρήσεις DBH. Αλλά και η διασπορά των σημείων δεδομένων γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης υποδηλώνει μέτρια συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων πεδίου με κλασικές μεθόδους και αυτών με καινοτόμες μεθόδους μέσω της κατάτμησης του νέφους σημείων. Όπως παρατηρείται στο αριστερό γράφημα υπάρχουν ορισμένα σημεία δεδομένων (δένδρα), τα οποία αποκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή παλινδρόμησης, γεγονός που υποδηλώνει πιθανές ακραίες τιμές ή πρόσθετη μεταβλητότητα. Όσον αφορά το γράφημα των υπολοίπων (residuals), παρατηρείται ότι κατανέμονται τόσο πάνω όσο και κάτω από την κόκκινη γραμμή, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο έχει τόσο θετικά όσο και αρνητικά σφάλματα.



Εικόνα 79 Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των επίγειων μετρήσεων με κλασικές μεθόδους για την δειγματοληπτική επιφάνεια P13: Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των μετρήσεων με κλασικές μεθόδους και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH



Παράρτημα II: Στάδια και εξισώσεις για την ανάπτυξη μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης

Τα **στάδια** που ακολουθήθηκαν στην ανάπτυξη των μοντέλων είναι:

Απλή παλινδρόμηση: Ο συντελεστής Pearson (r) χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της γραμμικής σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών. Η τιμή του r κυμαίνεται από -1 έως 1, όπου τιμές κοντά στο 1 ή στο -1 υποδεικνύουν ισχυρή θετική ή αρνητική συσχέτιση αντίστοιχα, ενώ τιμές κοντά στο 0 υποδεικνύουν ασθενή ή μηδενική συσχέτιση. Τιμή Σημαντικότητας (p -value) χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογηθεί η στατιστική σημαντικότητα της συσχέτισης. Συνήθως, μια τιμή p μικρότερη από 0.05 θεωρείται στατιστικά σημαντική, υποδεικνύοντας ότι υπάρχει μικρή πιθανότητα η συσχέτιση να είναι αποτέλεσμα τυχαίας διακύμανσης.

Επιλογή των Βέλτιστων Μεταβλητών: Από το σύνολο των διαθέσιμων μεταβλητών, επιλέχθηκαν οι 10 που παρουσίασαν τη μεγαλύτερη τιμή $|r|$ και ταυτόχρονα είχαν τιμή p μικρότερη από το καθορισμένο επίπεδο σημαντικότητας (π.χ. $p < 0.05$). Αυτές οι μεταβλητές θεωρήθηκαν ως οι πιο αντιπροσωπευτικές και ισχυρές για την πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής.

Ανάπτυξη Μοντέλων Πολλαπλής Παλινδρόμησης: α) Αρχικό Μοντέλο: Δημιουργήθηκε ένα αρχικό μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης που περιλάμβανε και τις 10 επιλεγμένες μεταβλητές. Έλεγχος Συν-Μεταβλητότητας (Multicollinearity): Χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης VIF (Variance Inflation Factor) για την αξιολόγηση της συν-μεταβλητότητας. Υψηλές τιμές VIF (> 10) υποδεικνύουν ισχυρή συν-μεταβλητότητα και ανάγκη για την αφαίρεση ή τον ανασχεδιασμό του μοντέλου. Βελτιστοποίηση του Μοντέλου: Αφαιρέθηκαν μεταβλητές με υψηλό VIF ώστε να μειωθεί η συν-μεταβλητότητα.

Τελικό Μοντέλο: Το τελικό μοντέλο περιλάμβανε μόνο τις μεταβλητές που πληρούσαν τα κριτήρια χαμηλής συν-μεταβλητότητας και στατιστικής σημαντικότητας.

Εκτιμήθηκαν ο συντελεστής προσδιορισμού (Coefficient of determination - R^2)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}$$

όπου

y_i είναι η παρατηρούμενη τιμή,

\hat{y} είναι η προβλεπόμενη τιμή,

\bar{y}_i είναι ο μέσος όρος των παρατηρούμενων τιμών.

και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Root Mean Square Error -RMSE)..

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

όπου

y_i είναι η παρατηρούμενη τιμή,

\hat{y} είναι η προβλεπόμενη τιμή



Σε γενικές γραμμές, υψηλές τιμές R2 ή χαμηλές τιμές RMSE υποδηλώνουν συχνά καλή προσαρμογή μεταξύ του μοντέλου που αναπτύχθηκε και των δεδομένων του δείγματος.

Η επιλογή των βέλτιστων μεταβλητών και η ανάπτυξη των μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης με χρήση του κριτηρίου VIF για την αποφυγή της συν-μεταβλητότητας διασφάλισε τη δημιουργία ακριβών και αξιόπιστων προβλεπτικών μοντέλων. Αυτή η διαδικασία επέτρεψε την κατανόηση των σημαντικότερων παραγόντων που επηρεάζουν την εξαρτημένη μεταβλητή και την ανάπτυξη μοντέλων με βελτιωμένη ακρίβεια και προγνωστική δύναμη.

Παραγωγή χαρτών εκτίμησης των δασικών παραμέτρων: Η παραγωγή χαρτών εκτίμησης των δασικών παραμέτρων αποτελεί το τελικό και κρίσιμο στάδιο στη διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων τηλεπισκόπησης και ανάπτυξης μοντέλων εκτίμησης. Οι εκτιμήσεις που προκύπτουν από τα μοντέλα παλινδρόμησης αναπαρίστανται χωρικά δημιουργώντας θεματικούς χάρτες. Κάθε χάρτης αντιστοιχεί σε μία δασική παράμετρο και παρουσιάζει την κατανομή της παραμέτρου στην περιοχή μελέτης.

Οι εξισώσεις των μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης με τη χρήση εικόνων υψηλής ανάλυσης Sentinel-2 παρουσιάζονται παρακάτω (συνολικά αξιολογήθηκαν 129 μεταβλητές για την εκτίμηση 10 παραμέτρων).

Παράμετρος	Εξίσωση
Πυκνότητα (N)	$N = 1424,66 \times 3365,99 \times \text{glcm_second_moment_B08} - 853,31 \times \text{glcm_homogeneity_B08} - 486,39 \times \text{glcm_entropy_B06} - 3544,44 \times \text{B08}$
Ξυλώδης όγκος (V)	$V = 800,4 + 861,77 \times \text{glcm_second_moment_B11} + 971,05 \times \text{glcm_second_moment_B8A} - 1666,32 \times \text{glcm_homogeneity_B8A} - 110,38 \times \text{glcm_second_moment_B04}$
Βιομάζα (B)	$B = -277,35 + 6.62e^{+03} \times \text{EVI_NIRn1} + 1.18e^{+03} \times \text{DVI}$
Species richness (S)	$S = 2,50 - 1,64 \times \text{glcm_homogeneity_B08} - 1,04 \times \text{glcm_second_moment_B08} + 0,22 \times \text{glcm_entropy_B07}$
Shannon diversity Index (H)	$H = 0,19 + 0,42 \times \text{glcm_entropy_B07} + 0,14 \times \text{glcm_homogeneity_B08} - 1,64 \times \text{glcm_second_moment_B08} - 0,05 \times \text{glcm_entropy_B8A} - 0,93 \times \text{B06}$
Simpson's dominance (D2)	$D2 = 1,59 + 0,14 \times \text{glcm_contrast_B08} - 0,64 \times \text{glcm_homogeneity_B08} - 2,75 \times \text{glcm_mean_B05}$
Μικρο-ενδιαιτήματα (MICRO)	$\text{MICRO} = 482,65 - 233,45 \times \text{glcm_entropy_B04} + 280,97 \times \text{glcm_dissimilarity_B08} - 4,37 \times \text{glcm_contrast_B11} + 125,13 \times \text{glcm_dissimilarity_B05} - 497,26 \times \text{glcm_entropy_B0}$
Κοιλότητες (CV)	$\text{CV} = -27,29 + 40,28 \times \text{glcm_dissimilarity_B08} - 0,78 \times \text{glcm_variance_B11} + 0,01 \times \text{glcm_variance_B12}$
Τραυματισμοί και πληγές (IN)	$\text{IN} = -28,05 - 113,6 \times \text{glcm_homogeneity_B08} + 109,63 \times \text{SWIR1.RE1} - 0,28 \times \text{glcm_variance_B11}$



Φλοιός (BA)	$BA = -707,96 + 11,34 \times \text{glcm_contrast_B08} - 12,42 \times \text{glcm_entropy_B03} + 248,92 \times \text{glcm_entropy_B08} + 504,91 \times \text{glcm_homogeneity_B08} - 25,03 \times \text{glcm_second_moment_B02}$
-------------	---

Οι εξισώσεις των μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης με τη χρήση εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης **Plante scope** παρουσιάζονται παρακάτω (συνολικά αξιολογήθηκαν 73 μεταβλητές για την εκτίμηση 10 παραμέτρων).

Παράμετρος	Εξίσωση
Πυκνότητα (N)	$N = 617,25 + 1523,97 \times \text{glcm_second_moment_yellow} - 746,22 \times \text{glcm_entropy_NIR} + 408,87 \times \text{glcm_dissimilarity_yellow} - 239,42 \times \text{glcm_second_moment_REDEDGE}$
Ξυλώδης όγκος (V)	$V = 3456,21 - 98,85 \times \text{glcm_second_moment_GREEN} + 6177,27 \times \text{NLI_RE1} + 693,99 \times \text{glcm_second_moment_GREEN1} + 778,45 \times \text{glcm_homogeneity_yellow} - 150,28 \times \text{glcm_second_moment_BLUE}$
Βιομάζα (B)	$B = 2.10e^{+04} + 6.80e^{+04} \times \text{EVI} + 1.67e^{+04} \times \text{glcm_second_moment_BLUE} - 4.07e^{+04} \times \text{EVI_RE1} - 2.00e^{+04} \times \text{glcm_entropy_GREEN} + 2.48e^{+04} \times \text{NLI_RE1}$
Species richness (S)	$S = 2,71 - 10,86 \times \text{glcm_second_moment_NIR} - 0,18 \times \text{glcm_second_moment_REDEDGE} + 4,27 \times \text{glcm_homogeneity_NIR} - 0,87 \times \text{glcm_homogeneity_GREEN1}$
Shannon diversity Index (H)	$H = 0,33 - 4,16 \times \text{glcm_second_moment_NIR} - 0,08 \times \text{glcm_homogeneity_NIR} + 0,90 \times \text{glcm_second_moment_REDEDGE} + 0,60 \times \text{glcm_homogeneity_GREEN1} + 0,79 \times \text{NIR}$
Simpson's dominance (D2)	$D2 = 0,55 + 0,44 \times \text{glcm_contrast_NIR} + 0,04 \times \text{glcm_entropy_NIR} + 1.09e^{-03} \times \text{glcm_entropy_REDEDGE} + 0,23 \times \text{glcm_contrast_GREEN1}$
Μικρο-ενδιαιτήματα (MICRO)	$\text{MICRO} = -1066,03 + 712,51 \times \text{glcm_second_moment_BLUE} + 326,03 \times \text{glcm_mean_GREEN1} + 582,95 \times \text{glcm_homogeneity_yellow}$
Κουλότητες (CV)	$\text{CV} = 36,91 + 100,31 \times \text{glcm_contrast_REDEDGE} - 0,37 \times \text{glcm_variance_REDEDGE}$
Τραυματισμοί και πληγές (IN)	$\text{IN} = 307,97 + 540,79 \times \text{EVI_RE1} + 18,27 \times \text{glcm_contrast_NIR} - 114,51 \times \text{glcm_contrast_yellow} - 360,44 \times \text{glcm_homogeneity_COASTALB} - 75,74 \times \text{glcm_homogeneity_GREEN} - 88,49 \times \text{glcm_homogeneity_RED} + 11,53 \times \text{glcm_homogeneity_REDEDGE}$
Φλοιός (BA)	$BA = -151,03 + 43,15 \times \text{glcm_contrast_NIR} + 188,44 \times \text{glcm_entropy_NIR} - 160,43 \times \text{glcm_entropy_REDEDGE}$



Οι εξισώσεις των μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης με τη χρήση **εικόνων από UAV κάμερα** παρουσιάζονται παρακάτω (συνολικά αξιολογήθηκαν 3 μεταβλητές για την εκτίμηση 10 παραμέτρων).

Παράμετρος	Εξίσωση
Πυκνότητα (N)	$N = 621,35 - 8,19 \times \text{BLUE} + 7,61 \times \text{GREEN} - 3,25 \times \text{RED}$
Ξυλώδης όγκος (V)	$V = -669,87 - 36,75 \times \text{BLUE} + 37,0 \times \text{GREEN} + 8,85 \times \text{RED}$
Βιομάζα (B)	$B = -669,87 - 36,75 \times \text{BLUE} + 37,0 \times \text{GREEN} + 8,85 \times \text{RED}$
Species richness (S)	$S = -1,17 - 0,4 \times \text{BLUE} + 0,05 \times \text{GREEN} + 0,02 \times \text{RED}$
Shannon diversity Index (H)	$H = -1,37 - 0,01 \times \text{BLUE} + 0,03 \times \text{GREEN} + 0,001 \times \text{RED}$
Simpson's dominance (D2)	$D2 = -0,61 - 0,02 \times \text{BLUE} + 0,02 \times \text{GREEN} + 0,03 \times \text{RED}$
Μικρο-ενδειατήματα (MICRO)	$\text{MICRO} = -2151,24 - 20,84 \times \text{BLUE} + 51,34 \times \text{GREEN} - 1,25 \times \text{RED}$
Κοιλότητες (CV)	$\text{CV} = -323,56 - 5,34 \times \text{BLUE} + 7,63 \times \text{GREEN} + 1,33 \times \text{RED}$
Τραυματισμοί και πληγές (IN)	$\text{IN} = -220,80 - 3,19 \times \text{BLUE} + 5,26 \times \text{GREEN} + 0,05 \times \text{RED}$
Φλοιός (BA)	$\text{IN} = -676,43 - 13,68 \times \text{BLUE} + 18,22 \times \text{GREEN} + 2,10 \times \text{RED}$



Παράρτημα III: Φασματικά δεδομένα και ροή εργασιών εκτίμησης δεικτών επιφανειακών υδάτων

Συλλογή φασματικών δεδομένων

Χρησιμοποιούνται ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες Sentinel 2 Level 2A από τη συλλογή COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED η οποία ανακτάται μέσω της πλατφόρμας υπολογιστικού νέφους Google Earth Engine. Η συλλογή των ζητούμενων εικόνων πραγματοποιείται με την εφαρμογή φίλτρων που ορίζουν το χρονικό εύρος, τη γεωγραφική περιοχή και τους επιθυμητούς διαύλους (Green, NIR, SWIR 1, SWIR 2). Επιπλέον χρησιμοποιείται η συλλογή CloudScore+ για την απαλοιφή των σύννεφων και των σκιών. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιείται η σύνδεση των δύο συλλογών μέσω του αλγόριθμου linkCollection, η επιλογή μπάντας QA και ο ορισμός ενός ορίου (threshold=0.6) των τιμών του διαύλου QA.

Πηγή δεδομένων	European Union/ESA/Copernicus
Τύπος δεδομένων	GeoTiff
Χρονικό εύρος κάλυψης	01/05/2020 – 31/08/2024
Γεωγραφική κάλυψη	Τοπική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84

Ροή εργασιών

Για την παρακολούθηση επιφανειακών υδάτων πραγματοποιείται ο υπολογισμός τεσσάρων φασματικών δεικτών:

- (1) ο Modified Normalized Difference Water Index- MNDWI, web gis
- (2) ο Normalized Difference Water Index- NDWI, web gis
- (3) ο δείκτης υγρασίας εδάφους SWIR Transformed Reflectance- STR και
- (4) ο δείκτης Water in Wetlands (WIW).

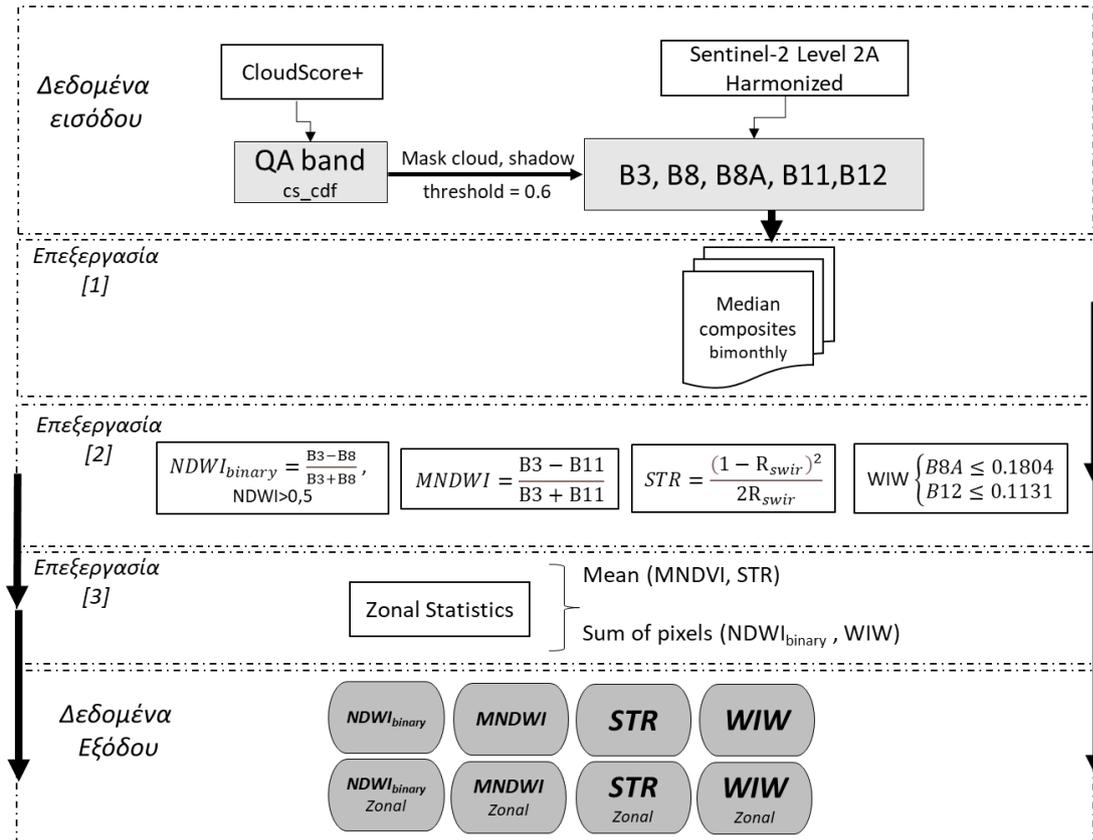
Χρησιμοποιούνται ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες Sentinel 2 Level 2A από τη συλλογή COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED η οποία ανακτάται μέσω της πλατφόρμας υπολογιστικού νέφους Google Earth Engine (Εικόνα 0). Για την εξασφάλιση εικόνων απαλλαγμένων από την παρουσία σύννεφων και σκιών, πραγματοποιείται η σύνδεση της συλλογής αυτής με τη συλλογή Cloud Score+, και η χρήση του διαύλου QA. Έπειτα πραγματοποιείται η δημιουργία μωσαϊκών ανά δύο μήνες για την περίοδο μελέτης 01/05/2020-31/08/2024. Ακολουθεί ο υπολογισμός των φασματικών δεικτών σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις καθώς επίσης και ο υπολογισμός στατιστικών μέτρων (πχ μέση τιμή) ανά οικότοπο:

$$NDWI = \frac{B3 - B8}{B3 + B8}$$
$$MNDWI = \frac{B3 - B11}{B3 + B11}$$



$$STR = \frac{(1 - R_{swir})^2}{2R_{swir}}$$

$$WIW = \{B8A \leq 0.1804 \text{ } B12 \leq 0.1131\}$$



Εικόνα 80 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό των δεικτών εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture- SM).

Βήμα 1

Δημιουργία μωσαϊκών (median composites) ανά δύο μήνες για τη χρονική περίοδο 01/05/2020 έως 31/08/2024.

Βήμα 2

Υπολογισμός για κάθε μωσαϊκό, των δεικτών $NDWI$, $MNDWI$, STR , WIW .

Ο δείκτης $NDWI$, υπολογίζεται ως η κανονικοποιημένη διαφορά του πράσινου (GREEN) και εγγύς υπέρυθρου δίαυλου (NIR). Επιπλέον, υπολογίζεται ως δυαδικός δείκτης, με την εφαρμογή μάσκας με όριο (threshold) την τιμή 0.5, όπου πέραν της τιμής αυτής τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται ως νερό.

Ο δείκτης $MNDWI$, υπολογίζεται ως η κανονικοποιημένη διαφορά του πράσινου (GREEN) και του υπέρυθρου μικρού μήκους κύματος διαύλου (SWIR1).

Ο δείκτης εδαφικής υγρασίας STR , αποτελεί έναν μετασχηματισμό με βάση τη φυσική μεταβολή της ανάκλασης στο υπέρυθρο μικρού μήκους κύματος, που συσχετίζεται με την υγρασία του εδάφους και της βλάστησης. Ο δείκτης αυτός είναι ευαίσθητος στη διακύμανση της υγρασίας



τόσο στα γυμνά εδάφη όσο και στη βλάστηση, και αυξάνεται περαιτέρω σε πλημμυρισμένες εκτάσεις (Sadeghi et al., 2017). Εδώ χρησιμοποιείται ο SWIR1 δίαυλος για τον υπολογισμό του.

Ο δείκτης WIW είναι ιδιαίτερα χρήσιμος κατά τη χαρτογράφηση περιοχών με νερό που καλύπτονται από βλάστηση. Υπολογίζεται από τον ορισμό ορίων (threshold) στις τιμές του εγγύς υπέρυθρου (NIR) και του υπέρυθρου μικρού μήκους κύματος (SWIR2). Οι τιμές αυτές είναι 0.1804 και 0.1131 αντίστοιχα. Αν οι τιμές NIR και SWIR2 είναι μικρότερες από τα αντίστοιχα όρια, τότε το εικονοστοιχείο ταξινομείται ως νερό. Αν οι τιμές είναι μεγαλύτερες των ορίων, τότε ταξινομείται ως μη νερό.

Βήμα 3

Υπολογισμός στατιστικών ανά οικοτόπο. Χρησιμοποιείται ένα διανυσματικό επίπεδο των τύπων οικοτόπων και υπολογίζεται σε κάθε πολύγωνο η μέση τιμή για κάθε δείκτη. Στην περίπτωση του δυαδικού δείκτη NDWI και WIW υπολογίζεται το άθροισμα των εικονοστοιχείων (που φέρουν τιμή 1) όπου υπάρχει παρουσία νερού.

Βήμα 4

Εξαγωγή χαρτών των δεικτών εδαφικής υγρασίας και χαρτών με τη μέση τιμή των δεικτών ανά οικοτόπο.

	NDWI	MNDWI	STR	WIW
Τελικό Προϊόν	GeoTiff			
Εύρος τιμών	0,1	-1—1	0-1000	0,1
Χρονική συχνότητα	Δίμηνη			
Χωρική ανάλυση	10μ	20μ	20μ	20μ
Χρονικό εύρος κάλυψης	01/05/2020 – 31/08/2024			
Γεωγραφική κάλυψη	Τοπική κλίμακα			
Προβολικό σύστημα	WGS84			
	NDWI (zonal)	MNDWI (zonal)	STR (zonal)	WIW (zonal)
Τελικό Προϊόν	GeoTiff			
Χρονική συχνότητα	Δίμηνη			
Χωρική ανάλυση	10μ	20μ	20μ	20μ
Χρονικό εύρος κάλυψης	01/05/2020 – 31/08/2024			
Γεωγραφική κάλυψη	Τοπική κλίμακα			
Προβολικό σύστημα	WGS84			



Παράρτημα IV: Φασματικά δεδομένα και ροή εργασιών εκτίμησης του δείκτη πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δέντρων

Συλλογή φασματικών δεδομένων

Για την παραγωγή του δείκτη πυκνότητας εδαφοκάλυψης από την κόμη των δέντρων (Tree Cover Density-TCD) χρησιμοποιήθηκε το σύνολο δεδομένων COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED. Πρόκειται για δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα Sentinel 2 επιπέδου 2A, τα οποία είναι ορθοανηγμένα και ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένα. Η ανάκτηση των εικόνων Sentinel-2 της συλλογής εικόνων COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED πραγματοποιείται μέσω της πλατφόρμας υπολογιστικού νέφους Google Earth Engine. Η συλλογή των ζητούμενων εικόνων πραγματοποιείται με την εφαρμογή φίλτρων που ορίζουν το χρονικό εύρος, τη γεωγραφική περιοχή, τους επιθυμητούς διαύλους (B2-B8, B8A, B11,B12, QA) και το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό νεφοκάλυψης (έως 10%).

Πηγή δεδομένων	European Union/ESA/Copernicus
Τύπος δεδομένων	GeoTiff
Χρονικό εύρος κάλυψης	01/07/2020 – 30/09/2020
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84

Επιπλέον χρησιμοποιούνται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (SRTM), ύψος δέντρων (Global Forest Canopy Height) και δεδομένα τύπων οικοσυστημάτων

	SRTM	Global Forest Canopy Height	Χάρτης τύπων οικοσυστημάτων
Πηγή δεδομένων	NASA / USGS / JPL-Caltech	https://glad.umd.edu/dataset/gedi	Verde et al., 2020
Τύπος δεδομένων	GeoTiff		vector
Χρονικό εύρος κάλυψης	2000	2019	2019
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα		
Προβολικό σύστημα	WGS84		ΕΓΣΑ87

Ροή εργασιών

Κάθε δορυφορική εικόνα της συλλογής επεξεργάζεται ξεχωριστά και αφού εφαρμοστεί μάσκα σύννεφων και σκιών αξιοποιώντας τον δίαυλο QA- quality evaluation, δημιουργείται ένα μωσαϊκό (median composite) για τους μήνες Ιούλιο έως Σεπτέμβριο, 2020.

Στη συνέχεια υπολογίζονται 10 φασματικοί δείκτες βλάστησης και η βιοφυσική παράμετρος LAI, με βάση τις εξισώσεις του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 13), προκειμένου να ενταχθούν στο μοντέλο πρόβλεψης του TCD. Επιπλέον χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές παράμετροι του μοντέλου τα προϊόντα SRTM, Global Forest Canopy Height και ο χάρτης τύπων οικοσυστημάτων για την Ελλάδα.

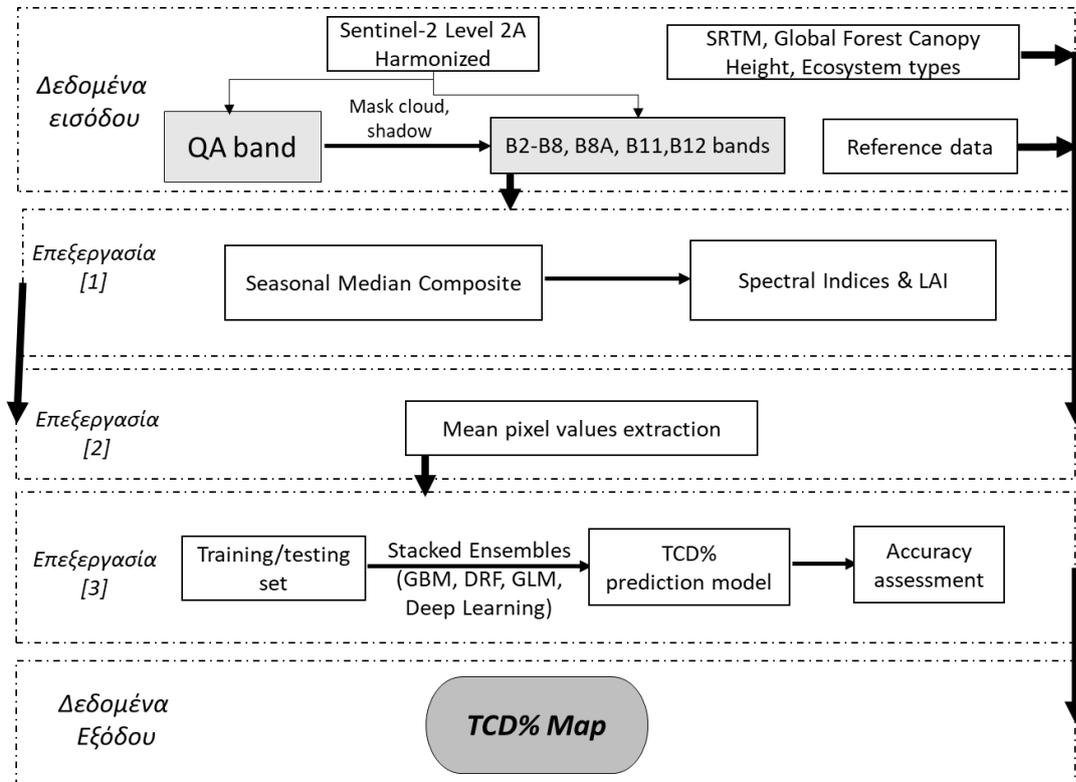
Πίνακας 13 Φασματικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο πρόβλεψης δείκτη πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων (Tree Cover Density-TCD).

Δείκτης	Ονομασία	Τύπος
----------------	-----------------	--------------



NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$\frac{B8 - B4}{B8 + B4}$
EVI	Enhanced Vegetation Index	$2.5 \times \frac{B8 - B4}{(B8 + 6 \times B4 - 7.5 \times B2 + 1)}$
NDWI	Normalized Difference Water Index	$\frac{B3 - B8}{B3 + B8}$
IPVI	Infrared Percentage Vegetation Index	$\frac{B8}{B8 + B4}$
RVI	Ratio Vegetation Index	$\frac{B8}{B4}$
DVI	Difference Vegetation Index	$B8 - B4$
AVI	Advanced Vegetation Index	$[B8 \times (1 - B4) \times (B8 - B4)]^{\frac{1}{3}}$
BI	Bareness Index	$\frac{(B11 + B4) - (B8 + B2)}{(B11 + B4) + (B8 + B2)}$
SI	Shadow Index	$[(1 - B2) \times (1 - B3) \times (1 - B4)]^{\frac{1}{3}}$
RENDVI	Red Edge Normalized Difference Vegetation Index	$\frac{B8 - B6}{B8 + B6}$
LAI	Leaf Area Index	$3.618 \times \text{EVI} - 0.0118$

Η εκπαίδευση του μοντέλου πραγματοποιήθηκε με δεδομένα αναφοράς (δειγματολογικές επιφάνειες) που προέκυψαν από την οπτική ερμηνεία εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης της Google Earth στα σημεία LUCAS 2018 (Land Use and Coverage Area frame Survey). Σε κάθε σημείο δειγματοληψίας, προσδιορίστηκε το ποσοστό πυκνότητας της εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων (TCD %), με τη βοήθεια πλέγματος διαστάσεων 30×30μ, η ημερομηνία λήψης της εικόνας στην οποία πραγματοποιήθηκε η οπτική ερμηνεία καθώς και το είδος κάλυψης/χρήσης γης (Εικόνα 81).



Εικόνα 81 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του δείκτη πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δέντρων (Tree Cover Density-TCD)

Βήμα 1

Δημιουργία μωσαϊκού εικόνων στην πλατφόρμα υπολογιστικού νέφους Google Earth Engine.
Δημιουργία και εφαρμογή μάσκας για σύννεφα, θυσσάνους (cirrus) και σκιά των σύννεφων, σε κάθε εικόνα και υπολογισμός φασματικών δεικτών.

Βήμα 2

Εξαγωγή μέσων ραδιομετρικών τιμών εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια, για κάθε παράμετρο του μοντέλου TCD. Η επεξεργασία πραγματοποιείται με τη χρήση του πακέτου *rgee*, που λειτουργεί ως περιβάλλον διεπαφής της πλατφόρμας Google Earth Engine και της γλώσσας προγραμματισμού R.

Βήμα 3

Ανάπτυξη μοντέλου πρόβλεψης πυκνότητας εδαφοκάλυψης από την κόμη των δέντρων (TCD). Επιλέγονται τέσσερις αλγόριθμοι μηχανικής (Gradient Boosting Machines, Distributed Random Forest, Generalized Linear Model) και βαθιάς μάθησης (Deep Learning) και υιοθετείται μια συνδυαστική προσέγγιση (ensemble), όπου ο βέλτιστος συνδυασμός των αλγορίθμων καθορίζεται μέσω μιας μεθόδου *stacking*, ενισχύοντας την ακρίβεια και την αξιοπιστία των προβλέψεων. Χρήση του πακέτου *h2o*.



Εκτίμηση της ακρίβειας του μοντέλου με τα μέτρα: συντελεστής προσδιορισμού (R^2), ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Squared Error-RMSE), και μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error- MAE).

Δεδομένα εξόδου

Εξαγωγή χάρτη πυκνότητας εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων με τιμές από 0-100 %.

Τελικό Προϊόν	GeoTiff
Εύρος τιμών	0-100%
Χρονική συχνότητα	Πενταετής
Χωρική ανάλυση	20μ
Χρονικό εύρος κάλυψης	2020-2024
Γεωγραφική κάλυψη	Τοπική Κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84



Παράρτημα V: Φασματικά δεδομένα και ροή εργασιών εκτίμησης δυναμικών δεικτών ενδιαιτημάτων

Συλλογή φασματικών δεδομένων

Η ανάκτηση των εικόνων Sentinel-2 της συλλογής εικόνων COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED πραγματοποιείται μέσω της πλατφόρμας υπολογιστικού νέφους Google Earth Engine. Η συλλογή των ζητούμενων εικόνων πραγματοποιείται με την εφαρμογή φίλτρων που ορίζουν το χρονικό εύρος, τη γεωγραφική περιοχή, τους επιθυμητούς διαύλους (Red, NIR, SCL) και το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό νεφοκάλυψης.

Πηγή δεδομένων	European Union/ESA/Copernicus
Τύπος δεδομένων	GeoTiff
Χρονικό εύρος κάλυψης	01/01/2020 – 31/12/2024
Γεωγραφική κάλυψη	Τοπική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84

Ροή εργασιών

Κάθε δορυφορική εικόνα της συλλογής επεξεργάζεται ξεχωριστά και εφαρμόζεται μάσκα σύννεφων, σκιών και χιονιού με τη βοήθεια του επιπέδου SCL. Έπειτα, υπολογίζεται ο δείκτης NDVI με βάση την εξίσωση:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

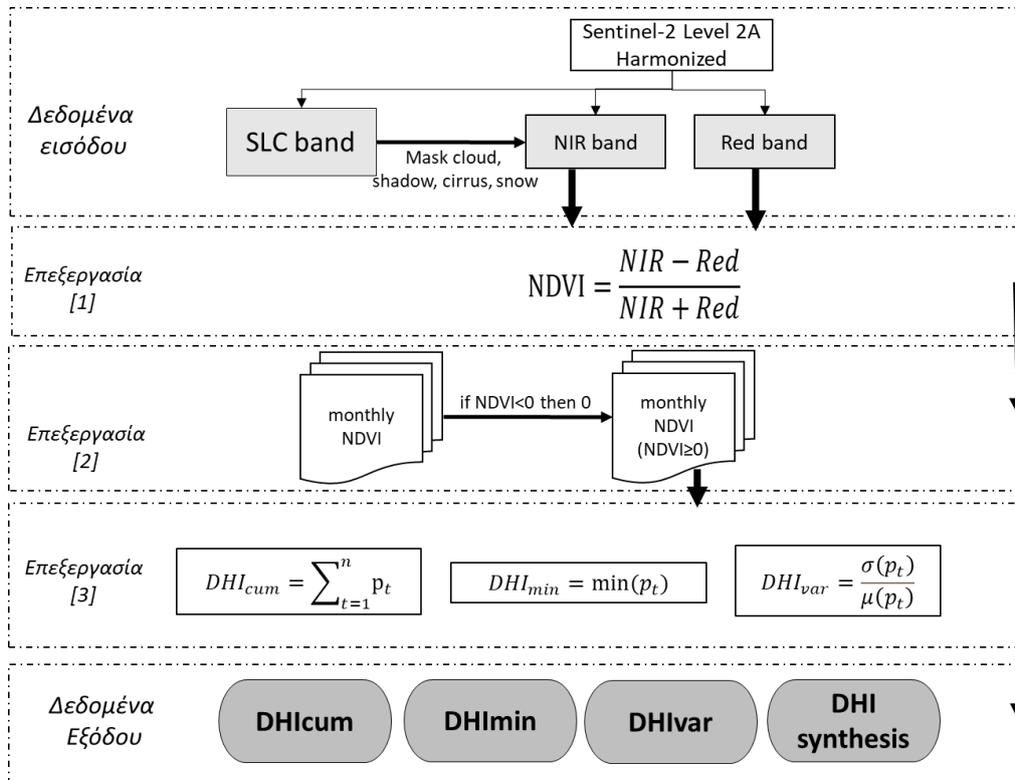
Στη συνέχεια (Εικόνα 82) δημιουργούνται μηνιαία NDVI μωσαϊκά (monthly median composites). Από τα μωσαϊκά αυτά υπολογίζονται οι τρεις επιμέρους δείκτες DHI_{cum} , DHI_{min} και DHI_{var} σύμφωνα με τις εξισώσεις:

$$DHI_{cum} = \sum_{t=1}^n p_t$$

$$DHI_{min} = \min(p_t)$$

$$DHI_{var} = \frac{\sigma(p_t)}{\mu(p_t)}$$

Όπου, p_t η τιμή του δείκτη NDVI ενός εικονοστοιχείου για κάθε ένα μηνιαίο μωσαϊκό.



Εικόνα 82 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό των δυναμικών δεικτών οικοτόπων (Dynamic Habitat Index - DHI)

Βήμα 1

Δημιουργία και εφαρμογή μάσκας για σύννεφα, θυσσάνους (cirrus), σκιά των σύννεφων και χιόνι, σε κάθε εικόνα της συλλογής.

Υπολογισμός του δείκτη NDVI για κάθε εικόνα της συλλογής.

Βήμα 2

Δημιουργία μηνιαίων μωσαϊκών του δείκτη NDVI (monthly median composites) μέσω της πλατφόρμα υπολογιστικού νέφους Google Earth Engine. Επιπλέον, αντικατάσταση των αρνητικών τιμών του NDVI με την τιμή μηδέν.

Βήμα 3

Υπολογισμός των DHI_{cum} , DHI_{min} , DHI_{var} και συγκεκριμένα (1) το άθροισμα των τιμών του NDVI σε κάθε εικονοστοιχείο, (2) την ελάχιστη τιμή NDVI σε κάθε εικονοστοιχείο και (3) τη μεταβλητότητα, διαιρώντας την τυπική απόκλιση με τη μέση τιμή του NDVI σε κάθε εικονοστοιχείο.

Κανονικοποίηση των τιμών των επιμέρους δεικτών για τη σύνθεσή τους σε μία εικόνα τριών επιπέδων.

Δεδομένα εξόδου

Εξαγωγή χαρτών της αθροιστικής ετήσιας παραγωγικότητας βλάστησης (Cumulative Annual Productivity), (2) της ετήσιας ελάχιστης παραγωγικότητας βλάστησης (Annual Minimum Productivity)



- (3) της εποχιακής διακύμανσης της παραγωγικότητας (Seasonal Variation in Productivity) καθώς και
(4) τη σύνθεση αυτών (Dynamic Habitat Index Synthesis) (Εικόνα)

Τελικό Προϊόν	GeoTiff
Εύρος τιμών	0-1 (κανονικοποιημένες τιμές)
Χρονική συχνότητα	Πενταετής
Χωρική ανάλυση	20μ
Χρονικό εύρος κάλυψης	2020-2024
Γεωγραφική κάλυψη	Τοπική Κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agrillo, E., Filipponi, F., Pezzarossa, A., Casella, L., Smiraglia, D., Orasi, A., Attorre, F., Taramelli, A., 2021. Earth observation and biodiversity big data for forest habitat types classification and mapping. *Remote Sens.* 13. <https://doi.org/10.3390/rs13071231>
- Adams, T., Beets, P., Parrish, C., 2012. Extracting more data from LiDAR in forested areas by Analyzing waveform shape. *Remote Sensing (Basel, Switzerland)* 4 (3), 682–702. <https://doi.org/10.3390/rs4030682>
- Alvarez-Martínez, J.M., Jiménez-Alfaro, B., Barquín, J., Ondiviela, B., Recio, M., Silí oCalzada, A., Juanes, J.A., Isaac, N., 2018. Modelling the area of occupancy of habitat types with remote sensing. *Methods Ecol. Evol.* 9 (3), 580–593. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12925>
- Andries, A., Murphy, R.J., Morse, S., Lynch, J., 2021. Earth observation for monitoring, reporting, and verification within environmental land management policy. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su13169105>
- Arekhi, M., Yilmaz, O.Y., Yilmaz, H., Akyüz, Y.F., 2017. Can tree species diversity be assessed with Landsat data in a temperate forest? *Environ. Monit. Assess.* 189. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6295-6>
- Bakx, T.R.M., Koma, Z., Seijmonsbergen, A.C., Kissling, W.D., Zurell, D., 2019. Use and categorization of Light Detection and Ranging vegetation metrics in avian diversity and species distribution research. *Divers. Distrib.* 25 (7), 1045–1059
- Baltsavias, E.P., 1999. Airborne laser scanning: basic relations and formulas. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 54 (2), 199–214. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00015-5)
- Bergen, K. M., Goetz, S. J., Dubayah, R. O., Henebry, G. M., Hunsaker, C. T., Imhoff, M. L., Nelson, R. F., Parker, G. G., Radeloff, V. C. 2009. Remote sensing of vegetation 3D structure for biodiversity and habitat: Review and implications for lidar and radar spaceborne missions. *J. Geophys. Res.: Biogeosci.* 114(G2). <https://doi.org/10.1029/2008JG000883>
- Brokaw, N. V. L., Lent, R. A. 1999. Vertical structure. In I. Hunter, & L. Malcom (Eds.), *Maintaining biodiversity in forest ecosystems* (pp. 373-399). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511613029.013
- Buchanan, G. M., Nelson, A., Mayaux, P., Hartley, A., & Donald, P.F., 2009. Delivering a Global, Terrestrial, Biodiversity Observation System through Remote Sensing. *Conserv. Biol.* 23, 499–502. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01083.x>
- Butchart, S.H.M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J.P.W., Almond, R.E.A., Baillie, J.E.M., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., Carpenter, K.E., Carr, G.M., Chanson, J., Chenery, A.M., Csirke, J., Davidson, N.C., Dentener, F., Foster, M., Galli, A., Galloway, J.N., Genovesi, P., Gregory, R.D., Hockings, M., Kapos, V., Lamarque, J.-F., Leverington, F., Loh, J., McGeoch, M.A., McRae, L., Minasyan, A., Morcillo, M.H., Oldfield, T.E.E., Pauly, D., Quader, S., Revenga, C., Sauer, J.R., Skolnik, B., Spear, D., Stanwell-Smith, D., Stuart, S.N., Symes, A., Tierney, M., Tyrrell, T.D., Vié, J.-C., Watson, R., 2010. Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. *Science* (80-.). 328, 1164–1168. <https://doi.org/10.1126/science.1187512>
- Carrasco, L., Giam, X., Papeş, M., & Sheldon, K. (2019). Metrics of Lidar-Derived 3D Vegetation Structure Reveal Contrasting Effects of Horizontal and Vertical Forest Heterogeneity on Bird Species Richness. *Remote Sensing*, 11(7), 743. <https://doi.org/10.3390/rs11070743>
- Castillo-Santiago, M.A., Ricker, M., de Jong, B.H.J., 2010. Estimation of tropical forest structure from SPOT-5 satellite images. *Int. J. Remote Sens.* 31, 2767–2782. <https://doi.org/10.1080/01431160903095460>



- Chen, S.; Liu, H.; Feng, Z.; Shen, C.; Chen, P. Applicability of personal laser scanning in forestry inventory. *PLoS ONE* 2019, 14, e0211392.
- Chrysafis, I., Korakis, G., Kyriazopoulos, A.P., Mallinis, G., 2020. Predicting tree species diversity using geodiversity and sentinel-2 multi-seasonal spectral information. *Sustain.* 12, 1–15. <https://doi.org/10.3390/su12219250>
- Chrysafis, I., Mallinis, G., Tsakiri, M., Patias, P., 2019. Evaluation of single-date and multi-seasonal spatial and spectral information of Sentinel-2 imagery to assess growing stock volume of a Mediterranean forest. *Int J Appl Earth Obs Geoinf.* 77, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.12.004>
- Dantas de Paula, M., Groeneveld, J., Huth, A., 2016. The extent of edge effects in fragmented landscapes: Insights from satellite measurements of tree cover. *Ecol. Indic.* 69, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.018>
- Davies, A.B., Asner, G.P., 2014. Advances in animal ecology from 3D-LiDAR ecosystem mapping. *Trends Ecol. Evol. (Amsterdam)* 29 (12), 681–691. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.10.005>
- Dubayah, R.O., Drake, J.B., 2000. Lidar remote sensing for forestry. *J. For.* 98 (6), 44–52. <https://doi.org/10.1093/jof/98.6.44>
- Dube, T., Mutanga, O., 2015. Investigating the robustness of the new Landsat-8 Operational Land Imager derived texture metrics in estimating plantation forest aboveground biomass in resource constrained areas. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 108, 12–32. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.06.002>
- Fernández-García, V., Marcos, E., Fernández-Guisuraga, J.M., Fernández-Manso, A., Quintano, C., Suárez-Seoane, S., Calvo, L., 2021. Multiple endmember spectral mixture analysis (Mesma) applied to the study of habitat diversity in the fine-grained landscapes of the cantabrian mountains. *Remote Sens.* 13, 1–19. <https://doi.org/10.3390/rs13050979>
- Franklin, J.F., Van Pelt, R., 2004. Spatial aspects of structural complexity in old-growth forests. *J. For.* 102 (3), 22–29. [10.1093/jof/102.3.22](https://doi.org/10.1093/jof/102.3.22)
- Gilbert, B., Lechowicz, M.J., 2004. Neutrality, niches, and dispersal in a temperate forest understory. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 101 (20), 7651–7656. <https://doi.org/10.1073/pnas.0400814101>
- Gould, W., 2000. Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots. *Ecol. Appl.* [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1861:RSOVPS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1861:RSOVPS]2.0.CO;2)
- Gutman, G., Ignatov, A., 1998. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. *Int. J. Remote Sens.* 19, 1533–1543. <https://doi.org/10.1080/014311698215333>
- Hansen, M.C., Loveland, T.R., 2012. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sens. Environ.* 122, 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.024>
- Hansen, M.C., Potapov, P. V, Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V, Goetz, S.J., Loveland, T.R., 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science (80-.)*. 342, 850–853.
- Haralick, R., Shanmugam, K., Dinstein, I., 1973. Texture features for image classification. *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern.* 3, 610–621.
- Hauser, L.T., Féret, J.B., An Binh, N., van der Windt, N., Sil, Â.F., Timmermans, J., Soudzilovskaia, N.A., van Bodegom, P.M., 2021. Towards scalable estimation of plant functional diversity from Sentinel-2: In-situ validation in a heterogeneous (semi-)natural landscape. *Remote Sens. Environ.* 262. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112505>
- Hill, R. A., Hinsley, S. A., Broughton, R. K. 2013. Assessing habitats and organism-habitat relationships by airborne laser scanning. In: *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning*, 335–356. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-0178663-8_17



- Holopainen, M.; Kankare, V.; Vastaranta, M.; Liang, X.; Lin, Y.; Vaaja, M.; Yu, X.; Hyyppä, J.; Hyyppä, H.; Kaartinen, H.; et al. Tree mapping using airborne, terrestrial and mobile laser scanning—A case study in a heterogeneous urban forest. *Urban For. Urban Green*. 2013, 12, 546–553.
- Jennings, S., 1999. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry* 72, 59–74. <https://doi.org/10.1093/forestry/72.1.59>
- Kelsey, K.C., Neff, J.C., 2014. Estimates of aboveground biomass from texture analysis of Landsat imagery. *Remote Sens.* 6, 6407–6422. <https://doi.org/10.3390/rs6076407>
- Khare, S., Latifi, H., Ghosh, S.K., 2018. Multi-scale assessment of invasive plant species diversity using Pléiades 1A, RapidEye and Landsat-8 data. *Geocarto Int.* 33, 681–698. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1289562>
- Khare, S., Latifi, H., Rossi, S., 2019. Forest beta-diversity analysis by remote sensing: How scale and sensors affect the Rao's Q index. *Ecol. Indic.* 106, 105520. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105520>
- Laliberté, E., Schweiger, A.K., Legendre, P., 2020. Partitioning plant spectral diversity into alpha and beta components. *Ecol. Lett.* 23, 370–380. <https://doi.org/10.1111/ele.13429>
- LaRue, E. A., Hardiman, B. S., Elliott, J. M., Fei, S. 2019. Structural diversity as a predictor of ecosystem function. *Environ. Res. Lett.*, 14(11), 114011–. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab49bb>.
- Li, Z.-L., Leng, P., Zhou, C., Chen, K.-S., Zhou, F.-C., Shang, G.-F., 2021. Soil moisture retrieval from remote sensing measurements: Current knowledge and directions for the future. *Earth-Science Rev.* 218, 103673. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103673>
- Liang, S., Wang, J., 2020. Fractional vegetation cover, in: Liang, S., Wang, J. (Eds.), *Advanced Remote Sensing*. Academic Press, Cambridge, MA, USA, pp. 477–510.
- Liang, X.; Kankare, V.; Hyyppä, J.; Wang, Y.; Kukko, A.; Haggrén, H.; Yu, X.; Kaartinen, H.; Jaakkola, A.; Guan, F.; et al. Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2016, 115, 63–77.
- Lopes, M., Fauvel, M., Ouin, A., Girard, S., 2017. Spectro-Temporal Heterogeneity Measures from Dense High Spatial Resolution Satellite Image Time Series: Application to Grassland Species Diversity Estimation. *Remote Sens.* 9, 993. <https://doi.org/10.3390/rs9100993>
- Ma, X., Mahecha, M.D., Migliavacca, M., van der Plas, F., Benavides, R., Ratcliffe, S., Kattge, J., Richter, R., Musavi, T., Baeten, L., Barneaia, I., Bohn, F.J., Bouriaud, O., Bussotti, F., Coppi, A., Domisch, T., Huth, A., Jaroszewicz, B., Joswig, J., Pabon-Moreno, D.E., Papale, D., Selvi, F., Laurin, G.V., Valladares, F., Reichstein, M., Wirth, C., 2019. Inferring plant functional diversity from space: the potential of Sentinel-2. *Remote Sens. Environ.* 233, 111368. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111368>
- MacArthur, R., MacArthur, J.W., 1961. On bird species diversity. *Ecology* 42, 594–598. <https://doi.org/10.2307/1932254>
- Madonsela, S., Cho, M.A., Ramoelo, A., Mutanga, O., 2017. Remote sensing of species diversity using Landsat 8 spectral variables. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 133, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.10.008>
- Mallinis, G., Chrysafis, I., Korakis, G., Pana, E., Kyriazopoulos, A.P., 2020. A Random Forest Modelling Procedure for a Multi-Sensor Assessment of Tree Species Diversity. *Remote Sens.* 12, 1210. <https://doi.org/10.3390/rs12071210>
- Maltamo, M., Næsset, E., Vauhkonen, J. 2014. *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning: Concepts and Case Studies* (2014th ed., Vol. 27). Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8663-8>



- Maltamo, M.; Bollandsas, O.M.; Naesset, E.; Gobakken, T.; Packalen, P. Different plot selection strategies for field training data in ALS-assisted forest inventory. *Forestry* 2011, 84, 23–31.
- Marzialetti, F., Cascone, S., Frate, L., Di Febbraro, M., Acosta, A.T.R., Carranza, M.L., 2021. Measuring alpha and beta diversity by field and remote-sensing data: A challenge for coastal dunes biodiversity monitoring. *Remote Sens.* 13. <https://doi.org/10.3390/rs13101928>
- Massetti, A., Sequeira, M.M., Pupo, A., Figueiredo, A., Guiomar, N., Gil, A., 2016. Assessing the effectiveness of RapidEye multispectral imagery for vegetation mapping in Madeira Island (Portugal). *Eur. J. Remote Sens.* 49, 643–672. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20164934>
- McElhinny, C., Gibbons, P., Brack, C., Bauhus, J., 2005. Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement. *For. Ecol. Manage.* 218 (1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.034>
- Melin, M., Hill, R.A., Bellamy, P.E., Hinsley, S.A., 2019. On bird species diversity and remote sensing—utilizing lidar and hyperspectral data to assess the role of vegetation structure and foliage characteristics as drivers of avian diversity. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 12 (7), 2270–2278. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2906940>
- Miles, L., Newton, A.C., DeFries, R.S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V., Gordon, J.E., 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *J. Biogeogr.* 33, 491–505. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>
- Miura, N., Koyanagi, T., Yokota, S., Yamada, S., 2019. Can UAV LiDAR derive vertical structure of herbaceous vegetation on riverdike?. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-2/W5, 127–132, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W5-127-2019>, 2019
- Morris, E.K., Caruso, T., Fischer, M., Hancock, C., Obermaier, E., Prati, D., Maier, T.S., Meiners, T., Caroline, M., Wubet, T., Wurst, S., Matthias, C., Socher, A., Sonnemann, I., Nicole, W., 2014. Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecol. Evol.* 3514–3524. <https://doi.org/10.1002/ece3.1155>
- Nagendra, H., Rocchini, D., Ghate, R., Sharma, B., Pareeth, S., 2010. Assessing plant diversity in a dry tropical forest: Comparing the utility of landsat and ikonos satellite images. *Remote Sens.* 2, 478–496. <https://doi.org/10.3390/rs2020478>
- O’Connor, B., Secades, C., Penner, J., Sonnenschein, R., Skidmore, A., Burgess, N.D., Hutton, J.M., 2015. Earth observation as a tool for tracking progress towards the Aichi Biodiversity Targets. *Remote Sens. Ecol. Conserv.* 1, 19–28. <https://doi.org/10.1002/rse2.4>
- Olofsson, K.; Holmgren, J.; Olsson, H. Tree stem and height measurements using terrestrial laser scanning and the RANSAC algorithm. *Remote Sens.* 2014, 6, 4323–4344.
- Panagiotidis, D., Abdollahnejad, A., & Slavík, M. (2021). Assessment of Stem Volume on Plots Using Terrestrial Laser Scanner: A Precision Forestry Application. *Sensors*, 21(1), 301. <https://doi.org/10.3390/s21010301>
- Pastick, N.J., Dahal, D., Wylie, B.K., Parajuli, S., Boyte, S.P., Wu, Z., 2020. Characterizing land surface phenology and exotic annual grasses in dryland ecosystems using landsat and sentinel-2 data in harmony. *Remote Sens.* 12. <https://doi.org/10.3390/rs12040725>
- Pettorelli, N., Safi, K., Turner, W., 2014. Satellite remote sensing, biodiversity research and conservation of the future. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 369, 20130190. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0190>
- Pettorelli, N., Vik, J.O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C.J., Stenseth, N.C., 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends Ecol. Evol.* 20, 503–510. <https://doi.org/10.1016/J.TREE.2005.05.011>



- Pinto-Ledezma, J.N., Cavender-Bares, J., 2021. Predicting species distributions and community composition using satellite remote sensing predictors. *Sci. Rep.* 11, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96047-7>
- Randin, C.F., Ashcroft, M.B., Bolliger, J., Cavender-Bares, J., Coops, N.C., Dullinger, S., Dirnböck, T., Eckert, S., Ellis, E., Fernández, N., Giuliani, G., Guisan, A., Jetz, W., Joost, S., Karger, D., Lembrechts, J., Lenoir, J., Luoto, M., Morin, X., Price, B., Rocchini, D., Schaepman, M., Schmid, B., Verburg, P., Wilson, A., Woodcock, P., Yoccoz, N., Payne, D., 2020. Monitoring biodiversity in the Anthropocene using remote sensing in species distribution models. *Remote Sens. Environ.* 239, 111626. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111626>
- Raty, J., Varvia, P., Korhonen, L., Savolainen, P., Maltamo, M., Packalen, P., 2022. A Comparison of linear-mode and single-photon airborne LiDAR in species-specific forest inventories. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 60, 1–14. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2021.3060670>
- Reddy, C.S., 2021. Remote sensing of biodiversity: what to measure and monitor from space to species? *Biodivers. Conserv.* 30, 2617–2631. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02216-5>
- Ritter, T.; Schwarz, M.; Tockner, A.; Leisch, F.; Nothdurft, A. Automatic mapping of forest stands based on three-dimensional point clouds derived from terrestrial laser-scanning. *Forests* 2017, 8, 265
- Savilaakso, S., Johansson, A., Hakkila, M., Uusitalo, A., Sandgren, T., Monkkonen, M., Puttonen, P., 2021. What are the effects of even-aged and uneven-aged forest management on boreal forest biodiversity in Fennoscandia and European Russia? A systematic review. *Environ. Evid.* 10 (1), 1–38. <https://doi.org/10.1186/s13750020-00215-7>
- Schumacher, P., Mislisshoeva, B., Brenning, A., Zandler, H., Brandt, M., Samimi, C., Koellner, T., 2016. Do Red Edge and Texture Attributes from High-Resolution Satellite Data Improve Wood Volume Estimation in a Semi-Arid Mountainous Region. *Remote Sens.* 8, 540. <https://doi.org/10.3390/rs8070540>
- Song, C., Woodcock, C., Seto, K.C., Lenney, M.P., Macomber, S. a, 2001. Classification and change detection using Landsat TM Data- When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sens. Environ.* 75, 230–244. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00169-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00169-3)
- Stein, A., Gerstner, K., Kreft, H., Arita, H., 2014. Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecol. Lett.* 17 (7), 866–880. [10.1111/ele.12277](https://doi.org/10.1111/ele.12277)
- Turner, W., Rondinini, C., Pettorelli, N., Mora, B., Leidner, A.K., Szantoi, Z., Buchanan, G., Dech, S., Dwyer, J., Herold, M., Koh, L.P., Leimgruber, P., Taubenboeck, H., Wegmann, M., Wikelski, M., Woodcock, C., 2015. Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation. *Biol. Conserv.* 182, 173–176. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.048>
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., Steininger, M., 2003. Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends Ecol. Evol. (Amsterdam)* 18 (6), 306–314. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00070-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00070-3)
- Vallecillo, S., Maes, J., Teller, A., Babí Almenar, J., Barredo, J., Trombetti, M., Abdul Malak, D., Paracchini, M., Carré, A., Addamo, A., Czúcz, B., Zulian, G., Marando, F., Erhard, M., Liqueste, C., Romao, C., Polce, C., Pardo Valle, A., Jones, A., Zurbaran-Nucci, M., Nocita, M., Vysna, V., Cardoso, A., Gervasini, E., Magliozzi, C., Baritz, R., Barbero, M., Andre, V., Kokkoris, I., Dimopoulos, P., Kovacevic, V., Gumbert, A., 2022. EU- wide methodology to map and assess ecosystem condition: Towards a common approach consistent with a global statistical standard. <https://doi.org/10.2760/13048>



- Vierling, K.T., Vierling, L.A., Gould, W.A., Martinuzzi, S., Clawges, R.M., 2008. Lidar: shedding new light on habitat characterization and modeling. *Front. Ecol. Environ.* 6 (2), 90–98. <https://doi.org/10.1890/070001>
- Vogeler, J., Hudak, A., Vierling, L., Evans, J., Green, P., Vierling, K., 2014. Terrain and vegetation structural influences on local avian species richness in two mixed-conifer forests. *Remote Sens. Environ.* 147, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.006>
- Wagner, W., Ullrich, A., Melzer, T., Briese, C., Kraus, K., 2004. From single-pulse to fullwaveform airborne laser scanners: potential and practical challenges. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat. Inf Sci* 35 (Part B3), 201–206
- Warren, S.D., Alt, M., Olson, K.D., Irl, S.D.H., Steinbauer, M.J., Jentsch, A., 2014. The relationship between the spectral diversity of satellite imagery, habitat heterogeneity, and plant species richness. *Ecol. Inform.* 24, 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2014.08.006>
- Wehr, A., Lohr, U., 1999. Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 54 (2), 68–82. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00011-8)
- Zellweger, F., Braunisch, V., Baltensweiler, A., Bollmann, K. 2013. Remotely sensed forest structural complexity predicts multi species occurrence at the landscape scale. *Forest Ecology and Management.* 307, 303-312, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.023>
- Zeng, X., Dickinson, R.E., Walker, A., Shaikh, M., DeFries, R.S., Qi, J., 2000. Derivation and Evaluation of Global 1-km Fractional Vegetation Cover Data for Land Modeling. *J. Appl. Meteorol.* 39, 826–839. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2000\)039<0826:DAEOGK>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2000)039<0826:DAEOGK>2.0.CO;2)
- Zhao, Yujin, Sun, Y., Chen, W., Zhao, Yanping, Liu, X., Bai, Y., 2021. The potential of mapping grassland plant diversity with the links among spectral diversity, functional trait diversity, and species diversity. *Remote Sens.* 13. <https://doi.org/10.3390/rs13153034>
- Zhou, T., Chen, B.-M., Liu, G., Huang, F.-F., Liu, J.-G., Liao, W.-B., Wang, Y.-Y., Ren, S.-J., Chen, C.-Q., Peng, S.-L. 2015. Biodiversity of Jinggangshan Mountain: The importance of topography and geographical location in supporting higher biodiversity. *PloS One*, 10(3), 15p
- Zhu, Z., Wang, S., Woodcock, C.E., 2015. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote Sens. Environ.* 159, 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.014>
- Zianis, D., 2008. Predicting mean aboveground forest biomass and its associated variance. *For. Ecol. Manage.* 256, 1400–1407. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.002>
- Zianis, D., Mencuccini, M., 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *For. Ecol. Manage.* 187, 311–332. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.007>
- Zvoleff, A., 2016. Calculate Textures from Grey-Level Co-Occurrence Matrices (GLCMs). Package ‘glcm’